



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA - CÂMPUS SÃO JOSÉ

ATA DE DEFESA DO TCC N° 006

A acadêmica Denise Gomes da Silva Costa, do Curso de Licenciatura em Química, defendeu o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Mecânica Quântica no Ensino de Química: Comparação Preliminar entre Tópicos do Livro Didático e de Formação de Professores”, no dia 02 de dezembro de 2019, às 16h, no Miniauditório do IFSC, Câmpus São José, sob orientação do Prof. Marcelo Girardi Schappo, Dr. A Banca foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Leone Carmo Garcia, Dr., Profa. Fernanda Battú e Gonçalo, Me., Profa. Paula Alves de Aguiar, Dra., e Prof. Marcelo Girardi Schappo, orientador. A acadêmica foi considerada aprovada pela banca examinadora com nota 10.

Membros da Banca Examinadora

Prof. Leone Carmo Garcia, Dr. (IFSC)
Profa. Fernanda Battú e Gonçalo, Me.
Profa. Paula Alves de Aguiar, Dra. (IFSC)
Prof. Marcelo Girardi Schappo (IFSC) (Orientador)

São José, 02 de dezembro de 2019.

Profa. Paula Alves de Aguiar, Dra.
Coordenadora do Curso de
Licenciatura em Química

Paula Alves de Aguiar
Matr. SIAPE nº 2507801
Coord. do Curso de Química - Lic.
IFSC/SJ
Portaria nº 2380, de 19/07/2019

Rua José Lino Kretzer, 608
Praia Comprida - 88103-310 - São José/SC
Fone: (48) 3381-2870
www.sj.ifsc.edu.br

Mecânica Quântica no Ensino de Química: Comparação Preliminar entre Tópicos do Livro Didático e de Formação de Professores

Denise Gomes da Silva Costa¹
Marcelo Girardi Schappo²

Resumo

Este trabalho aborda a inserção de assuntos de Mecânica Quântica no Ensino de Química, que envolve tanto o contexto da educação básica como da educação superior. Considerando que a formação dos professores fornecerá a base de conhecimentos para o magistério, e os livros didáticos trazem, do ponto de vista oficial, os conteúdos a serem tratados em aula, a pesquisa teve por objetivo verificar a consonância, ou não, entre os assuntos de Mecânica Quântica presentes nos cursos de graduação de professores de química e os abordados nos livros didáticos recomendados para o Ensino Médio. Para isso, realizou-se análise comparativa entre os assuntos de Mecânica Quântica que aparecem nos livros didáticos do ciclo do PNLD 2018, com os tópicos de Mecânica Quântica que estão presentes na ementa das unidades curriculares dos cursos de Química Licenciatura no Estado de Santa Catarina, em vigor no ano de 2019. Mediante as análises a pesquisa indicou que há dissonância, a qual deve ser melhorada, entre os assuntos das unidades curriculares descritos nos PPCs e dos apresentados nos livros pertencentes ao PNLD2018. Foram também discutidas algumas concepções acerca do trato de assuntos de Mecânica Quântica no Ensino Médio e na formação de professores.

Palavras chave: Mecânica Quântica; Ensino de Química; Ensino de Física Moderna; Análise de Livro Didático; Formação de Professores.

Abstract

This paper addresses the insertion of Quantum Mechanics subjects in Chemistry Teaching, which involves both the context of basic and higher education. Once teacher formation provides essential knowledge for teaching and Brazilian government provides official textbook to be used on basic education degree, this research aimed to verify the agreement status between Quantum Mechanics topics found into these two different sources: official chemistry textbook summaries from Brazilian Textbook Program PNLD 2018-2020 and key topics listed at disciplines lists from chemistry teacher

¹ Licencianda do curso de Química-Licenciatura do Instituto Federal de Santa Catarina, câmpus São José.

² Orientador, Prof. Dr. (Área de Cultura Geral), Instituto Federal de Santa Catarina, câmpus São José.

undergraduate courses projects available at Santa Catarina state, Brazil, 2019. This work discusses the importance of quantum mechanics teaching into chemistry basic education and the research outcome indicates topics dissonance between two sources, which should be improved.

Keywords: Quantum mechanics; Chemistry teaching; Modern Physics Teaching; Analysis of textbooks; Teacher formation.

INTRODUÇÃO

O avanço da ciência caminha de maneira indissociável com os processos socioculturais da humanidade. No século XX foram presenciados avanços tecnológicos provenientes da aplicação dos princípios de Mecânica Quântica (MQ), entre eles a tecnologia LED (diodos transmissores de luz), *lasers*, GPS e dispositivos digitais (SILVA, 2008). Estes, associados a mudanças no acesso à informação, e, por conseguinte, nas relações interpessoais, levaram ao conceito de que vivemos em uma “Sociedade da Informação”³. O século XXI consolida o campo tecnológico da informação, que, atrelado ao desenvolvimento da computação quântica⁴, aponta para um futuro promissor.

Os conteúdos da MQ contribuem com todas as áreas da ciência, em função do seu campo de conhecimento interdisciplinar, tanto que na literatura encontra-se material destinado a introduzir o assunto para acadêmicos de todas as áreas das Ciências Exatas e da Natureza, a exemplo os trabalhos de Schappo (2018) e Novaes e Studart (2016). Além disso, a MQ revela e discute conceitos de comportamento e interação das partículas que compõem átomos e moléculas, levando a ideias novas que modificam a forma de compreender a natureza em comparação com a Mecânica Clássica. Devido a isso, o interesse e o fascínio pelo assunto crescem entre as pessoas que não fazem parte dos círculos científicos e acadêmicos. Para esse público, geralmente, os meios de comunicação midiáticos e as redes sociais são fontes de informação, o que pode ocasionar apropriação de temas científicos em aplicações indevidas, como, por exemplo, o que ocorre com o misticismo quântico⁵.

