

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE QUÍMICA
ANA BEATRIZ DE SOUZA BARBOSA

**ABORDAGEM LÚDICA DE CONTEÚDOS DE QUÍMICA QUÂNTICA
NO ENSINO MÉDIO: DESMISTIFICANDO OS CONCEITOS**

RIO DE JANEIRO

2023

Ana Beatriz de Souza Barbosa

**ABORDAGEM LÚDICA DE CONTEÚDOS DE QUÍMICA QUÂNTICA
NO ENSINO MÉDIO: DESMISTIFICANDO OS CONCEITOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Priscila Tamiasso-Martinhon

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Grazieli Simões

RIO DE JANEIRO

2023

ANA BEATRIZ DE SOUZA BARBOSA

**ABORDAGEM LÚDICA DE CONTEÚDOS DE QUÍMICA QUÂNTICA NO ENSINO
MÉDIO: DESMISTIFICANDO OS CONCEITOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciada em Química.

Aprovada em 12 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Priscila Tamiasso-Martinhon (Orientadora)
Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof.^a Dr.^a Grazieli Simões (Coorientadora)
Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof.^a Dr.^a Angela Sanches Rocha
Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof.^o Dr. Victor de Oliveira Rodrigues
Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro

RIO DE JANEIRO

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Dedico este Trabalho de Conclusão de Curso à minha mãe, Lenita Peixoto de Souza, que sempre foi meu maior exemplo na vida: de mulher, valores e determinação; Ao meu pai, Hilton Valério de Assis Barbosa (in memoriam), que permanece presente em todos os dias da minha vida, me trazendo muita força; E a minha tia, Galba Cristina de Assis Barbosa (in memoriam), por todo amor que sempre demonstrou por mim, e por ter feito de tudo para que a graduação se tornasse um sonho possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por conceder-me coragem e determinação para concluir esta importante etapa acadêmica da minha vida. Sem Ele, nada disso seria possível.

À toda a minha família, agradeço pelo apoio incondicional em todos os momentos. À minha avó materna, Joselina Rosa de Souza, agradeço por fortalecer minha caminhada e ser meu alicerce. À minha avó paterna, Rita de Assis Barbosa (*in memoriam*), agradeço por ter me ensinado o valor da educação e por ter compartilhado importantes lições de vida.

Às minhas amigas Paola Valerio e Maryssol Bomfim, agradeço por me entenderem todas as vezes que precisei estar ausente para concluir alguma atividade acadêmica. Elas demonstraram o verdadeiro sentido da amizade ao longo de todos esses anos.

À minha amiga Mariana Soares Barros, agradeço por ser minha parceira em tantos momentos, por me dar forças nas adversidades e não me deixar desistir, e por representar luz e esperança. Obrigada por tornar a caminhada mais leve.

Ao amigo Douglas Coffone, que tanto me ajudou durante toda a graduação, agradeço. Sua amizade foi um presente da UFRJ, que levarei para sempre com grande carinho e admiração.

Ao amigo Lukas Kazlauskas (*in memoriam*), que partiu de forma precoce, mas que foi tão importante na minha trajetória e marcou positivamente a vida de todos que tiveram oportunidade de conhecê-lo. Aquele copo de açaí antes da aula nunca mais foi o mesmo sem sua companhia. O diploma de Licenciatura em Química também é dele, onde quer que esteja.

Ao Professor e amigo Rabi da Silva, que me auxiliou na verdadeira saga de estudo de todas as disciplinas de Cálculo. Obrigada por toda a paciência e atenção.

Ao Professor Rodrigo Ribeiro, por ser um profissional diferenciado. Nunca vou esquecer que, mesmo sem voz, contornou a situação para tirar dúvidas da turma. Na minha formatura do ensino técnico, fizemos uma blusa em que estava escrito: “Mecânica Quântica: Eu fui... E nunca mais voltei”. Naquela época, eu não podia imaginar, mas uma semente havia sido plantada, e um dos resultados é este trabalho de conclusão de curso.

À minha orientadora, Priscila Martinhon, e à minha coorientadora, Grazieli Simões, que me auxiliaram e fizeram-me ir além do que eu mesma achei que pudesse chegar.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro, que me formou Professora, Química, e trouxe desafios que me tornaram mais forte.

E, ao mais fundamental para minha formação, ao Instituto Federal do Rio de Janeiro – Campus Maracanã. Serei eternamente grata por todas as experiências que vivi neste lugar e por todo o aprendizado que levei para a vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

RESUMO

BARBOSA, Ana Beatriz de Souza. **ABORDAGEM LÚDICA DE CONTEÚDOS DE QUÍMICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO: DESMISTIFICANDO OS CONCEITOS**. 126 f. Trabalho De Conclusão de Curso (Licenciatura Em Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Este trabalho visa compartilhar uma proposta de ensino de conteúdos de Química Quântica para a última etapa da educação básica de ensino no Brasil, através do emprego do livro “Alice no País do Quantum”, de Robert Gilmore (1998), recorrendo ao lúdico como ferramenta facilitadora para proporcionar uma aprendizagem significativa e para aproximar o aluno da ciência, uma vez que se verifica uma lacuna de conhecimento em relação ao letramento científico, o que conseqüentemente gera inúmeras dificuldades em termos de aprendizagem e assimilação de conteúdos. O desenho metodológico baseou-se em um primeiro momento no livro “Aprendizagem significativa: A teoria e textos complementares”, de Marco Antonio Moreira, construindo uma base para a compreensão do conceito de aprendizagem significativa no contexto de ensino. Posteriormente, configurando-se como o principal alicerce deste trabalho, aplicou-se a obra de Gilmore, com base nos capítulos “No País do Quantum”; “O Banco de Heisenberg”; “O Instituto de Mecânica”; e “A Academia Fermi-Bose”. Considerando o exposto, foi elaborada uma sequência didática para ser aplicada em turmas do primeiro ano do ensino médio, composta por cinco encontros presenciais, cujo conteúdo programático foi fundamentado de maneira que os alunos possam desenvolver familiaridade com descritores primordiais do campo do saber da Química Quântica, e de forma que os professores possam exercer a prática docente como um instrumento de inovação e de formação de cidadãos críticos e conscientes.

Palavras-chave: Química Quântica. Lúdico. Prática docente. Alice no País do Quantum. Sequência didática.

ABSTRACT

BARBOSA, Ana Beatriz de Souza. **A PLAYFUL APPROACH TO QUANTUM CHEMISTRY CONTENT IN HIGH SCHOOL: DEMYSTIFYING CONCEPTS**. 126 f. Final Course Work (Chemistry Degree) - Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

This work aims to share a proposal for teaching the contents of Quantum Chemistry content for the last stage of basic education in Brazil, using the book the book “Alice in Quantumland” by Robert Gilmore (1998), using playfulness as a facilitating tool to provide meaningful learning and to bring students closer to science, since there is there is a gap in knowledge in relation to scientific literacy, which consequently generates numerous difficulties in terms of learning and assimilation of content. The methodological design was initially based on the book “Meaningful Learning: A Theory and Complementary Texts”, by Marco Antonio Moreira, building a basis for understanding the concept of meaningful learning in the teaching context. Subsequently, as the main foundation of this work, Gilmore's work was applied, based on the chapters “In Quantumland”; “The Heisenberg Bank”; “The Mechanics Institute”; and “The Fermi-Bose Academy”. In view of the above, a didactic sequence was designed to be applied to first-year high school classes, consisting of five face-to-face meetings of five face-to-face meetings, whose syllabus was designed in such a way that students could develop familiarity with key descriptors in the field of the field of Quantum Chemistry, and in such a way that the teachers can teachers can use their teaching practice as an instrument of innovation and of critical and conscious citizens.

