

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

### Quantum Mechanics on Chemistry Teaching: Subjects Comparison between Chemistry Textbooks and Undergraduate Curricula

Denise Gomes da Silva Costa<sup>1</sup>, Marcelo Girardi Schappo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), *campus* São José, CEP 88103-902, São José – SC, Brasil.

\*Email: [marcelo.schappo@ifsc.edu.br](mailto:marcelo.schappo@ifsc.edu.br)

### Resumo

A mecânica quântica é uma área de estudo de interesse de várias ciências, inclusive a química. Exemplos de fenômenos que ela explica com sucesso são o comportamento ondulatório da matéria, espectros dos elementos químicos e modelos atômicos contemporâneos. Devido à importância da quântica para a química, este trabalho visa investigar a concordância dos tópicos relacionados à área presentes tanto no livro didático de química (ciclo PNLD 2018) quanto nas ementas das disciplinas dos cursos de graduação em química (licenciatura) no estado de Santa Catarina vigorando em 2019. A concordância é desejável porque o livro didático é uma referência oficial para os conteúdos trabalhados pelos professores na escola, enquanto os currículos das licenciaturas compreendem tópicos que fazem parte do processo formativo dos professores, oferecendo os subsídios formais para o magistério na educação básica. Como resultado, é preocupante o fato de que a maioria dos currículos não está disponível ao público para análise. Além disso, embora exista um bom acordo entre os currículos analisados e os livros didáticos, a maioria dos cursos não possui disciplinas específicas obrigatórias para tratar de mecânica quântica: assim, este trabalho também faz considerações sobre a importância de tratar este tema no ensino médio e nas licenciaturas.

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

### Abstract

Quantum Mechanics is an interesting study area to several sciences, including chemistry. Among its successfully explained phenomena are the wave-particle duality, the chemical elements spectra, the contemporary atomic models and others. Due to the importance of quantum studies to chemistry, this work aimed to investigate the current situation of agreement between quantum related topics found both in the official chemistry textbook for basic education (PNLD cycle 2018) and in the chemistry teaching undergraduate courses' syllabus valid during 2019. This investigation is necessary in order to check the desired agreement between these two instruments: chemistry textbook for basic educations rules the official contents for chemistry classes, whereas the curricula of the undergraduate chemistry teaching courses forms the topics to teacher's future body of knowledge, offering the formal subsidies to teach in basic education. As a result, it is worrying that most curricula are not available to the public for review. In addition, although there is a good agreement between the analyzed curricula and textbooks, most courses have no specific disciplines to introduce quantum mechanics: thus, this work also elaborates some considerations about the importance of teaching quantum mechanics both in basic education and in teacher undergraduate courses with teaching licenses.

**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 [1]. 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”<sup>1</sup>. O século XXI consolida o campo tecnológico da informação, que, atrelado ao desenvolvimento da computação quântica<sup>2</sup>, aponta para um futuro promissor.

Os conteúdos da MQ contribuem com várias as áreas da ciência, em função do seu campo de conhecimento com aplicações interdisciplinares, tanto é que na literatura são encontrados materiais didáticos destinados a introduzir o assunto para acadêmicos de todas as áreas das Ciências Exatas e da Natureza, a exemplo dos trabalhos de Schappo [2] e Novaes e Studart [3]. 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 quando comparadas com a Mecânica Clássica. Devido a isso, o interesse e o fascínio pelo assunto crescem também entre as pessoas que não fazem parte dos círculos científicos e acadêmicos. Para esse público, geralmente, a mídia e as redes sociais são fontes de informação predominantes, e como não há um rigor científico de revisão dos materiais e conceitos que nelas circulam, isso pode ocasionar apropriação indevida de temas científicos para fins pseudocientíficos, como o que vem ocorrendo com a promoção do misticismo quântico<sup>3</sup>.

Dado esse contexto, é necessário discutir MQ na educação escolar tanto para formação científica que leva à compreensão das novas tecnologias do mundo moderno quanto para possibilitar que os estudantes estejam mais aptos a perceber e evitar embustes pseudocientíficos que aparentam estar baseados em conceitos de ciência legítima. Carl Sagan [4, p. 32] defende que “a pseudociência é adotada na mesma proporção em que a [...] ciência é mal compreendida”.