Sendo assim, é válido discutir a inserção da MQ na educação escolar, a fim de possibilitar meios de apropriação desses assuntos e conceitos em concordância com fundamentos científicos. Carl Sagan (2006, p. 32) defende que “a pseudociência é adotada na

³ Para saber mais, Coutinho e Lisboa (2011).

⁴ “[...] “informação quântica” e “computação quântica” [...] são definidas como o estudo das tarefas de processamento da informação que podem ser desenvolvidas usando sistemas quantomecânicos” (FREIRE JR e GRECA, p. 15, 2013). As vantagens esperadas com esse tipo de processamento são maior velocidade no processamento de informação e miniaturização dos transistores, e impulsionar a tecnologia spintrônica (eletrônica baseada em spin) (SILVA, 2008).

⁵ “Trata-se de uma atitude que atribui uma conexão íntima entre a consciência humana (ou a espiritualidade) e os fenômenos quânticos” (PESSOA JR., p. 287, 2006,), enquadrado como pseudociência, pois “o conhecimento científico tem apenas um caráter instrumental de servir como um artifício para legitimar certos objetivos muito específicos e vinculados fortemente ao caráter da interpretação mística” (MACHADO, p. 40, 2017).

mesma proporção em que a [...] ciência é mal compreendida”. Como a escola tem papel essencial na formação científica do cidadão em seu percurso na educação básica, cabe às disciplinas de ciências naturais fomentar discussões dos tópicos de MQ para, além de oferecer acesso e contextualização cotidiana nessa área do conhecimento, também evitar que os estudantes, no futuro, possam ser lesados quando se deixam levar por ideias como, por exemplo, as do misticismo quântico.

No ambiente escolar, o Livro Didático (LD) é um material oficial fornecido pelo Estado que, segundo Carneiro, Santos e Mól (2005), pode ser considerado um “material didático” de suporte ao processo de ensino-aprendizagem, tanto para o professor organizar o seu planejamento quanto para estruturação e organização da aprendizagem dos estudantes. O Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), responsável por ações de seleção e distribuição, busca por meio dos LDs viabilizar “o acesso de professores, alunos e famílias a informações, conceitos, saberes, práticas, valores e possibilidades de compreender, transformar e ampliar o modo de ver e fazer a ciência [...]” (GUIA DO LIVRO DIDÁTICO, 2018, p. 9) Assim, o LD é um dos meios de viabilizar informações da MQ no Ensino Médio (EM).

No processo ensino-aprendizagem da MQ na educação básica, além do material didático em questão, tem-se a relevante figura do professor. Conforme Silva e Almeida (2011, p. 646), “não podemos nos esquecer de que o principal elo da corrente da inserção de tópicos de FMC [Física Moderna e Contemporânea, onde se inclui MQ] no EM é o professor: apenas ele pode, de fato, efetivar movimentos nesse sentido”. Sendo assim, o âmbito da formação de professores deve também ser analisado, uma vez que muitos docentes podem acabar tendo por base formativa apenas o que aprendeu na graduação. A literatura afirma que “um aspecto essencial em todo o processo de inserção de FMC no EM não tem sido suficientemente investigado, a saber: a preparação – ou formação – dos professores em exercício para a prática desses tópicos em sala de aula” (SILVA; ARENGHI; LINO, 2013, p. 70).

Logo, o objetivo deste trabalho é verificar se há concordância entre os assuntos de MQ que aparecem nos livros didáticos do ciclo do PNLD 2018 com os tópicos de MQ que estão presentes nas unidades curriculares dos cursos de licenciatura em química no estado de Santa Catarina, em vigor no ano de 2019. A importância dessa análise é singular, uma vez que a formação dos professores fornecerá a base de conhecimentos para o magistério, enquanto os livros do PNLD trazem, do ponto de vista oficial, os conteúdos a serem tratados em aula. Assim, é imperativo estar atento sobre a consonância, ou não, entre os temas abordados nos currículos de graduação de professores e os assuntos tratados no livro didático.

A Mecânica Quântica

A teoria quântica está implícita nos termos “física moderna”, “física contemporânea”, “física quântica”, “química quântica”, entre outros. A MQ surge no início do século XX e, desde então, recebeu contribuições de vários cientistas como Louis de Broglie, Niels Bohr, Max Planck, Erwin Schrodinger, John Bell, entre outros. Não é o intuito deste trabalho fazer um histórico desta vasta área da ciência, mas deseja-se destacar aqui algumas ideias oriundas da

MQ que modificaram a forma de compreender a natureza de um ponto de vista da Mecânica Clássica ou Mecânica Newtoniana.

Na Mecânica Clássica, objetos providos de massa, como um átomo ou uma partícula subatômica, são descritos apenas como partículas, entretanto, na teoria quântica, o comportamento ondulatório é também atribuído a esses mesmos objetos. Isso é o que se chama de “comportamento dual”.

O uso das probabilidades possui papel distinto na MQ em comparação à Mecânica Clássica. Na primeira, ela descreve uma situação que é intrínseca à teoria, uma vez que o estado do sistema é descrito como uma sobreposição de diferentes possibilidades, chamadas de autoestados possíveis. Já na segunda, o estado do sistema é sempre bem determinado, e o uso da probabilidade, quando necessário, ocorre por decorrência de desconhecimento de dados sobre o sistema. Quando se faz uma medida num sistema quântico em sobreposição de autoestados, essa ação interage com o sistema, gerando *decoerência*, ou seja, fazendo com que o resultado da medida seja apenas um dos autoestados possíveis. Pesquisas sobre estados de sobreposição e decoerência estão auxiliando a impulsionar a chamada “computação quântica” (FREITAS, 2011).