Keywords: Quantum Chemistry. Playfulness. Teaching. Alice in Quantumland. Didactic sequence.

PRELÚDIO

Este trabalho de conclusão de curso é resultado da minha trajetória, construída com muitos desafios, mas também com muito orgulho da mulher que me tornei. Cresci em um ambiente familiar onde a ênfase na educação sempre foi uma prioridade. Fui alfabetizada pela minha avó paterna, antes de entrar na escola, e ela sempre fez questão de ressaltar que o conhecimento é a única coisa que ninguém pode nos tirar. Guardo com muito carinho essa herança que ela me deixou, assim como a paixão pelos livros, pois sempre fui incentivada a mergulhar no mundo das palavras, e hoje sou uma leitora voraz.

Minha família sempre foi meu alicerce, e embora meu pai tenha falecido quando eu tinha apenas 5 anos, ele plantou a semente de valores que levo comigo até hoje, acima de tudo o respeito ao próximo e a empatia. Ainda tenho muitas lembranças do meu pai, apesar da pouca idade, e sei que, de alguma forma, ele sempre esteve e estará presente na minha vida.

Após o falecimento do meu pai, minha mãe lutou muito para conseguir me proporcionar condições de seguir em frente com dignidade. Ela é uma mulher de muita garra e fibra, e me inspiro diariamente em sua força. Minha mãe sempre fez o impossível para me manter em uma escola particular, na etapa de ensino fundamental, mesmo com dificuldades. E em seguida, me incentivou a estudar para a prova de curso técnico, no ensino médio.

Com muito esforço e dedicação, consegui ser aprovada no Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ – Campus Maracanã), para o curso técnico em Química, e essa escola foi um divisor de águas na minha vida. Ali eu pude compreender o valor da educação pública de qualidade, pude me encantar ao entrar pela primeira vez em um laboratório, e percebi que deveria seguir firme e aproveitar todas as oportunidades de aprendizado, pois seriam únicas.

No período próximo da conclusão do curso, no ano de 2014, fiz estágio na empresa Cosan, situada na Ilha do Governador, no Rio de Janeiro. A organização é fabricante de óleos e graxas lubrificantes da marca Mobil. Atuei no laboratório de controle de qualidade por seis meses, e logo em seguida, fui efetivada. Essa foi minha primeira experiência profissional com carteira assinada, onde pude me desenvolver muito mais do que eu imaginava.

Em 2016, ingressei na UFRJ, no curso noturno de Licenciatura em Química, e durante toda a minha graduação eu trabalhei em indústrias. Não demorou muito para que eu percebesse que trabalhar e estudar de forma concomitante é extremamente desafiador.

O meu horário de trabalho se iniciava às sete horas, e por diversas vezes, não tinha horário determinado para terminar.

Para chegar na empresa, eu precisava pegar o ônibus que passava pontualmente às cinco e vinte da manhã (pois minha residência era bem distante). Posteriormente, eu precisava descer no Centro da cidade, e pegar outro ônibus para a Ilha do Governador.

A rotina no trabalho era bastante intensa, e após a jornada, eu seguia para as aulas na faculdade. Não existia um ônibus direto da Ribeira (bairro onde eu trabalhava) para o Fundão, e por isso eu precisava pegar duas conduções. Eu me esforçava ao máximo para evitar atrasos, pois prezo muito pela pontualidade, mas em certos momentos, era impraticável, pelas circunstâncias em que eu me encontrava (até mesmo pela necessidade de fazer horas extras no trabalho). Eu chegava em casa depois das onze da noite praticamente todos os dias, e ainda precisava estudar, pois sabia que no dia seguinte não teria tempo hábil de rever a matéria ou terminar alguma atividade da graduação. Assim, eu ia dormir por volta de uma hora da manhã, para recomeçar a rotina no dia seguinte.

Em uma fase específica da minha empresa, iniciei um esquema de trabalho em que precisava alternar entre os turnos da manhã, tarde e noite. Dessa forma, eu dedicava alguns meses a cada turno. Certamente esse foi o período mais desgastante que vivenciei. Foi muito complicado conciliar a graduação com essa fase, e por diversas vezes pensei em desistir. Eu já não conseguia cursar as disciplinas que precisava, pois os horários não eram compatíveis. Cheguei a adoecer, uma vez que meu organismo não se adaptou tão rapidamente a todas essas mudanças de horários.

Durante esse intervalo, experimentei uma exaustão genuína. Minha produtividade nos estudos estava comprometida, e eu me percebia com uma sensação de inadequação, como se não fosse capaz de ocupar espaço no curso de Licenciatura em Química. Cheguei muito perto de abandonar completamente a graduação, porém mantive a convicção de que a educação era o único caminho para atingir meus objetivos e metas na vida.

No final de 2018, surgiu uma oportunidade de trabalho em uma indústria farmacêutica, a Roche, para a área de Garantia da Qualidade. Acabei migrando para essa empresa, onde tive uma experiência ímpar. Minha equipe contribuiu significativamente para meu crescimento profissional, e pude entender melhor como a química está aplicada aos medicamentos. Nessa fase, trabalhando apenas em horário comercial, pude conciliar melhor a rotina de estudos na faculdade. Mesmo sendo bastante enriquecedor trabalhar em uma farmacêutica, infelizmente a companhia anunciou que iria fechar a fábrica no Brasil, por estratégias globais de inovação e operação.

Assim, em 2022, recebi uma proposta para retornar o trabalho na Cosan, dessa vez na área de Qualidade e Melhoria Contínua, e aceitei. No momento, estou atuando nesta área (porém não mais trabalhando em turnos).

Estou ansiosa para concluir o curso de Licenciatura em Química e poder exercer de fato a profissão que escolhi. Apesar dos desafios enfrentados no Brasil, sigo confiante no poder revolucionário da educação para o desenvolvimento da sociedade.