No ambiente escolar, o Livro Didático (LD) é um material oficial, fornecido pelo Estado, que segundo Carneiro, Santos e Mól [5], pode ser considerado um suporte ao processo de ensino-aprendizagem, servindo tanto para o professor organizar o seu planejamento quanto para a 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 [...]” [6, 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 [7, 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, para explorar este tema, o âmbito da formação de professores deve também ser analisado, uma vez que muitos docentes terão como base formativa apenas o que estudaram na graduação. “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” [8, p. 70].

<sup>1</sup>Para saber mais, sobre o conceito de “Sociedade da Informação”, ver Coutinho e Lisboa [9].

<sup>2</sup>“[...] “informação quântica” e “computação quântica” [...] são definidas como o estudo das tarefas de processamento da informação que podem ser desenvolvidas usando sistemas quantomecânicos” [10, p. 15]. 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) [1].

<sup>3</sup>No misticismo quântico, a ciência é usada para servir como *poder de autoridade*, tentando convencer o público de que existe uma validação científica para afirmações místicas sobre a natureza. Nesse caso, “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” [11, p. 40].

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 e os tópicos de MQ que estão presentes nas unidades curriculares dos cursos de Química Licenciatura no estado de Santa Catarina, em vigor no ano de 2019. A importância dessa análise é singular, uma vez que enquanto a formação dos professores fornecerá a base de conhecimentos para o magistério, os livros do PNLD trazem, do ponto de vista oficial, os conteúdos a serem tratados em aula. Assim, é esperado que os tópicos encontrados nos LDs sejam trabalhados nos cursos de licenciatura. Por outro lado, não se está analisando a proposição recíproca, afinal é compreensível e aceitável que os tópicos de MQ trabalhados nas licenciaturas podem ser mais aprofundados, e em maior quantidade, que aqueles constantes no Ensino Médio.

## A Mecânica Quântica

A teoria quântica está implícita em diversos termos, como “física moderna”, “física contemporânea”, “física quântica” e “química quântica”. 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 Schrödinger, John Bell, entre outros. Ao longo da história desta vasta área da ciência, muitos conceitos e ideias advindas da mecânica clássica ou newtoniana sofreram mudanças. O quadro 1 auxilia como um comparativo entre as mecânicas.

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

Quadro 1: Comparativo entre Mecânica Clássica e Mecânica Quântica. Fonte: [2, p. 79].

O primeiro destaque se refere à descrição de objetos providos de massa, como um átomo ou uma partícula subatômica. Na mecânica clássica, eles são descritos apenas como partículas, “pequenas bolinhas”, ao passo que na teoria quântica, o comportamento ondulatório é também atribuído a esses mesmos objetos, gerando o que se chama “comportamento dual”.

O uso das probabilidades possui papel distinto na MQ e na Mecânica Clássica. Na primeira, ele descreve uma situação 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, como a impossibilidade de conhecer com certeza o

resultado do lançamento de um dado antes de lançá-lo. Quando se faz uma medida num sistema quântico em sobreposição de autoestados, essa interação gera *decoerência*, fazendo com que o resultado da medida seja, probabilisticamente, apenas um dos autoestados possíveis. Pesquisas envolvendo estados de sobreposição e decoerência estão auxiliando a impulsionar a chamada “computação quântica” [12].

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 [3, p. 34].

Outra diferença essencial entre MQ e Mecânica Clássica está relacionada à energia. Os objetos quânticos, como elétrons, quando confinados na estrutura atômica, não podem possuir qualquer valor de energia: somente valores discretos, a partir 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.

O emaranhamento é outro processo quântico de destaque. 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 e 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”.

## 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 [8], 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 [7, 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 [13, 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 professores.

Stuart e Silvia [14, p. 899] expõem que alguns assuntos de MQ podem ser encontrados de forma intrínseca “aos conteúdos iniciais de estudo” da química no Ensino Médio. Assim, “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 [15] 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 [16] já evocava uma visão atual sobre ligação química, questionando sobre a necessidade da abordagem quântica. E, por fim, Silva e Roque [15, 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.