Existem ainda pares de grandezas que não podem ser medidas, simultaneamente, com qualquer grau de precisão desejada. Isso é decorrência de uma característica da mecânica quântica que não possui nenhum análogo clássico: é o chamado “Princípio de Incerteza”, cujo exemplo mais comum é:

quanto mais certo estivermos da posição de um objeto quântico, menos certeza teremos de seu momento linear (ou de sua velocidade). Inversamente, quanto mais certos estivermos de seu momento linear, mais incertos estaremos a respeito de sua posição” (NOVAES; STUDART, 2016, p. 34).

Outra diferença essencial entre MQ e Mecânica Clássica está relacionada a energia. Os objetos quânticos, como elétrons, quando confinados na estrutura atômica, não podem possuir qualquer valor de energia: somente múltiplos de uma energia mínima são permitidos. Objetos clássicos, como carros e aviões, por outro lado, podem ter valores de energia quaisquer. Essa característica explica com sucesso os espectros discretos de emissão e absorção dos elementos químicos.

Outro processo quântico de destaque é o emaranhamento. Ele ocorre quando dois objetos quânticos, como dois elétrons, são colocados em estados correlacionados entre si, de tal modo que ao medir o estado de um elétron é fazê-lo perder a característica de sobreposição, essa perda também ocorre, instantaneamente, no outro elétron emaranhado. Parece haver uma troca de informação mais rapidamente que a velocidade da luz, ou seja, uma violação do que se chama “localidade”. Por isso, a MQ é conhecida por ser uma teoria “não-local”.

No intuito de auxiliar o entendimento de algumas ideias da teoria quântica, a seguir quadro 1, contendo comparativo que relaciona a Mecânica Clássica com a Mecânica Quântica:

FÍSICA CLÁSSICA	FÍSICA QUÂNTICA
Matéria	
Comportamento corpuscular, com massa característica	Comportamento dual (partícula-onda), com massa e comprimento de onda associado
Equações Importantes para os Sistemas	
Equações das Leis de Newton	Equação de Schrodinger
Estado do Sistema	
Partículas possuem posições e velocidades bem definidas, interagindo por meio de forças	Características do sistema são obtidas a partir da função de onda que a descreve
Com as Leis de Newton, determinam novas posições e velocidades bem definidas para as partículas	O estado, antes de uma medida, é uma sobreposição de diferentes estados (autoestados)
Medida	
Passiva, sem alterar qualquer propriedade do sistema	Interage com o sistema, quebra a sobreposição, e o sistema é medido em um dos autoestados possíveis
Repetição da Medida de Múltiplos Sistemas no Mesmo Estado Inicial	
Chega aos mesmos resultados	Distribuição de resultados diferentes de acordo com a probabilidade de ocorrência de cada autoestado possível

Quadro 1 Fonte: (SCHAPPO, 2018, p. 79)

Esses pontos levantados servem para demonstrar como a MQ mudou as ideias em vigor na mecânica clássica: ideias novas surgem para descrever um sistema atômico, discutir as precisões das medidas, emaranhamento, decoerência e comportamento dual de objetos quânticos. Agora, é preciso destacar como esses assuntos, dessa área da ciência se relacionam com o Ensino de Química.

Mecânica Quântica e Ensino de Química

As pesquisas envolvendo ensino de MQ, no contexto da educação básica, são mais comumente encontradas na área de Ensino de física. Em trabalho de revisão bibliográfica, Silva, Arengi e Lino (2013), corroboram esta colocação ao considerarem o tema uma linha de pesquisa estabelecida dentro do Ensino de Física. Sob o mesmo ponto de vista, Silva e Almeida (2011, p. 646) afirmam que “a pertinência de se ensinar FQ [Física Quântica] no EM parece ser cada vez mais consensual entre os pesquisadores do Ensino de Física”. Greca e Moreira, já em 2001 (p. 29), afirmavam que “é possível observar que a pesquisa sobre este tópico [MQ] é recente, com aumento significativo do interesse sobre o mesmo nos últimos anos”, observação procedente de revisão da literatura de trabalhos tanto no contexto do EM, quanto no de cursos de graduação e formação de professor.

Stuart e Silvia (2009, p. 899) ao constatarem tal situação no decorrer de suas reflexões sobre alguns assuntos de MQ no Ensino de Química, expõem que eles podem ser encontrados de forma intrínseca “aos conteúdos iniciais de estudo”. E, que “nas questões relativas à

atomística, ou ainda no desenvolvimento dos conteúdos de Química estruturados na teoria Mecânica Quântica, Física e Química parecem indissociáveis”.

A área de química apresenta em seu programa de conteúdos o estudo de átomos e modelos atômicos, moléculas, cor de chama, orbitais, ligações químicas, etc. Todos esses conteúdos são relacionados a resultados advindos de estudos da MQ. Por exemplo, no que tange as discussões sobre ligações químicas, Silva e Roque (2011) aprofundam o tema ao trazerem discussões sobre a teoria da ressonância de Linus Pauling e sua conexão com a MQ. Há mais de duas décadas, Tomas (1997) já evocava uma visão atual sobre ligação química, questionando sobre a necessidade da abordagem quântica. E, por fim, Silva e Roque (2011, p. 353) concluem “por uma necessidade de maior aproximação entre o Ensino de Química e a história da teoria quântica, de modo a produzir um ensino mais significativo e esclarecedor, tanto quanto aos conceitos, como quanto à atividade científica”.