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 1- Personagem “Homem Formiga”, baseado nas histórias da Marvel.	51
Figura 2- Projeção do spin em uma direção específica.....	54
Figura 3- Postal enviado por Walther Gerlach a Niels Bohr em fevereiro de 1922*	54
Figura 4- Imagem de Slide a ser apresentada.	55
Figura 5- Caricatura pseudo-realista de um dos dispositivos idealizados por Einstein de modo a burlar o princípio de incerteza desenhado por Bohr...	58
Figura 6- Alice “se encontra” com os personagens elétrons.....	86
Figura 7- Alice em frente ao Banco de Heisenberg.	90
Figura 8- O Mecânico Clássico e o Mecânico Quântico.	92
Figura 9- O Diretor Principal.	96

LISTA DE QUADROS

	página
Quadro 1- Detalhamento das atividades do primeiro encontro.....	48
Quadro 2- Detalhamento das atividades do segundo encontro	52
Quadro 3- Detalhamento das atividades do terceiro encontro	60
Quadro 4- Detalhamento das atividades do quarto encontro	65
Quadro 5- Detalhamento das atividades do quinto encontro	71

LISTA DE SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CoBICET	Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
FMC	Física Moderna e Contemporânea
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFRJ	Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Rio de Janeiro
MEC	Ministério da Educação
PIAE	Programa Internacional de Avaliação de Estudantes
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

SUMÁRIO

		página
1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	JUSTIFICATIVA.....	18
1.2	OBJETIVOS.....	19
1.2.1	Objetivo Geral.....	19
1.2.2	Objetivos Específicos.....	20
1.2.3	Objetivos Colaterais.....	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
4	O ESTUDO DA QUÍMICA QUÂNTICA E SUA RELEVÂNCIA....	30
5	AS PRINCIPAIS DIFICULDADES NA APRENDIZAGEM DA QUÍMICA QUÂNTICA.....	34
6	APROPRIAÇÕES INDEVIDAS DO TERMO QUÂNTICA.....	38
7	ASPECTOS CURRICULARES DO ENSINO NO BRASIL	42
8	A IMPORTÂNCIA DO LÚDICO PARA O ENSINO DE QUÍMICA QUÂNTICA.....	44
9	MATERIAIS E METODOLOGIA	46
10	RESULTADOS E DISCUSSÕES: SEQUÊNCIA DIDÁTICA DO LIVRO: “ALICE NO PAÍS DO QUANTUM” PARA O ENSINO MÉDIO	47
10.1	SEQUÊNCIA DIDÁTICA: PRIMEIRO ENCONTRO	48
10.1.1	Princípio De Incerteza E Dualidade.....	48
10.2	SEQUÊNCIA DIDÁTICA: SEGUNDO ENCONTRO	52
10.2.1	Spin Eletrônico.....	53
10.2.2	Distribuição De Probabilidade	56
10.3	SEQUÊNCIA DIDÁTICA: TERCEIRO ENCONTRO.....	60
10.3.1	Transições Eletrônicas	60
10.3.2	Mecânica Clássica X Mecânica Quântica.....	62
10.4	SEQUÊNCIA DIDÁTICA: QUARTO ENCONTRO.....	65
10.4.1	Paradoxo Do Gato De Schrödinger.....	65
10.4.2	Férmions, Bósons E Princípio De Pauli.....	67
10.5	SEQUÊNCIA DIDÁTICA: QUINTO ENCONTRO.....	71
11	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74

	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
	ANEXOS.....	83
ANEXO 1-	TRECHOS DO CAPÍTULO 1: NO PAÍS DO QUANTUM	83
ANEXO 2-	TRECHOS DO CAPÍTULO 1: NO PAÍS DO QUANTUM	87
ANEXO 3-	DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE	88
ANEXO 4-	TRECHO COMPLEMENTAR.....	89
ANEXO 5-	TRANSIÇÕES ELETRÔNICAS	90
ANEXO 6-	TRECHOS DO CAPÍTULO 3: O INSTITUTO DE MECÂNICA ...	91
ANEXO 7-	CONTINUAÇÃO DE TRECHOS DO CAPÍTULO 3: O INSTITUTO DE MECÂNICA	93
ANEXO 8-	TIRINHA SOBRE O GATO DE SCHRÖDINGER.....	95
ANEXO 9-	TRECHOS DO CAPÍTULO 5: A ACADEMIA FERMI-BOSE.....	96
ANEXO 10-	QUADROS DE PALAVRAS A SEREM ENTREGUES AOS ALUNOS.....	98
ANEXO 11-	GABARITO DO MAPA MENTAL	99
ANEXO 12-	COBICET (CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA)	100
	APÊNDICES	115
APÊNDICE 1-	AFIRMATIVAS PARA A DINÂMICA:	115
APÊNDICE 2.A-	ATIVIDADE SOBRE TRANSIÇÕES ELETRÔNICAS	116
APÊNDICE 2.B-	PALAVRAS-CHAVE PARA ATIVIDADE SOBRE TRANSIÇÕES ELETRÔNICAS	117
APÊNDICE 2.C-	GABARITO SOBRE ATIVIDADE DE TRANSIÇÕES ELETRÔNICAS	118
APÊNDICE 3-	FLUXOGRAMA SOBRE TRANSIÇÕES ELETRÔNICAS	119
APÊNDICE 4-	SLIDES PARA EXPOSIÇÃO EM AULA (QUARTO ENCONTRO).....	120
APÊNDICE 4.A-	CONTINUAÇÃO SLIDES PARA EXPOSIÇÃO EM AULA (QUARTO ENCONTRO).....	121
APÊNDICE 5-	SLIDES PARA EXPOSIÇÃO EM AULA (QUINTO ENCONTRO).....	122
APÊNDICE 6-	PALAVRAS PARA O RECIPIENTE 1.....	125
APÊNDICE 7-	MARCADORES PARA O RECIPIENTE 2	126

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho de conclusão de curso foi elaborado a partir de considerações acerca do conhecimento dos estudantes de ensino médio em relação aos descritores centrais da Química, especificamente da Química Quântica. Sob esta perspectiva, buscou-se dissertar sobre como desmistificar alguns conceitos previamente concebidos de que a disciplina mencionada seria uma prática intransponível para a faixa etária do ensino médio. Como resultado destas reflexões, o trabalho contribui para a prática docente, à medida que revisita a resposta para o questionamento da possibilidade de ensinar Química Quântica na etapa final da educação básica brasileira, a partir da utilização de uma obra literária no planejamento de uma sequência didática.

Como instrumento, este trabalho se debruça sobre a obra literária do autor Robert Gilmore (1998), denominada: “Alice no País do Quantum”, uma alegoria que trata de assuntos sobre a teoria quântica de forma mais acessível ao leitor. Neste livro, que faz referência à famosa obra “Alice no País das Maravilhas” (1951), é possível penetrar no universo quântico e, de forma lúdica, acompanhar a personagem principal em suas aventuras e descobertas sobre as partículas subatômicas. Alguns trechos do livro estão destacados, assim como estão inseridas interferências didáticas que poderão ser utilizadas pelos professores para proporcionar um aprendizado mais claro e motivador para os alunos.

Diante deste cenário, os primeiros capítulos deste texto retratam também as principais dificuldades na aprendizagem da química e as barreiras enfrentadas por alunos do ensino médio frente a esta disciplina. Em sequência, foi apontado um ensaio em relação a algumas apropriações indébitas do termo “quântica”, que recentemente tem se popularizado na *internet* com a associação ao misticismo, desvinculando-se do sentido científico. É imprescindível que o aluno compreenda os motivos pelos quais um “*coaching* quântico”, por exemplo, não apresenta fundamentos científicos.

Nos capítulos seguintes, os aspectos curriculares do ensino no Brasil foram indicados, demonstrando como as competências e habilidades dos parâmetros da BNCC se relacionam com o ensino da química quântica, e discutido a importância do lúdico para a prática docente.

O referencial teórico escolhido foi o livro “Aprendizagem significativa: A teoria e textos complementares”, de Marco Antonio Moreira, obra em que o autor seleciona alguns dos principais trabalhos da teoria clássica de David Ausubel (1965).