Sobre a relevância de ensinar MQ no EM, Silva, Arengui e Lino [8], destacam várias justificativas. Embora eles usem o contexto da física, elas podem ser igualmente aplicadas ao ensino de química: 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 para compreensão e crítica das questões atuais que envolvem ciência, tecnologia, sociedade e ambiente.

Dentro da justificativa IV, está presente a importante tarefa de uma formação científica adequada em MQ: facilitar a identificação do uso indevido dessa área da ciência para fins pseudocientíficos. Machado [11, p. 52] evidencia que essa questão “se coloca como um problema na educação científica, implicando reflexões no ensino e na formação de professores”. Enquanto o campo da pseudociência não está sob o controle da educação científica, a preparação do senso crítico do cidadão está na jurisdição da educação escolar. Nessa perspectiva, Greca e Freire Jr. [17] 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 [17, p. 360].

Pelo contexto exposto, parece ser consensual que os fundamentos da MQ são inovadores, instigantes, provocadores e fundamentais dentro da educação científica. Porém, 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, novamente, 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 sobre possíveis impedimentos para ensinar MQ na educação básica são, por exemplo: dificuldade do formalismo matemático; estrutura curricular rígida; e carga horária insuficiente [18]. Paulo e Moreira [19, 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”. Apesar disso, os autores 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” [19, p. 63]. Silva e Almeida [7], enquanto constatam a necessidade de mais trabalhos sobre essa problemática, também colocam que

é urgente a necessidade de uma formação inicial [adequada] do professor, para que ele, quando estiver em sala de aula, sinta-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 [7, p. 646].

É preciso, portanto, reforçar o preparo do professor em conteúdos de MQ em seus cursos de graduação, buscando evitar que a formação inicial seja um obstáculo para trabalhar esses temas no EM e

dando condições aos futuros professores para fazerem as devidas relações entre MQ e os diferentes tópicos dos currículos de química que serão por eles ministrados.

## Metodologia

A presente pesquisa, na área de Ensino de Química, caracteriza-se como qualitativa de análise documental [20]. Assim, objetiva fazer uma comparação entre os assuntos de MQ que aparecem nos LD do ciclo do PNLD 2018 e 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 do ciclo 2018-2020; [Q2] Há concordância entre os assuntos elencados na questão anterior e as unidades curriculares dos CQL?

No primeiro momento, foram reunidas as coleções de química do PNLD, aprovadas pelo Ministério da Educação (MEC), em vigor entre 2018 e 2020. Após, os livros foram consultados para elencar assuntos diretos da MQ presentes neles. Destaca-se que foram desprezados, desta forma, possíveis conteúdos de química dos livros que teriam potencial para discussão de MQ quando os autores das obras não fizeram explicitamente a conexão com a área de interesse deste trabalho. O motivo pelo qual se optou por desprezar potenciais assuntos é que o objetivo deste trabalho é verificar uma concordância direta de tópicos explícitos entre os LDs e as unidades curriculares dos CQL, não cabendo a reflexão sobre estratégias para *como os professores poderão discutir MQ no Ensino Médio*.

Assim, a busca por assuntos foi feita com base nos títulos do sumário dos livros. Quando apareciam termos diretamente ligados aos assuntos referentes à MQ, eram feitas novas verificações diretamente na seção correspondente do livro-texto para checar se havia mesmo articulação com MQ ou não. Caso a relação fosse efetivamente apresentada no livro, o tópico correspondente entrou neste trabalho, caso contrário ele foi desprezado. As coleções de LD analisadas, contidas no PNLD2018, foram as seis indicadas no quadro 2.

Coleções do PNLD2018				
Coleção	Título	Sobrenomes dos Autores	Editora	Ano
1	Química	Fonseca.	Ática	2016
2	Química Cidadã	Santos e Mól (coord)	AJS	2016
3	Química	Mortimer e Machado	Scipione	2016
4	Ser Protagonista – Química	Lisboa <i>et al.</i>	SM	2016
5	Química	Ciscato <i>et al.</i>	Moderna	2016
6	Vivá – Química	Novais e Antunes	Positivo	2016

Quadro 2: Coleções de LD analisadas. Fonte: elaboração própria.