Assim sendo, esses autores ajudam a corroborar o que aqui se defende: graduandos em química podem, e devem, se apropriar de assuntos de MQ, seja para complementar sua formação geral ou seja para conseguir transpor essas ideias em discussões a serem promovidas nos diferentes conteúdos da química ao longo da educação básica. É importante destacar que a química moderna e suas teorias em relação à descrição atômica, molecular e ligações químicas são altamente dependentes da MQ.

Sobre a relevância de ensinar MQ no EM, Silva, Arengui e Lino (2013), destacam as seguintes justificativas: I. A inserção de FMC no Ensino Médio é importante para a compreensão das tecnologias da atualidade; II. A necessidade de atualização curricular do Ensino Médio; III. A Física Moderna e Contemporânea representou uma mudança de paradigma da Física e essa noção de desenvolvimento das ciências se faz necessária no Ensino Médio; e IV. A FMC [serve] como subsídio à compreensão e crítica das questões atuais que envolvem ciência, tecnologia, sociedade e ambiente.

A prevenção aos usos indevidos do conhecimento científico, como o misticismo quântico anteriormente citado, pode ser compreendida como incluída na justificativa IV, uma vez que envolve reflexão crítica sobre identificação e consequências do uso indevido do conhecimento científico. Machado (2017, p. 52) evidencia que essa questão “se coloca como um problema na educação científica, implicando reflexões no ensino e na formação de professores”. O campo da pseudociência está fora do controle, mas a preparação do senso crítico do cidadão está na jurisdição da educação escolar. Indo um pouco além, nesta perspectiva, Greca e Freire Jr salientam que:

Não deveríamos esquecer que uma educação científica responsável deve ir além da preparação efetiva de futuros cientistas e técnicos e ajudar os estudantes a compreender como a ciência se relaciona com toda a cultura, dar-lhes o conhecimento suficiente para participar da cultura científica quando seja necessário e oferecer-lhes a oportunidade de pensar sobre as implicações filosóficas derivadas da Física moderna, questões que passam, umas e outras, por uma apropriada compreensão conceitual da MQ (GRECA; FREIRE Jr, 2011, p. 360).

Pelo contexto exposto, parece ser consensual que os fundamentos da MQ são inovadores, instigantes, provocadores e fundamentais dentro da educação científica. Por outro lado, a alegada complexidade dos fundamentos da MQ, pode dificultar a compreensão de seus assuntos e resultados, implicando possíveis obstáculos no processo de ensino e aprendizagem de alunos do EM. As pesquisas nesse sentido estão sob o domínio do Ensino de Física, entretanto o entendimento é que os argumentos são extensíveis ao Ensino de Química.

As dificuldades encontradas nas pesquisas as quais podem ser consideradas impedimentos para ensinar MQ na educação básica são, por exemplo: dificuldade do formalismo matemático; estrutura curricular; tempo insuficiente (MONTEIRO; NARD; BASTOS FILHO, 2009). Paulo e Moreira (2004, p. 65) acrescentam que “uma das maiores dificuldades parece ser de caráter filosófico: não existe consenso, na literatura, sobre qual base filosófica a Mecânica Quântica deve ser levada ao Ensino Médio”. Os autores também pontuam algo inusitado nos resultados de sua pesquisa: “[...] os alunos não apresentaram dificuldades em aprender os conceitos quânticos abordados que sejam maiores que as dificuldades em aprender conceitos clássicos” (p. 63).

É evidente que existem dificuldades no tratamento de temas de MQ no EM, mas Silva e Almeida (2011), ao revisarem artigos científicos que tratam dessa problemática, constatam a necessidade de mais trabalhos, visto a necessidade de ampliar o conhecimento sobre o assunto. Também colocam que

é urgente a necessidade por uma formação inicial do professor, para que ele, quando estiver em sala de aula, sintam-se capaz de ensinar esses tópicos, pois de outra forma, a abordagem da FQ no EM não evoluirá do *status* de pertinência para o *status* de realidade em grande parte dos cursos de EM (SILVA e ALMEIDA, 2011, p. 646).

É preciso, portanto, reforçar o preparo do professor em conteúdos de MQ em seus cursos de graduação, buscando evitar, assim, que a formação inicial não seja um obstáculo para trabalhar esses temas no EM e fazer as devidas relações com diferentes tópicos dos currículos de química.

Metodologia

A presente pesquisa, na área de Ensino de Química, caracteriza-se como qualitativa de análise documental (FLICK, 2009). Assim, objetiva fazer análise comparativa entre os assuntos de MQ que aparecem nos LD do ciclo do PNLD 2018, com os tópicos de MQ que estão presentes nas unidades curriculares dos cursos de Química Licenciatura (CQL) no estado de Santa Catarina, em vigor no ano de 2019. Para alcançar o objetivo proposto, foram elencadas as seguintes questões de pesquisa: [Q1] Que assuntos referentes à MQ são tratados nos livros de química selecionados pelo PNLD (2018-2020)?; [Q2] Que assuntos referentes à MQ são tratados nas ementas das unidades curriculares dos CQL?; [Q3] Há concordância entre os assuntos relacionados à MQ nas duas fontes anteriores?

No primeiro momento, foram recolhidas as coleções de química do PNLD, aprovadas pelo Ministério da Educação (MEC), em vigor entre 2018 e 2020. Após, consultou-se os LDs a

fim de elencar assuntos diretos da teoria MQ presentes neles. Ou seja, desprezando-se, desta forma, possíveis conteúdos de química que teriam potencial para discussão de MQ, os quais os autores não fizeram a conexão. O motivo pelo qual se optou por esta metodologia de coleta de dados é: verificar apenas uma concordância ou discordância direta dos assuntos de MQ dos LDs e dos assuntos nas unidades curriculares dos CQL, em razão de não caber aqui refletir *como os professores poderão discutir MQ no Ensino Médio*.