Esse tipo de conhecimento é bastante agregador para o professor, à medida que propicia que o docente possa adaptar materiais de ensino para que a linguagem e forma de lecionar atendam às necessidades dos alunos.

As provocações destacadas propositalmente nos trechos de “Alice no País do Quantum” pontuados neste trabalho estimulam a reflexão crítica dos alunos, e a decisão de aplicar este livro didático como um complemento às aulas “tradicionais” possui um viés de despertar a curiosidade dos estudantes para temas da química comumente tratados como desinteressantes pelo seu suposto grau de complexidade. Segundo Freire (1996, p. 52), faz-se relevante na relação entre ensinantes e aprendentes que ambos “[...] se assumam epistemologicamente curiosos”. Além disso, Freire pontua a necessidade do professor se aproximar do processo de construção do pensamento discente, “[...] neste sentido, o bom professor é o que consegue, enquanto fala, trazer o aluno até a intimidade do movimento de seu pensamento” (Freire, 1996, p. 52).

Desta forma, os trechos e citações da obra de Gilmore (1998) trabalhados, atuam na dimensão de instigar os alunos ao letramento científico, de maneira que, mesmo que o corpo discente não apresente prévia intimidade com os descritores centrais do campo de saber da Química, os estudantes sintam-se curiosos para este aprendizado.

1.1 JUSTIFICATIVA

Como estudante de um Instituto técnico federal na etapa de Ensino Médio, observei um contato diferenciado com a disciplina de Química Quântica, explorando a matéria em níveis acadêmicos mais avançados. Entretanto, ao comparar esta experiência ao Ensino Médio de escolas tradicionais, principalmente da escola pública no Brasil, verifica-se uma grande lacuna de aprendizagem, seja por falta de priorização no currículo, restrição de tempo (carga horária), ou desinteresse dos alunos.

Vivendo em um mundo cada vez mais globalizado, é importante que os estudantes tenham contato com a Mecânica Quântica, à medida que esta disciplina é a base de muitas tecnologias avançadas e inovadoras, e um dos objetivos da educação é o de formar cidadãos críticos, capacitados para o exercício da cidadania ativa, posicionando-se frente a questões sociais com ética e responsabilidade.

Para isso, torna-se fundamental que os jovens em período escolar sejam estimulados a construir uma compreensão científica, para além de apenas “decorar” conceitos para a realização de uma prova ou avaliação.

No ensino médio tradicional, existem poucos conceitos teóricos abordados em sala de aula que se relacionam à química, e um grande desafio é como atrair a atenção dos alunos para o tema, uma vez que muitos deles não apresentam proficiência linguística em Química, que seria a habilidade de traduzir e compreender completamente a linguagem técnica da Química para o cotidiano. Visto que a interpretação da literatura científica pode não se revelar de tão fácil entendimento para alunos que não têm contato frequente com nomenclaturas e termos técnicos, este trabalho revisita a proposta de utilização da obra literária *Alice no País do Quantum*, do autor Robert Gilmore (1998), como complemento às aulas, para proporcionar uma ponte entre o lúdico e o letramento científico.

Existem diversos benefícios da aplicação do lúdico em sala de aula, entre eles: maior predisposição e aceitação dos estudantes frente ao tema abordado, maior engajamento e entusiasmo em relação ao conteúdo exposto e incentivo à aprendizagem significativa.

Nesse caso, a obra literária escolhida faz referência à famosa história de “Alice no país das maravilhas” (1951), o que certamente irá despertar interesse dos alunos em descobrir como Alice poderia se comportar e o que a menina poderia descobrir em sua jornada no “País do Quantum”. Consequentemente, existe uma maior probabilidade de que os estudantes possam se recordar, a longo prazo, de conteúdos aprendidos, pois o processo irá remetê-los a situações em que foram estimulados ao domínio de descritores científicos de forma lúdica.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram divididos em gerais, específicos e colaterais, de forma a construir uma escrita mais consistente, facilitando a compreensão do leitor em relação aos propósitos estabelecidos.

1.2.1 Objetivo Geral

Estabelecer uma proposta de ensino de conteúdos de Química Quântica, através da elaboração de uma sequência didática, com a utilização da obra literária “Alice no País do Quantum”, de Robert Gilmore (1998), recorrendo ao lúdico como ferramenta facilitadora para proporcionar uma aprendizagem significativa e para aproximar o aluno da ciência.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Elaborar uma sequência didática para ser aplicada em turmas do primeiro ano do Ensino Médio, associando conteúdos de Química Quântica com o livro “Alice no País do Quantum”;
- b) destacar trechos da obra literária mencionada no item acima, de forma a traçar interferências didáticas para o ensino da Química Quântica;
- c) desmistificar conceitos da Mecânica Quântica para o Ensino Médio, a partir da utilização da obra literária citada anteriormente;
- d) promover instrumentos para a Aprendizagem Significativa de alunos do Ensino Médio;
- e) oferecer uma proposta didática que pode ser utilizada posteriormente para o letramento científico, e consequentemente formar cidadãos mais críticos e questionadores em sua atuação na sociedade, podendo inclusive atuar como agentes multiplicadores de conhecimento.

1.2.3 Objetivos Colaterais

- a) Promover o hábito da leitura em jovens: A partir da utilização do livro “Alice no País do Quantum”, indiretamente os alunos podem despertar para o interesse pela literatura;
- b) instigar o corpo docente a utilização de outras ferramentas didáticas e lúdicas para o ensino de Química;
- c) corroborar com o projeto denominado “Agenda 2030”, da Organização das Nações Unidas (ONU), em relação ao objetivo de “Educação de Qualidade”
- d) o papel das mulheres na ciência: Indiretamente, a história protagonizada pela personagem Alice pode instigar a pesquisa por contribuições de mulheres na ciência e estimular a formação de novas futuras profissionais na área da Química e da Física.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a construção deste trabalho e a possibilidade de desmistificar de fato alguns conceitos da Química Quântica para o Ensino Médio, tornou-se essencial a compreensão do termo de proficiência linguística em Química, conforme descrito na seção de justificativa desta monografia. Gallardo (2019, p. 29) aponta que: “Em áreas além da linguagem, o termo indica conhecimento, domínio, controle, capacidade, habilidade”. No cotidiano, é muito comum ouvir sobre proficiência em alguma língua estrangeira; não obstante, é rara a disseminação do conceito de proficiência em ciências, ou em Química em si.

Muitas vezes os alunos completam o Ensino Médio sem a compreensão adequada de terminologias específicas da área de ciências, prejudicando o seu aprendizado. A proficiência linguística em Química engloba o domínio de descritores específicos, essenciais para o avanço do conhecimento na área, como, por exemplo, símbolos de elementos químicos, nomenclatura, convenções de representação e termos técnicos. Antes de discutir definições da Química Quântica com os estudantes, é preciso garantir que eles consigam conduzir e interagir consistentemente em conversas científicas, e para isso, torna-se imprescindível o desenvolvimento do letramento científico. De acordo com Branco *et al.*, (2020, p. 200), em sua citação sobre o Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA):

[...] tornar-se letrado envolve cientificamente a ideia de que os propósitos da educação na ciência devem ser amplos e aplicados; portanto, o conceito de letramento científico se refere tanto ao conhecimento da ciência como ao da tecnologia pautada na ciência.