A respeito dos CQL participantes da pesquisa, eles foram identificados mediante consulta à base de dados no cadastro do e-MEC<sup>4</sup> 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.

A fonte para a busca nos CQL dos assuntos de MQ encontrados anteriormente nos LDs foi as ementas das unidades curriculares constantes nos respectivos Projetos Pedagógicos de Curso (PPC). Afinal, 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.

<sup>4</sup> Portal eletrônico do Ministério da Educação: < <http://emec.mec.gov.br/> > Acesso em: 28/08/2019.

Como as ementas são relações genéricas dos temas a serem abordados em uma disciplina do curso, existe alguma dificuldade de encontrar nelas exatamente o mesmo tópico listado a partir do LD. Assim, o tópico do LD foi considerado presente na ementa quando uma das condições a seguir foi obedecida:

a) A ementa apresenta o termo do LD de forma direta, apresentando-o explicitamente ou por meio de sinônimos;

b) A ementa apresenta tópicos que subentendem a necessidade de apresentação anterior ou conjunta do tópico listado a partir do LD. Dessa forma, considerou-se aqui que a ementa apresentou o tópico do LD implicitamente, e a real efetivação da relação do tópico com a mecânica quântica na disciplina ficará dependente da atuação do professor do curso de graduação.

Foram encontrados 23 cursos de Química Licenciatura distintos em Santa Catarina. Porém, nem todas as instituições promotoras disponibilizam o PPC para acesso público. Algumas delas fornecem acesso apenas à grade de disciplinas, sem constar informações sobre as ementas. Dessa forma, a amostra dos PPCs analisados neste trabalho foi constituída apenas pelos cursos pertencentes às instituições que disponibilizam o documento adequadamente no seu sítio eletrônico. A lista utilizada corresponde a 8 cursos e está apresentada no quadro 3.

IES Analisadas		
Categoria	Campus	PPC <sub>n</sub>
Universidades Federais	UFSC - Blumenau	PPC <sub>1</sub> : Disponível em: < <a href="https://bit.ly/35R2ckO">https://bit.ly/35R2ckO</a> > Acesso: 14/05/2020
	UFSC - Florianópolis	PPC <sub>2</sub> : Disponível em: < <a href="https://bit.ly/2WIMJpO">https://bit.ly/2WIMJpO</a> > Acesso: 14/05/2020
Institutos Federais	IFSC - São José	PPC <sub>3</sub> : Disponível em: < <a href="https://bit.ly/3cqj2y">https://bit.ly/3cqj2y</a> > Acesso: 14/05/2020
	IFSC - Criciúma	PPC <sub>4</sub> : Disponível em: < <a href="https://bit.ly/2WL3KZM">https://bit.ly/2WL3KZM</a> > Acesso: 14/05/2020
	IFC - Brusque	PCC <sub>5</sub> : Disponível em: < <a href="https://bit.ly/2yNdlHq">https://bit.ly/2yNdlHq</a> > Acesso: 14/05/2020
	IFC - Araquari	PPC <sub>6</sub> : Disponível em: < <a href="https://bit.ly/3buSjuF">https://bit.ly/3buSjuF</a> > Acesso: 14/05/2020
Instituição Estadual	UDESC - Joinville	PPC <sub>7</sub> : Disponível em: < <a href="https://bit.ly/2LjrYoH">https://bit.ly/2LjrYoH</a> > Acesso: 14/05/2020
Instituição Municipal	FURB - Blumenau	PPC <sub>8</sub> : Disponível em: < <a href="https://bit.ly/3fHgKIk">https://bit.ly/3fHgKIk</a> > Acesso: 14/05/2020

Quadro 3: Amostra das IES. Fonte: Elaboração própria.

Assim sendo, a primeira questão de pesquisa [Q1], visando investigar tópicos de MQ na química do ensino médio, será investigada por meio da análise dos LDs. A segunda questão [Q2], para investigar a concordância deles com a formação de professores, será respondida através da busca dos tópicos encontrados na questão anterior diretamente nas ementas constantes nos PPCs dos cursos de graduação em Química Licenciatura.