Para tanto, buscou-se identificar nos títulos do sumário dos livros, os termos diretamente ligados aos assuntos referentes à MQ. Quando identificados, recorreu-se ao texto do livro na seção localizada para verificar se, de fato, os termos eram tratados de maneira articulada ou não aos assuntos da teoria quântica. Caso a resposta fosse afirmativa, o tópico entrou neste trabalho. Caso não fosse feita relação com MQ, o tópico foi desprezado. As coleções de LD analisadas, contidas no PNDL2018, foram 6 (seis), indicadas no quadro 2, a seguir:

Coleções do PNDL2018				
Coleção	Título	Autor(es)	Editora	Ano
1	Química	Fonseca, M. R. M.	Ática	2016
2	Química Cidadã	Santos, W.; Mól, G. (coord)	AJS	2016
3	Química	Mortimer, E. F.; Machado, A. H.	Scipione	2016
4	Ser Protagonista - Química	Lisboa, J.C.F. et al.	SM	2016
5	Química - Ciscato, Pereira, Chemello e Proti	Ciscato, C. A. M. et al.	Moderna	2016
6	Vivá – Química	Novais, V. L. D.; Antunes, M.T.	Positivo	2016

Quadro 2 Fonte: *elaboração própria*

A respeito dos CQL participantes da pesquisa, foram identificados mediante consulta à base de dados no cadastro do e-MEC⁶ de Instituições e Cursos de Educação Superior (IES), por ser uma plataforma oficial e conter informações relativas aos cursos de graduação. Na base de dados foram selecionadas todas as IES do estado de Santa Catarina, com graduação em Química Licenciatura, vigentes no ano de 2019.

Para buscar os assuntos de MQ presentes nos CQL, foi acessado o respectivo Projeto Pedagógico do Curso (PPC), que, de acordo com a Constituição Federal, em seu artigo 207, “as Universidades gozam de autonomia didático-científica, administrativa e de gestão financeira e patrimonial”, e, por assim ser, tal documento institui a identidade do curso de ensino superior. Nos PPCs foram encontradas as ementas das unidades curriculares, que serviram como fonte dados para a busca de tópicos de MQ presentes nos CLQ. Os processos para a coleta de dados, por meio dos quais buscou-se responder as questões de pesquisa, estão sistematizados no quadro 3.

⁶ Portal eletrônico do Ministério da Educação: <http://emec.mec.gov.br/>

Pesquisa Qualitativa de Análise Documental				
Ações de busca de dados para as questões de pesquisa:	Contexto		Documentos	
	EM	CQL	LD	PPC
[Q1] → identificar e organizar tópicos de MQ nos LDQ	X		X	
[Q2] → buscar tópicos de MQ presentes nos CQL		X		X
[Q3] → verificar concordância entre tópicos de MQ nos LDQ e presentes nos LDQ	X	X	X	X

Quadro 3 Fonte: elaboração própria

A amostra dos PCCs analisados foi definida em decorrência da disponibilidade, ou não, dos mesmos, no endereço eletrônico das IES. A maioria das IES apresentam apenas a grade curricular, sem as ementas das unidades curriculares. Mesmo assim, tentou-se o acesso por contato direto, mensagem eletrônica e/ou telefonema. Algumas IES não responderam. Entre as que responderam, algumas informaram que o acesso a maiores informações do curso, além das que se encontravam no site, seria apenas após matrícula no mesmo, outras, que o PPC é um documento restrito. Para maior esclarecimento, de quais IES não foram analisadas e dos procedimentos de busca por seus PPCs, consultar quadro do apêndice 1.

Definida a amostra dos PPCs, buscou-se por tópicos diretos de MQ evidentes nas ementas e conteúdo das unidades curriculares oferecidas, sejam elas optativas ou obrigatórias nos cursos. Então, a amostra analisada contém 8 (oito) PPCs, pertencentes às seguintes IES indicadas no quadro 4.

IES Analisadas		
Categoria	Campus	PPC _n
Universidades Federais	UFSC - Blumenau	PPC ₁
	UFSC - Florianópolis	PPC ₂
Institutos Federais	IFSC - São José	PPC ₃
	IFSC - Criciúma	PPC ₄
	IFC - Brusque	PPC ₅
	IFC - Araquari	PPC ₆
Instituição Estadual	UDESC - Joinville	PPC ₇
Instituição Municipal	FURB - Blumenau	PPC ₈

Quadro 4 Fonte: elaboração própria

Como as ementas são relações genéricas dos temas a serem abordados em uma disciplina do PPC, neste trabalho somente foram considerados tópicos que aparecem claramente relacionados com a mecânica quântica. Eventuais tópicos que possam ser *interpretados* como presentes e relacionados com MQ, mesmo assim, foram considerados ausentes. O propósito é evitar que se faça uma expectativa eventualmente falsa sobre o que as disciplinas abordam.

Resultados e Discussões

Como resultado da análise das coleções, foram identificados 11 (onze) tópicos considerados assuntos diretos da MQ. A tabela 1 indica a lista dos tópicos em ordem decrescente do número de ocorrências de cada um deles nas coleções (NO). Por exemplo, se um tópico apareceu em três das coleções analisadas, seu NO vale 3 (três), independentemente do número de vezes que este tópico apareceu dentro de cada coleção, como também não interessaram neste estudo os sinônimos e/ou formas diferentes de se referir ao mesmo conceito.