Este conceito se refere ao fato de que um indivíduo cientificamente letrado pode interpretar criticamente as descobertas científicas, entendendo sua interconexão com a tecnologia (por exemplo, para explorar fenômenos científicos em maior detalhe), e consequentemente consegue tomar decisões racionais sobre assuntos que impactam em uma vasta dimensão do cotidiano.

Algumas dificuldades de alunos do Ensino Médio com as disciplinas de Química e Física são decorrentes justamente da falta do desenvolvimento do letramento científico, o que forma verdadeiras barreiras para a aprendizagem. Em muitos casos, existem pré-requisitos que não foram devidamente consolidados nas etapas de ensino fundamental (em termos de conceitos-chave de ciências), e à medida que os alunos não possuem familiaridade com determinados descritores centrais da Química, os termos da Quântica irão repercutir como extremamente difíceis de se transpor.

Em termos de definição de conceitos, Ayala (1996, p. 1), esclarece que “letramento científico” não quer dizer “conhecimento detalhado de construtos científicos, tal como é transmitido nos livros didáticos de física, química, psicologia ou genética”. Cunha (2017, p. 176) realizou a seguinte reflexão sobre o trabalho de Ayala (1996):

[...] não se espera que uma pessoa cientificamente letrada saiba que a expressão do DNA é mediada pelas moléculas de RNA transmissoras. [...] o objetivo do letramento científico é que a decisão de apoiar ou não um programa governamental na área de energia, por exemplo, não seja baseada na crença de que toda intervenção nos recursos naturais é prejudicial (ou, em outro extremo, benéfica) e nem no desconhecimento de que certas políticas envolvem a resolução de um problema – que pode ser de ordem econômica e social –, mas acarretam outros – que podem ser socioambientais. É o caso, por exemplo, da construção de usinas, sejam elas nucleares, à base de carvão ou hidrelétricas.

Desta forma, no caso da disciplina de Química Quântica, não é esperado que o aluno de Ensino Médio domine todas as operações matemáticas envolvidas nas teorias, tampouco que desenvolva aplicações do operador Hamiltoniano. Entretanto, a expectativa é que o corpo discente possa atuar como um conjunto de cidadãos ativos na sociedade, munidos de um mínimo de proficiência linguística em Química que sustente argumentações para situações do cotidiano.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho fundamentou-se na revisão da literatura associada a teorias de aprendizagem significativa. Para isso, foram correlacionados conceitos defendidos pelo autor David Ausubel (1965), às ideias fabulares descritas no livro “Alice no País do Quantum”, de Robert Gilmore (1998). Muitos dos artigos e ideais de Ausubel foram compilados e retratados por Marco Antônio Moreira, em sua obra: “Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares”.

Todo aluno de ensino médio certamente já teve contato com a história de “Alice no País das Maravilhas”, e Gilmore (1998), propõe uma interessante alusão a essa famosa animação da Disney. O autor descreve, no prefácio do livro, que: “O país do quantum por onde Alice viaja se parece mais com um parque temático no qual Alice é às vezes uma observadora, ao passo que algumas vezes se comporta como uma espécie de partícula cuja carga elétrica pode variar.” (Gilmore, 1998, p. 7). Nesse sentido, este trabalho aborda o lúdico como ferramenta possibilitadora de aprendizagem significativa para o ensino de química quântica no ensino médio. Para Moreira (2011, p. 60): “Aprendizagem significativa é quando novos conhecimentos (conceitos, ideias, proposições, modelos, fórmulas) passam a significar algo para o aprendiz, quando ele é capaz de explicar situações com suas próprias palavras (...)”. Ainda sobre a definição de aprendizagem significativa, o autor complementa que:

É aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. ‘Substantiva’ quer dizer não-literal, não literalmente, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (Moreira, 2011, p. 13).

Assim, a aprendizagem significativa está intimamente relacionada com o processamento ativo da informação, quando o aluno se envolve com a metodologia, e consegue estabelecer conexões com situações relevantes ou estabelecer paralelos com a realidade na qual já está inserido. Moreira (2011, p. 14) cita uma teoria clássica em relação a este conhecimento, proposta por David Ausubel (1918-2008), demonstrando que “pode ser, por exemplo, um símbolo já significativo, um conceito, uma proposição, um modelo mental, uma imagem”. Adicionalmente, o autor fornece mais detalhes sobre esta teoria, nomeada por Ausubel como subsunçor ou ideia-âncora: “[..] subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto”(Moreira, 2011, p. 14).

No caso do estudo da Química Quântica, existem alguns possíveis subsunçores. Por

exemplo, provavelmente o aluno do ensino médio, em algum momento, já teve contato com o conceito de elétron, mesmo que ele se recorde apenas que se trata de uma partícula de carga negativa. Porém, a partir deste conceito, o docente pode aprofundar outros temas pertinentes, como o Princípio da Incerteza de Heisenberg¹, o Princípio da Exclusão de Pauli², e os desdobramentos de spin e momento angular.

A obra “Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares” explica que:

Na medida em que um subsunçor não é frequentemente utilizado, ocorre uma inevitável obliteração, uma perda de discriminação entre significados. É um processo normal do funcionamento cognitivo, um esquecimento, mas em se tratando de aprendizagem significativa, a reaprendizagem é possível e relativamente rápida. (Moreira, 2011, p. 17).

Contextualizando em termos de Química Quântica, existem alguns assuntos na disciplina, como por exemplo a dualidade onda-partícula, que um aluno que concluiu os estudos a muitos anos, e que não tenha seguido na área da química, provavelmente não irá se recordar de detalhes (tais como: quais são exatamente as características de uma onda, o que são ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas, como se deu o experimento da fenda dupla e quais foram as contribuições de Louis de Broglie). Entretanto, caso a aprendizagem tenha sido realmente significativa, esse aluno ainda irá se lembrar de que o tópico “dualidade onda-partícula” é uma ideia central da disciplina. Conforme elucidado por Moreira, o subsunçor “dualidade” seria “resgatado” caso o aluno tivesse interesse em se debruçar novamente sobre os estudos relativos a este tema.

Um esclarecimento importante realizado por Moreira (2011, p. 17), sobre aprendizagem significativa, é: “não é, como se possa pensar, aquela que o indivíduo nunca esquece. A *assimilação obliteradora* é uma continuidade natural da aprendizagem significativa, porém não é um esquecimento total.”. Esta é uma reflexão que deve ser destacada, uma vez que o professor, mesmo que esteja em uma constante busca por metodologias ativas em sala de aula e por diversificar a forma de ensino, dificilmente conseguirá garantir que o aluno assimile cem por cento do conteúdo de forma perene.

¹ O Princípio da Incerteza, apresentado pelo físico Werner Heisenberg em 1927, desempenha um papel central no avanço da Teoria Quântica. Desde sua concepção, o princípio tem suscitado diversas interpretações, derivadas matemáticas e experimentos mentais, todos voltados para uma exploração mais profunda desse fenômeno. HEISENBERG. *Quantum Theory and Measurement*, Trad. J. A. Wheeler e W. H. Zurek, Princeton University Press, Princeton, 1983.