## Resultados e Discussões

Como resultado da análise das coleções, foram identificados 8 tópicos com correlação feita explicitamente com MQ. A tabela 1 indica a lista dos tópicos em ordem decrescente do número de ocorrências (NO) de cada um deles nas coleções. Por exemplo, se um tópico apareceu em três das coleções analisadas, seu NO vale 3, independentemente do número de vezes que este tópico apareceu dentro de cada coleção, como também não interessaram ocorrências repetidas de sinônimos e/ou formas diferentes de se referir ao mesmo conceito na mesma coleção.

As duas colunas da esquerda da tabela 1 permitem obter a resposta da primeira questão de pesquisa [Q1]: os dados obtidos mostram vários temas importantes de MQ realmente aparecendo dentro

dos LDs, como modelo de Bohr, quantização de energia, e espectros dos elementos. Esses apareceram, relacionados à MQ em, pelo menos, metade das coleções analisadas.

Parece intrigante, frente a esse resultado, aceitar que alguns livros de química para o ensino médio não trazem os tópicos “quantização de energia” e “espectros dos elementos”. O mesmo acontece com “orbitais atômicos”, não ocorrendo em nenhuma das coleções analisadas. Porém, é importante lembrar que, neste trabalho, o que se está analisando são temas com a devida relação com a MQ feita no próprio livro didático. Assim, quando esses tópicos não estão listados para todos os livros, isso não significa que estavam realmente ausentes, mas apenas que os autores não fizeram relação deles com MQ.

Verificou-se também que duas das coleções analisadas vão além da simples citação do termo Mecânica Quântica 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 [15], 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”, abordando diretamente a MQ e incluindo comparações dela com a Física Clássica. O capítulo apresenta ainda subseções cujos títulos são “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.

Tópico LD	NO	PPCs							
		PPC <sub>1</sub>	PPC <sub>2</sub>	PPC <sub>3</sub>	PPC <sub>4</sub>	PPC <sub>5</sub>	PPC <sub>6</sub>	PPC <sub>7</sub>	PPC <sub>8</sub>
T <sub>1</sub> - Modelo atômico de Bohr	6	Imp (A, C)	Imp (C)	Exp	Imp (A, C)	Imp (A)	Imp (A)	Imp (A)	Imp (A)
T <sub>2</sub> - Quantização energia	5	Imp (A, E)	Imp (E)	Exp	Exp	Imp (A, D)	Imp (A, D)	Imp (B, E)	Imp (E)
T <sub>3</sub> - Espectros atômicos	3	Exp							
T <sub>4</sub> - Dualidade	2	Exp	Exp	Exp	Exp	-	-	Imp (B)	-
T <sub>5</sub> - Incerteza	2	Imp (B)	Imp (B)	Exp	Exp	-	-	Imp (B)	-
T <sub>6</sub> - Equação de Schrödinger	2	Exp	Exp	Exp	Exp	-	-	Imp (E, G)	-
T <sub>7</sub> - Função de onda	2	Imp (F)	Imp (F)	Exp	Imp (F)	-	-	Exp	-
T <sub>8</sub> - Tunelamento	1	Imp (E)	Imp (E)	Imp (E)	Imp (E)	-	-	Imp (E)	-

Notas:

A: Evolução dos modelos atômicos; estrutura atômica; estrutura do átomo; estrutura da matéria.

B: Fundamentos da mecânica quântica; transição do pensamento clássico para o quântico; introdução à mecânica quântica.

C: Átomo de hidrogênio; obtenção e propriedades do hidrogênio.

D: Espectroscopia eletrônica.

E: Partícula na caixa; noções de mecânica quântica envolvendo partícula livre e confinada; poços e barreiras de potencial.

F: Equação de Schrödinger

G: Funções de onda dos átomos de hidrogênio e hélio.

Tabela 1: Tópicos em ordem decrescente do número de ocorrências de cada um deles nas coleções.