No primeiro momento, os dados coletados por meio dos critérios utilizados na metodologia de pesquisa, geraram a tabela 1.

<i>Tópicos de MQ presentes nos LDs</i>	<i>NO</i>	<i>PPCs</i>							
		<i>PPC₁</i>	<i>PPC₂</i>	<i>PPC₃</i>	<i>PPC₄</i>	<i>PPC₅</i>	<i>PPC₆</i>	<i>PPC₇</i>	<i>PPC₈</i>
<i>T₁</i> - Modelo atômico de Bohr	6	-	-	x	x	-	-	-	-
<i>T₂</i> - Quantização de energia	5	-	-	x	x	-	-	-	-
<i>T₃</i> - Orbitais atômicos	5	x	x	x	x	x	x	-	x
<i>T₄</i> - Espectros dos elementos	4	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>T₅</i> - Natureza da luz	4	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>T₆</i> - Comportamento dual da matéria	3	x	x	-	x	-	-	x	-
<i>T₇</i> - Princípio da Incerteza	2	-	-	x	x	-	-	-	-
<i>T₈</i> - Equação de Schrodinger	2	x	x	x	x	-	-	-	-
<i>T₉</i> - Função de onda associada ao elétron	2	-	-	x	x	-	-	-	-
<i>T₁₀</i> - Tunelamento	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T₁₁</i> - Modelo atômico de Sommerfeld	1	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 1 *Fonte: elaboração própria*

A tabela permite levar à resposta da primeira questão de pesquisa. Com os dados obtidos, destacam-se vários temas importantes de MQ dentro da química, como modelo de Bohr, quantização de energia, orbitais e espectros dos elementos. Esses apareceram em mais da metade das 6 (seis) coleções analisadas.

Na análise das coleções de química do PDNL2018, verificou-se também que duas delas vão além de puramente citar o termo MQ na apresentação dos conteúdos: elas possuem capítulos, com subseções inteiras, dedicadas a temas específicos de MQ, discutindo assuntos e fazendo conexões com os conteúdos químicos. Essa abordagem mais profunda, de acordo com Silva e Roque (2011), é capaz de proporcionar um ensino mais significativo e esclarecedor. Como exemplo, o volume 3 da coleção 2 traz um capítulo com o título “Modelo Quântico”, e nele aborda diretamente a teoria da MQ, incluindo comparações dela com a Física Clássica. O capítulo apresenta ainda subseções cujos títulos são assuntos e termos provenientes da MQ, a saber: “A dualidade onda-partícula da matéria” e o “Princípio da Incerteza”. Essas coleções são indícios de que as ideias da MQ estão em processo de inserção direta em discussões no EM, pelo menos no que se refere aos conteúdos do livro didático. Nessa abordagem, a MQ se apresenta como um campo da ciência que esclarece e amplia

determinados conteúdos de química, e não com os termos simplesmente soltos no texto e desconexos com os conteúdos apresentados no restante dos livros.

Stuart e Silvia (2009) defendem que a descrição completa dos sistemas atômicos e moleculares é possível somente mediante a apresentação dos princípios da mecânica quântica. Assim sendo, fica o registro aqui de outra constatação proveniente da análise dos LDs: embora a evolução dos modelos atômicos seja comumente discutida nos livros indicados para serem trabalhados no primeiro ano do EM, os autores, geralmente, acabam não fazendo as devidas conexões. Os motivos para isso não foram investigados aqui, mas, eventualmente, podem estar relacionados às justificativas já elencadas anteriormente sobre as dificuldades de trazer assuntos de FMC, incluindo MQ, no Ensino Médio.

Partindo para análise dos PPCs, é possível buscar a resposta para a segunda questão de pesquisa. De posse dos dados da tabela 1, percebe-se que nem todos os PPCs são igualmente completos e satisfatórios para abordarem os temas elencados nos livros didáticos. Enquanto os PPCs 3 e 4 ganham destaque positivo nesta análise, nos PPCs 5 a 8 os temas são menos recorrentes. Cabe ressaltar que a IES do PCC 4 oferece, além de MQ, uma disciplina sobre Fundamentos em Física Moderna, relevando outra observação de Silva e Roque (2011), que física e química são correlacionadas no desenvolvimento dos conteúdos químicos procedentes da MQ". Os PPCs 5, 6 e 7 são das IES que não possuem em sua grade curricular disciplina exclusiva para conteúdo de MQ.

Outra constatação feita foi a maneira como os temas de MQ são tratados dentro de cada PPC: três cursos de graduação ofertam Mecânica Quântica como disciplina obrigatória (PPC₁, PCC₂ e PCC₈), ao passo que dois cursos (PCC₃ e PCC₄) a possuem como optativa e os demais cursos analisados não apresentam na grade curricular. Apesar das optativas terem sido consideradas na obtenção dos dados deste trabalho, vale o registro de que nem sempre os discentes dos cursos em que MQ é optativa vão acabar cursando tal componente. Assim, isso pode contribuir com uma formação insatisfatória sobre o tema. Esse dado concorda com Fary e Savioli (2018, p. 9) quando concluem "que esse conteúdo [MQ] possui pouco interesse como disciplina específica nas IES da Região Sul do Brasil". No caso deste trabalho, Santa Catarina.