² O Princípio da Exclusão de Pauli, afirma que em um sistema quântico, dois férmions (como elétrons) não podem ocupar o mesmo estado quântico simultaneamente. PAULI, *General Principles of Quantum Mechanics*, Springer, New York, 1980.

Inclusive no próprio curso de Licenciatura em Química, onde os discentes se aprofundam em diversas disciplinas da Química (Orgânica, Inorgânica, Físico-Química, Química Analítica Qualitativa, Química Analítica Quantitativa, e Química Quântica), é praticamente impossível, ao final do curso, não haver obliteração pontual de algum tópico abordado dentro dessas subdivisões.

Entretanto, conforme mencionado anteriormente, os subsunçores são capazes de auxiliar, à medida que os temas sejam revisitados em algum momento. Outra questão do viés de aprendizagem significativa elucidada por Moreira (2011), é:

O conhecimento prévio, muitas vezes, ajuda na aprendizagem de novos conhecimentos. Entretanto, existem casos em que o conhecimento prévio pode ser bloqueador, como o que Gaston Bachelard chamou de obstáculo epistemológico. Por exemplo, a ideia de corpúsculo como uma 'bolinha' invisível, com uma massa muito pequena, ocupando um espaço muito pequeno, dificulta enormemente a aprendizagem significativa do que seja uma partícula elementar. O átomo como um sistema planetário em miniatura também funciona como um obstáculo representacional para a aprendizagem da estrutura do átomo na perspectiva da Mecânica Quântica. (Moreira, 2011, p. 23).

O exemplo citado é bastante enriquecedor no debate da influência positiva ou negativa do conhecimento prévio para o processo de aprendizagem em geral. O autor destaca os chamados “obstáculos epistemológicos”, que podem ser entendidos como barreiras cognitivas difíceis de superar, advindas de concepções prévias inadequadas ou simplificadas de descritores do campo de saber da Química.

Em uma fase em que a proficiência linguística em Química continua sendo construída nos alunos do primeiro ano do Ensino Médio, o conhecimento prévio pode moldar a interpretação de novas informações. Entretanto, é importante reconhecer esses obstáculos, para que o docente se mantenha atento a uma revisão e reformulação de conceitos, de forma que o processo de aprendizagem proporcionado aos alunos supere as barreiras mencionadas e ser útil para os estudantes alcançarem uma compreensão mais precisa e aprofundada.

Dentro deste contexto, existem algumas discussões sobre quais seriam as reais condições para a aprendizagem significativa. Uma visão bastante divulgada é a de Ausubel, trazida pelo autor Moreira (2011), que defende que a primeira condição é que “o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo” (2011, p. 24).

Além disso, Moreira pontua que “o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender” (2011, p. 24). Em consonância com estes critérios, o autor complementa:

A primeira condição implica que I) que o material [...] tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante) e II) que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. (Moreira, 2011, p 25).

Um material que apresenta uma conexão lógica e coerente gera como consequência uma maior facilidade de assimilação dos estudantes, pois arquiteta uma ponte de integração com o novo conhecimento.

Diante dessa perspectiva, Moreira (2011) expõe a seguinte análise: “[...] *o material só pode ser potencialmente significativo, não significativo*: não existe livro significativo, nem aula significativa, nem problema significativo [...], pois o significado está nas pessoas, não nos materiais” (2011, p. 25); ademais, o autor ressalta, sobre a segunda condição para a aprendizagem significativa, que o discente desempenha um papel fundamental na construção do conhecimento: “o aprendiz deve querer relacionar os novos conhecimentos, de forma não-arbitrária e não-literal, a seus conhecimentos prévios.” (2011, p. 25).

Em relação à primeira condição, a obra “Alice no País do Quantum”, de Robert Gilmore (1998), pode ser considerada um material potencialmente significativo, uma vez que se distancia do que é comumente aceito como “óbvio” e de materiais com linguagem extremamente formal e distantes da realidade do aluno. Ao trazer uma ferramenta lúdica para o ensino, o professor rompe o paradigma de que só é possível compartilhar conhecimento via métodos clássicos, como o livro didático definido pela escola.

Sobre a segunda condição, não necessariamente trata da questão de o aluno apresentar “afinidade” para com a disciplina. Todavia, o conteúdo precisa de alguma forma instigar o aluno, ou mesmo incitar alguma curiosidade sobre sua aplicação. É bastante comum verificar alunos sem interesse ou motivação por uma disciplina, por não vislumbrarem aplicabilidade na realidade em que vivem, ou em seu contexto social, e este é um fato para o qual o professor precisa se manter atento, ainda mais em um mundo cada vez mais globalizado em que vivemos, onde os estudantes apresentam grande facilidade e agilidade para pesquisarem sobre qualquer tema que entenderem que seja relevante, via internet. Na coletânea de artigos unificados por Moreira (2011), existem teorias clássicas que transcorrem sobre as diferenças entre a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica:

A aprendizagem significativa depende da captação de significados (Gowin, 1981), um processo que envolve uma negociação de significados entre discente e docente e que pode ser longo. É também uma ilusão pensar que uma boa explicação, uma aula “bem dada” e um aluno “aplicado” são condições suficientes para uma aprendizagem significativa. O significado é a parte mais estável do sentido e este depende do domínio progressivo de situações-problema, situações de aprendizagem. (Moreira, 2011, p. 33).

Declaradamente o autor dispõe que a aprendizagem significativa é um processo contínuo. Muitas vezes o senso comum declara que “o aluno não se esforçou o suficiente”, que “o aluno é preguiçoso” ou mesmo que “o professor não soube conduzir a aula adequadamente”. Entretanto, os fatores de engajamento ativo do aluno e de condução de aula pelo docente, apesar de influenciarem no processo, não podem ser considerados, como entraves centrais para a aprendizagem.

É preciso ocorrer uma construção do conhecimento, que não se desdobra de forma tão repentina, envolvendo a resolução de problemas e a aplicação do aprendizado em contextos reais. Em relação à aprendizagem mecânica, Moreira (2011), define que: “é aquela praticamente sem significado, puramente memorística, que serve para as provas, sendo esquecida, apagada, logo após”. Posteriormente, na sequência de destacar que este tipo de aprendizagem é insuficiente para uma compreensão mais aprofundada dos conceitos da disciplina estudada, o autor exemplifica que este processo trabalha com a réplica de informações, praticamente em formato de um roteiro: “Em linguagem coloquial, a aprendizagem mecânica é a conhecida decoreba, tão utilizada pelos alunos e muitas vezes até mesmo incentivada na escola” (Moreira, 2011, p. 32).

Destaca-se que a aprendizagem mecânica é observada com frequência em diversas escolas (tanto no ensino público quanto na rede particular), e parte do “incentivo” a esta vertente, conforme citado no parágrafo anterior, é dado em termos da aplicação do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Tal exame foi implementado em 1998 e seu objetivo na época, segundo o Portal do MEC (2018), era de “avaliar o desempenho do estudante ao fim da escolaridade básica”. Desde então, o ENEM passou por muitas mudanças em seu escopo e em sua estrutura, e é atualmente a principal ferramenta possibilitadora de ingresso em universidades.