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Partindo para análise dos PPCs, é possível buscar a resposta para a segunda questão de pesquisa [Q2]. Para cada PPC, os tópicos estão marcados como *explícitos* (Exp), *implícitos* (Imp) ou ausentes (-):

Tópico explícito (Exp): marcado quando nas ementas de pelo menos uma disciplina do PPC, seja ela optativa ou obrigatória, existe uma referência direta ao termo encontrado no livro didático (ou um sinônimo).

Tópico implícito (Imp): marcado dessa forma quando nas ementas de pelo menos uma disciplina do PPC, seja ela optativa ou obrigatória, existe um ou mais assuntos onde é possível fazer uma relação com o tópico presente no livro didático, sob um ponto de vista de relacioná-lo com a mecânica quântica, a depender da abordagem do professor ministrante (O julgamento dos autores deste trabalho sobre o tópico do LD estar implícito no PPC se deu por conta da existência, nas ementas, de pelo menos um dos assuntos correspondentes a cada letra indicada entre parênteses).

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, sendo o 5, 6 e o 8 os mais deficientes. Por outro lado, os tópicos ausentes nesses PPCs correspondem aos que menos ocorrem nos livros didáticos, o que também é um sinal de acordo.

Vale lembrar que o bom acordo encontrado aqui não representa o cenário geral atual de formação de licenciados em química no estado de Santa Catarina, uma vez que a maioria das instituições não disponibiliza publicamente o PPC para análise.

Outro ponto a ser observado é a forma como os temas de mecânica quântica são tratados em cada PPC, pois isso também pode contribuir com a formação adequada do futuro professor da educação básica: três cursos de graduação ofertam Mecânica Quântica como disciplina obrigatória (PPC<sub>1</sub>, PCC<sub>2</sub> e PCC<sub>7</sub>), ao passo que dois cursos (PCC<sub>3</sub> e PCC<sub>4</sub>) a possuem como optativa. Os demais cursos analisados não apresentam disciplina específica de MQ na grade curricular (PPC<sub>5</sub>, PCC<sub>6</sub> e PCC<sub>8</sub>). A IES do PCC<sub>4</sub> oferece, além de uma disciplina de MQ, uma disciplina de “Fundamentos em Física Moderna”, revelando outra observação de Silva e Roque [15]: a de que “física e química são correlacionadas no desenvolvimento dos conteúdos químicos procedentes da MQ”.

Os cursos com disciplinas específicas de MQ, sejam elas optativas ou obrigatórias, acabam tendo ementas mais específicas sobre o tema, e isso se refletiu em uma melhor concordância com o LD neste estudo, o que pode contribuir para melhorar a formação do futuro professor em relação a temas de MQ.

Cabe comentar que embora se tenha considerado também as ementas das disciplinas optativas neste trabalho, registra-se o fato evidente de que nem sempre os acadêmicos irão cursá-las, o que pode ser fator contribuinte para uma formação insatisfatória sobre o tema. Dos PPCs analisados, apenas 3 possuem MQ como disciplina obrigatória, o que indica uma concordância com Fary e Savioli [21, 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.

## Considerações Finais

A pesquisa possibilitou uma perspectiva geral sobre como os tópicos de MQ presentes nos livros didáticos de química do Ensino Médio estão inseridos nos PPCs de cursos de graduação em Química Licenciatura. Embora este trabalho tenha limitações de ter buscado os tópicos nos LDs apenas no sumário (com checagem no livro-texto para verificar real relação com MQ) e depois comparado somente com as ementas dos PPCs disponíveis, o resultado obtido permitiu obter uma visão panorâmica do nível de concordância entre a formação de professores e os conteúdos apresentados no Ensino Médio para a prática docente.

A partir dos resultados, ficou evidente que existe uma boa concordância entre os tópicos presentes e conectados com MQ nos livros didáticos e as ementas dos PPCs estudados, porém isso não implica, necessariamente, que os professores formados atualmente, em Santa Catarina, estejam em plenas condições para ministrar os assuntos relacionados à MQ, pois muitos PPCs não estão disponíveis para

análise e somente 3 dos PPCs analisados ofertam MQ como disciplina obrigatória na grade curricular. Dada a relevância do assunto na ciência moderna, e ainda as justificativas para trabalhar com ele na educação básica, é interessante reavaliar os PPCs em relação a esse quesito. A preparação na formação inicial do professor, segundo Silva e Almeida [7], é necessária para tornar realidade o ensino dos tópicos relativos ao tema no EM.