Com base nos dados gerados e sistematizados na Tabela 1, foi elaborado um gráfico (Figura 1) com intuito de analisar a terceira questão de pesquisa. Estão apresentados os códigos dos 11 (onze) tópicos de MQ identificados (T1 a T11) e os respectivos percentuais de ocorrência deles tanto nas coleções de LDs (onde 100% corresponde à ocorrência do tópico no total de 6 coleções) quanto nos PPCs (onde 100% corresponde à ocorrência em 8 PPCs). A figura 1 é uma ferramenta auxiliar à tabela 1 para análise comparativa dos dados.

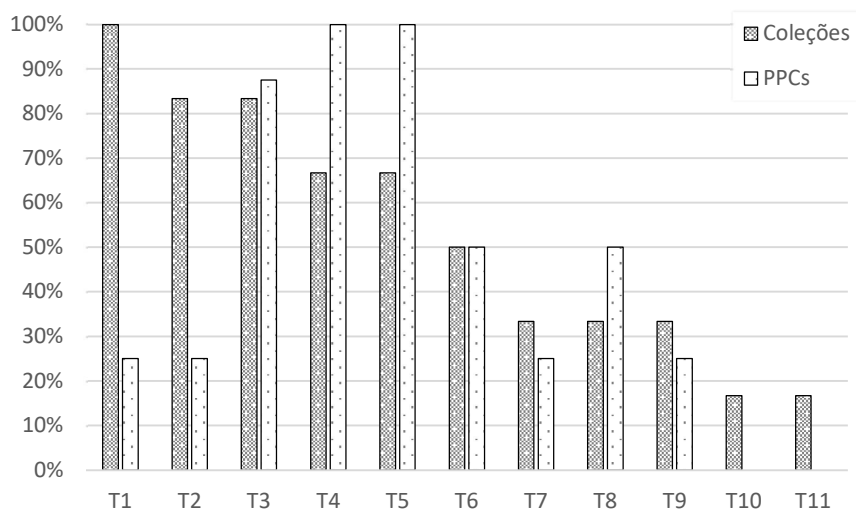


Figura 1 Fonte: elaboração própria

Os dados da figura 1 levam à constatação de que a concordância entre os tópicos de MQ presentes nos LDs com os que estão nas ementas dos PPCs é insatisfatória. O gráfico demonstra que há tópicos com presença alta no LD e baixa nos CQL, como T₁ e T₂, que tratam de conteúdos da atomística, inerentes ao primeiro ano do Ensino Médio. Há outros que apesar de possuírem nível baixo na escala de LDs, como o T₁₀ e T₁₁, são nulos nas ementas dos PPCs. Por fim, entre T₃ e T₉ a coerência entre ocorrências nos PPCs e nos LDs é positiva. Dentro desse grupo, outra questão que pode ser levantada se relaciona aos tópicos T₄ e T₅: eles são abordados em todos os PPCs, mas não estão presentes em todos os livros didáticos, o que pode sugerir que eles merecem mais atenção nos LDs.

Considerações finais e perspectivas

A pesquisa possibilitou uma perspectiva geral sobre a inserção dos assuntos de MQ na formação dos professores e dos tratados nos LDs da educação básica. Como resultado, indica-se que há dissonância, a qual deve ser melhorada, entre os conteúdos das unidades curriculares descritos nos PPCs e dos apresentados nos livros pertencentes ao PNLD2018. Perante o resultado apresentado, pode-se considerar relevante que os CQL ofereçam disciplina específica de MQ, especialmente no formato obrigatório, com o intuito de deixar o licenciado mais preparado para se deparar com os conteúdos apresentados nos LDs. A preparação na formação inicial do professor, segundo Silva e Almeida (2011), é necessária para tornar realidade o ensino dos tópicos relativos ao tema no EM.

Essa pesquisa apresentou resultados procedentes de uma visão panorâmica que tem uma limitação importante: as ementas analisadas nos PCCs dos cursos são genéricas. E, assim, é possível que se tenha considerado que MQ estava ausente em determinadas disciplinas quando, na realidade, os temas são abordados pelos professores que a lecionam. Portanto, sugere-se como uma possível perspectiva deste trabalho que se complemente os dados das

ementas, com aqueles contidos em planos de ensino (para acessar o conteúdo programático detalhado) e/ou entrevistas com os docentes para verificar a abordagem.

Outra possibilidade futura é mediante entrevistas e questionários também com professores que utilizam LD em sala de aula na educação básica. Com isso, poderia ser verificado o nível de profundidade dos conteúdos, e como os professores já formados por cada um dos PPCs se sentem em relação ao domínio do conhecimento, tanto pedagógico quanto específico, para tratar de temas de MQ na sua prática didática.

As perspectivas futuras apresentadas vão ao encontro das observações de Silva e Almeida (2011) e Silva, Arengi e Lino (2013) sobre a necessidade de evidenciar e investigar, na linha de pesquisa da MQ, tanto a formação inicial do professor quanto como o professor trata os tópicos em sala de aula. Indo na mesma linha, segue como sugestão futura o aprofundamento em relação aos tópicos de MQ no ensino de ciências da natureza que estão presentes na Base Nacional Comum Curricular, buscando-se verificar as semelhanças e diferenças entre a proposta da BNCC e os conteúdos presentes tanto nos LDs quanto nos PPCs de formação de professores.