Ferreira e Rocha (2020) argumentam que “o Exame é capaz de produzir marcas de sucesso/fracasso nos estudantes, sem considerar as oportunidades (ou falta de oportunidades) desses sujeitos ao longo da sua educação escolar” (Ferreira; Rocha, 2020, p. 265).

Muitos estudantes, assim, demonstram uma tendência de memorização de conceitos sobre fenômenos químicos que normalmente apresentam uma incidência maior de serem cobrados no exame, em detrimento de um pensamento crítico sobre um determinado conhecimento da ciência.

Adicionalmente, a obra de Moreira (2011) elucida o conceito de aprendizagem receptiva como sendo: “Aquela em que o aprendiz ‘recebe’ a informação, o conhecimento, a ser aprendido em sua forma final” (2011, p. 33).

Ademais, o autor cita sobre o contraste desse tipo de aprendizagem com uma postura de indiferença ou de passividade: “[...] isso não significa que essa aprendizagem esteja associada ao ensino expositivo tradicional. A ‘recepção’ ao novo [...] pode ser, por exemplo, através de um livro, de uma aula, de uma experiência de laboratório, de um filme, de uma simulação computacional, de uma modelagem computacional, etc.”(Moreira, 2011, p. 33).

Através dessas experiências, o corpo discente pode potencializar seu aprendizado, avaliando criticamente o material ao qual está sendo exposto e utilizando-o para realizar reflexões sobre situações do cotidiano.

Carvalho Neto (2006, p. 35), registra que: “A aprendizagem receptiva verbal não deve ser associada a aulas não participativas [...]; do ponto de vista Ausubeliano, não há contra indicação de aulas expositivas para aprendizagem significativa do material apresentado na sua forma final”. Desta forma, não devemos associar a aprendizagem mecânica ao conceito de aprendizagem receptiva, pois, enquanto a primeira pode ser entendida como sendo um processo praticamente “robótico”, de reprodução de conteúdo sem o mínimo questionamento, a segunda pressupõe que o aluno seja apresentado a conteúdos novos, porém com liberdade de pensamento crítico. O livro “Alice no País do Quantum” é uma forma de divulgar um material novo para discussão de tópicos da Mecânica Quântica, demonstrando uma aprendizagem receptiva com grande potencial de ser realmente significativa.

Outra tese Ausubeliana faz referência à aprendizagem por descoberta, e de acordo com Moreira (2011, p. 34): “Implica que o aprendiz descubra primeiramente o que vai aprender [...] Exceto em crianças pequenas, este tipo de aprendizagem não é condição para aprender de maneira significativa”. Seguindo esta abordagem, espera-se uma estrutura cuidadosamente preparada, para os alunos poderem se envolver em um processo de investigação, exploração e descobertas.

Retomando a explanação sobre a aprendizagem por descoberta, Moreira (2011, p. 34) menciona que: “Adultos, e mesmo crianças já não tão pequenas, aprendem basicamente por recepção e pela interação cognitiva entre os conhecimentos recebidos [...]”. O autor também pontua sobre as limitações da aprendizagem por descobrimento, dada a dimensão ilimitada de conteúdos possivelmente exploráveis: “Seria inviável para seres humanos aprender significativamente a imensa quantidade de informações e conhecimentos disponíveis no mundo atual se tivessem que descobri-los.” (Moreira, 2011, p. 34).

No que concerne à Mecânica Quântica, existe uma gama de informações disponíveis (em livros, artigos, plataformas de *internet*, etc.), e muitas delas são interdisciplinares (envolvem química, física e matemática).

Grande parte dos conteúdos relativos a esta disciplina não são facilmente replicáveis em um laboratório ou no cotidiano, e inclusive, muitos deles são majoritariamente pertencentes ao campo teórico ou de cálculos, o que dificultaria um processo de descoberta.

Entretanto, conforme mencionado anteriormente, isso não significa que o entendimento do aluno não possa se configurar como sendo significativo. Existem ainda outras contribuições do especialista em psicologia educacional, David Ausubel (1965), para o campo da aprendizagem.

Moreira (2011, p. 29) descreveu algumas das propostas de Ausubel: “Quando o aprendiz não dispõe de subsunções adequadas que lhe permitam atribuir significados aos novos conhecimentos, [...] o problema pode ser resolvido com os chamados organizadores prévios”. Adicionalmente, o autor exemplifica:

Organizador prévio é um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem. Não é uma visão geral, um sumário ou um resumo [...]. Pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. As possibilidades são muitas, mas a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente, mais geral e inclusivo do que este (Moreira, 2011, p. 30).

Essa importante consideração acerca da definição de organizadores prévios leva à reflexão de que este recurso pode ser especialmente útil na aplicação/explicação de conceitos mais abstratos e complexos. Portanto, no caso da utilização do livro *Alice no País do Quantum* como ferramenta didática para a aprendizagem significativa de química quântica, é possível que o docente utilize alguns organizadores prévios durante este processo, que serão descritos ao longo deste trabalho.

Por fim, ressalta-se que existem ainda outras teorias de aprendizagem significativa abordadas por Ausubel (1965) e mencionadas por Moreira (2011). Todavia, as teorias elencadas neste capítulo foram escolhidas devido à sua relevância e aplicabilidade na ação pedagógica proposta.

4 O ESTUDO DA QUÍMICA QUÂNTICA E SUA RELEVÂNCIA

A Química Quântica, de forma geral, abrange conceitos da realidade do universo microscópico da matéria, e visa entender o comportamento de partículas, como elétrons e núcleos, bem como a estrutura eletrônica de átomos e moléculas. Esta disciplina está intimamente conectada com princípios da Física, além de apresentar entrelaçamento direto com a Mecânica Quântica, desenvolvida no início do século XX, com base em contribuições de diversos estudiosos, entre eles, *Heisenberg*, *Dirac* e *Schrödinger* (Martins, 2019).

O aprimoramento da Mecânica Quântica fez-se necessário devido à impossibilidade de explicar a física de partículas microscópicas mediante conceitos da física clássica, defendida até o final do século XIX. Fenômenos como o efeito fotoelétrico, a radiação do corpo negro e o comportamento do elétron, por exemplo, não encontram fundamentos nas discussões e nos experimentos da física clássica. O trabalho de Greca, *et. al.*, (2001) cita argumentações de Zollman (1999):

[...] A Mecânica Quântica é a grande estrela do século XX. Base de sustentação da física nuclear, atômica, molecular e do estado sólido, da física das partículas elementares e da luz, seus impactos práticos atingem hoje as mais variadas aplicações, beneficiando até campos de praticidade imediata como as Ciências da Saúde e as Engenharias. Mais ainda, os desenvolvimentos na miniaturização da eletrônica e na nanotecnologia têm introduzido, até no mundo dos negócios, dispositivos que somente podem ser apreciados a partir dos princípios da Mecânica Quântica. (Greca, *et. al.*, 2001, p. 444).