Perspectivas de pesquisas futuras baseadas nesta análise panorâmica podem ser levantadas por meio de questionários e/ou entrevistas com professores tanto das graduações em química como os atuantes no Ensino Médio, pois assim será possível se aproximar ainda mais dos conteúdos efetivamente trabalhados em sala de aula, evitando uma análise baseada apenas no sumário do livro e nas ementas dos PPCs. Nessa possível intervenção futura, ainda poderão ser levantadas questões sobre como os professores se sentem acerca do domínio dos conteúdos quânticos para poderem levar isso a uma real efetivação nas salas de aula da educação básica.

## Referências

- [1] SILVA, A. J. R. Mecânica quântica, ciência básica e geração de riqueza. **Revista USP** [online], São Paulo, n. 76, p. 88-95, 2007-2008. Disponível em: < <https://bit.ly/2Wnw5pR> >. Acesso: 14 maio 2020.
- [2] SCHAPPO, M. G. **Mecânica Quântica: Uma Iniciação para Ciências Exatas e da Natureza**. São Paulo: Livraria da Física, 2018. 182 p.
- [3] NOVAES, M.; STUDART, N. **Mecânica Quântica Básica**. [online] São Paulo: Livraria da Física, 2016. 157 p. Disponível em: < <https://bit.ly/2SVLsUt> >. Acesso: 14 maio 2020.
- [4] SAGAN, Carl. **O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro**. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.
- [5] 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. Disponível em: < <https://bit.ly/2SXaZfT> >. Acesso: 14 maio 2020.
- [6] BRASIL. MEC. **Guia Digital do PNLD2018: apresentação – ensino médio**. Ministério da Educação. Brasília, 2017. 38p. Disponível em: < <https://bit.ly/2AZy7EA> > Acesso: 14 maio 2020.
- [7] 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. Disponível em: < <https://bit.ly/2XuM70p> > Acesso: 11 jun. 2020.
- [8] 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. Disponível em: <https://bit.ly/3d5H5hM> > Acesso: 11 jun. 2020.
- [9] 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. Disponível em: < <https://bit.ly/2B4mCfb> > Acesso: 11 jun. 2020.
- [10] FREIRE JR, O.; GRECA, I. M. Informação e teoria quântica. **Scientiae Studia**, v. 11, n. 1, p. 11-33, 2013. Disponível em: <https://bit.ly/3c3WNIC> > 11 jun. 2020.

- [11] 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. Disponível em: < <https://bit.ly/2WOR7wC> >. Acesso: 14 maio 2020.
- [12] 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. Disponível em: < <https://bit.ly/3fBFPoh> >. Acesso: 14 maio 2020.
- [13] 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. Disponível em: <https://bit.ly/3d1WOhR> > Acesso: 11 jun. 2020.
- [14] STUART 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. Disponível em: < <https://bit.ly/36AX4BR> >. Acesso: 11 jun. 2020.
- [15] 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. Disponível em: < <https://bit.ly/3fBFPoh> >. Acesso: 14 maio 2020.
- [16] TOMAS, H. E. Ligação Química: Abordagem Clássica ou Quântica? **Química Nova na Escola**, Ligação Química n. 6, 1997. Disponível em: < <https://bit.ly/2SWe9Ra> >. Acesso: 14 maio 2020.
- [17] 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. Disponível em: < <https://bit.ly/3fBFPoh> >. Acesso: 14 maio 2020.
- [18] 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. Disponível em: < <https://bit.ly/3fmmPsZ> > 11 jun. 2020.
- [19] 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. Disponível em: < <https://bit.ly/3e7eOId> > 11 jun. 2020.
- [20] FLICK, U. **Introdução à Pesquisa Qualitativa**; 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 405p.
- [21] 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. < Disponível em: <https://bit.ly/30yijDn> > 11 jun. 2020.3872