Referências

- BRASIL. MEC. **PNLD2018**: apresentação – guia de livros didáticos – ensino médio. Ministério da Educação. Brasília, 2017. 38p.
- COUTINHO, C.; LISBÔA, E. Sociedade da Informação e da Aprendizagem: Desafios para educação no século XXI. **Revista de Educação**, vol. XVIII, n. 1, p. 5 – 22, 2011.
- CARNEIRO, M. H. S.; SANTOS, W. L. P. dos; MÓL, G. de S. Livro Didático inovador e professores: uma tensão a ser vencida. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 7, n. 2, 2005.
- FARY, A. B.; SAVIOLI, A. M. P. D. **Química Quântica e Currículo**: Uma análise documental de cursos de Licenciatura em Química da região sul do Brasil. VI SINECT, 2018.
- FLICK, U. **Introdução à Pesquisa Qualitativa**; 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 405p.
- FREIRE JR, O.; GRECA, I. M. Informação e teoria quântica. **Scientiae Studia**, v. 11, n. 1, p. 11-33, 2013
- FREITAS, F. A descoerência emerge: os múltiplos caminhos de um novo fenômeno físico In: FREIRE JR, O., PESSOA JR, O., BROMBERG, J. L. (Orgs). **Teoria Quântica**: estudos históricos e implicações culturais [online]. EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, p. 65 - 78, 2011. 456 p.
- GRECA, I. M.; FREIRE JR, O. Ênfase conceitual e interpretações no ensino da Mecânica Quântica. In: FREIRE JR, O., PESSOA JR, O., BROMBERG, J. L. (Orgs). **Teoria Quântica**: estudos históricos e implicações culturais [online]. EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, p. 359 - 375, 2011. 456 p.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Uma Revisão da Literatura Sobre Estudos Relativos ao Ensino da Mecânica Quântica Introdutória. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 6(1), p. 29-56, 2001.

MACHADO, S. S. L. **Implicações Culturais da Teoria Quântica**: Caminhos Metafóricos e as Apropriações Indébitas. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FL, J. B. A Sistemática Incompreensão da Teoria Quântica e as Dificuldades dos Professores na Introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 3, p. 557-580, 2009.

NOVAES, M.; STUDART, N. **Mecânica Quântica Básica**. [online] São Paulo: Livraria da Física, 2016. 157 p.

PAULO, I. J. C. P.; MOREIRA, M. A. Abordando Conceitos da Mecânica Quântica no Nível Médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2004.

PESSOA JR, O. O fenômeno cultural do misticismo quântico. In: FREIRE JR, O., PESSOA JR, O., BROMBERG, J. L. (Orgs). **Teoria Quântica**: estudos históricos e implicações culturais [online]. EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, p. 279 - 300, 2011. 456 p.

SCHAPPO, M. G. **Mecânica Quântica**: Uma Iniciação para Ciências Exatas e da Natureza. São Paulo: Livraria da Física, 2018. 182 p.

SAGAN, Carl. **O mundo assombrado pelos demônios**: a ciência vista como uma vela no escuro. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Física Quântica no Ensino Médio: O que dizem as pesquisas. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 28, n. 3, p. 624-652, 2011.

SILVA, A. J. R. Mecânica quântica, ciência básica e geração de riqueza. **Revista USP**, São Paulo, n. 76, p. 88-95, 2007-2008.

SILVA, J. R. N.; ARENGHI, L. E. B.; LINO, A. Por que inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. **R. B. E. C. T.**, vol. 6, n. 1, 2013.

SUART JR, B., SILVIA, Z. Reflexões acerca da transposição didática de conceitos de mecânica quântica no ensino de química: entraves e perspectivas. **Enseñanza de las Ciencias**, n. extra, VIII Congresso Internacional, 2009.

SILVA, J. L. P. B.; ROQUE, N. F. Teoria da ressonância: história e ensino. In: FREIRE JR, O., PESSOA JR, O., BROMBERG, J. L. (Orgs). **Teoria Quântica**: estudos históricos e implicações culturais [online]. EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, p. 337 - 356, 2011. 456 p.

TOMA, H. E. Ligação Química: Abordagem Clássica ou Quântica? **Química Nova na Escola**, Ligação Química n. 6, 1997.

Apêndice 1: Quadro das IES fora da amostra.

IES sem acesso aos PPCs	
Instituição	Tramite das tentativas de acesso ao PPC
UNOESC	Contato, por e-mail, com a coordenação do curso, e por orientação da mesma, foi encaminhado para coordenação da graduação Resposta: As informações passíveis de compartilhar estão na página do curso
UNISUL	Enviado e-mail, duas vezes, para coordenadora do curso. Não houve resposta
UNIVALI	Cursos cancelados conforme edital N° 293NVRGDI/2019
UNIP (EAD)	Contato por mensagem eletrônica no próprio site Resposta: somente recebimento de anúncio do curso
UNESA (EAD)	Curso não encontrado na internet
UNICID - Cruzeiro Sul (EAD)	Contato por mensagem eletrônica no próprio site Resposta: maiores informações após matrícula no curso.
UNITAU (EAD)	Contato por e-mail. Sem resposta.
UNIFRAN - Cruzeiro Sul (EAD)	Contato por mensagem eletrônica no próprio site Resposta: maiores informações após matrícula no curso
UNICSUL - Cruzeiro Sul (EAD)	Contato por mensagem eletrônica no próprio site Resposta: maiores informações após matrícula no curso.
UNIMES (EAD)	Contato por mensagem eletrônica no próprio site. Resposta: que a mensagem foi repasse da mensagem para suporte do curso. Não houve resposta
UNINTER (EAD)	Contato por mensagem eletrônica no próprio site. Sem resposta.
FUNIP (EAD)	Contato por e-mail, com reenvio para a matriz. Resposta: que o PPC é um documento de movimentação muito restrita, portanto não está disponível
UNIASSELV (EAD)	Contato presencial no polo, que não possui acesso ao PPC. Informações apenas os presentes no site.
Estácio Ribeirão Preto (EAD)	Curso não encontrado
UNOPAR (EAD)	Curso de segunda licenciatura. Sem contato

Fonte: elaboração própria