Assim, torna-se evidente a extensão da aplicabilidade e a conseqüente importância da Mecânica Quântica, visto que esta disciplina representa um dos maiores avanços científicos na história. No artigo “*100 Years of Quantum Mysteries*”, Tegmark e Wheeler (2001), afirmam que existe uma surpreendente variedade de aplicações científicas e práticas que derivam da mecânica quântica. Os autores destacam que tais práticas fazem com que a química quântica desempenhe um papel crucial em diversas áreas, impactando diretamente na tecnologia e até mesmo na economia.

Desta forma, percebe-se a relevância e os avanços tecnológicos alcançados pela Mecânica Quântica, bem como o seu considerável potencial ainda em estudo para novas aplicações nos próximos anos. Aquino Junior (2013) apresenta contribuições dos autores Silveira e Peduzzi (2006) em relação à teoria quântica.

Segundo Silveira & Peduzzi (2006), o quantum, primeira característica de um sistema quântico, foi proposta em 1900 por Planck e utilizada por alguns cientistas na tentativa de elaboração do modelo atômico sem muito sucesso, sendo somente reconhecida como importante quando Bohr utilizou-se desta característica para desenvolver uma teoria de explicação de um novo modelo atômico, tendo como pano de fundo o modelo atômico de Rutherford (Aquino Junior, 2013, p. 19).

O modelo proposto pelo físico dinamarquês Niels Bohr³ constituiu um avanço bastante expressivo para a teoria quântica, visto que anteriormente os cientistas buscavam a compreensão do átomo apenas pelo viés do conceito clássico, e os estudiosos, até então, não vislumbravam a possibilidade de teorias envolvendo pacotes de energia.

Aquino Junior (2013) complementa a abordagem com uma citação de Mahan e Myers (1995): “O surgimento do Quantum ocorreu devido à ausência de capacidade da teoria eletromagnética de explicar de maneira relevante a natureza da radiação emitida por um corpo sólido quando aquecido” (Aquino Junior, 2013, p. 19). O autor faz referência ao estudo de Planck em relação à radiação do corpo negro, em que foi elaborada a hipótese de que “um sistema mecânico não pode ter uma energia arbitrária, sendo ao contrário, permitido para ele somente valores definidos de energia”.(Aquino Junior, 2013, p. 19).

No período que antecede as descobertas do físico alemão Max Planck, empregava-se o conceito de que a energia poderia variar de forma contínua, assumindo qualquer valor, e a concepção do termo “quanta” estava muito distante da realidade.

A partir da definição do conceito de *quantum* e da teoria quântica no geral, foi possível desenvolver uma série de inovações no quesito de desenvolvimento de tecnologia para a vida moderna. No livro “O mistério quântico”, Cassinello e Gómez (2017) citam haver um potencial único na dimensão da aplicação da mecânica quântica, que pode revolucionar áreas relativas ao processamento de informações, que seria o campo da informação quântica. Além disso, os autores exemplificam a empregabilidade desses sistemas, através da criptografia, da computação e do aperfeiçoamento dos *lasers*.

Na obra literária denominada “O enigma quântico: O encontro da física com a consciência”, Rosenblum e Kuttner (2017), afirmam que “A teoria quântica está na base de toda ciência natural, desde a química até a cosmologia. Precisamos dela para entender por que o Sol brilha, como televisores produzem imagens, por que a grama é verde e como o Universo se desenvolveu a partir do *Big Bang*”. (Rosenblum; Kuttner, 2017, p. 14).

A partir das premissas expostas, verifica-se que a quântica é um importante pilar para a compreensão de diversos fenômenos que nos cercam. A inserção de descritores desse ramo da química no cotidiano dos estudantes traduz-se como uma ferramenta valiosa para a construção do cidadão crítico e atuante na sociedade.

³ O modelo proposto por Niels Bohr para a teoria quântica, conhecido como o “Modelo de Bohr”, foi apresentado em 1913 e ofereceu uma descrição pioneira da estrutura atômica. BOHR, N. **Sobre a constituição de átomos e moléculas**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1989.

Expandindo os mecanismos de interdisciplinaridade, é possível descrever que, para o desenvolvimento da Bioquímica, também existem ganhos extremamente relevantes na pesquisa com a Química Quântica.

No livro “*Applied Quantum Mechanics*”, no capítulo introdutório, Levi (2003) pontua que esta disciplina pode ser utilizada para o conhecimento de composições atômicas precisas. Como exemplo, o autor cita o Ácido Desoxirribonucleico (DNA). Por se tratar de uma macromolécula bastante complexa, acompanhar a posição e a atividade de cada átomo presente na estrutura se configura em uma tarefa árdua. Entretanto, empregando-se conhecimentos da mecânica quântica, seria possível pesquisar o efeito que um local em específico na estrutura apresenta em uma reação química. Para isso, o autor propõe que a detecção da fluorescência provocada por um fluoróforo ligado a uma região específica de uma macromolécula pode ser empregada na análise da dinâmica desse componente molecular em particular. Levi (2003) explica que a luz liberada por esse fluoróforo desempenha o papel de um minúsculo farol, proporcionando informações detalhadas sobre o estado da molécula em questão. Essa abordagem, fundamentada na excitação de fótons conforme os princípios da mecânica quântica e fótons de estados atômicos, tem sido empregada para monitorar o comportamento de uma única molécula de DNA.

Desta forma, a partir de exemplos de áreas multidisciplinares, é inegável que o estudo da Química Quântica apresenta devida relevância. Sanches (2006), esclarece que diversos países desenvolvidos já demonstram um olhar diferenciado para a disciplina de Química Quântica, considerando-a como arcabouço teórico indispensável para o Ensino Médio. Sanches menciona Canato Jr. (2003): “Inglaterra e alguns países do Reino Unido sofreram, em 2020, mudanças curriculares nas quais a FMC aparece como parte fundamental” (Sanches, 2006, p. 12). O autor utiliza a sigla de FMC para se referir a Física Moderna e Contemporânea, que engloba a mecânica quântica.

Outros autores corroboram com essa linha de pensamento, como Chiarelli (2006, p. 8): “[...] países como Suécia, Dinamarca, Itália, Espanha, Estados Unidos e Argentina já possuem nos seus currículos do respectivo Ensino Médio a inclusão da Mecânica Quântica como um tópico regular de ensino”. Em contraposição, no Brasil, não há uma efetiva menção, nos Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1999) para tópicos específicos da Quântica em vertentes de contextualização para o Ensino Médio. Nesta etapa de escolaridade, o país conta com uma ênfase maior em descobertas clássicas da Física, e não na mecânica quântica.

Sabemos que o Ensino Médio marca o final de uma importante etapa educacional para muitos alunos, e a realidade da sociedade brasileira é que uma proporção considerável de

estudantes não segue com o nível superior, pelos mais variados motivos.

Pesquisas do IBGE (2019), demonstram que houve um aumento em relação ao percentual de pessoas de 25 anos ou mais com ensino médio completo no Brasil (crescimento de 45,0% em 2016, para 47,4% em 2018, e 48,8% em 2019).

Ainda assim, existe uma longa jornada a ser trilhada, visto que a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD) de 2019, aponta que mais da metade (51,2% ou 69,5 milhões) dos adultos não concluíram essa etapa educacional.

Assim, dada a importância da Química Quântica para o cotidiano, e frente ao cenário de que o ensino médio pode ser o último contato do aluno com este conteúdo (pois ele pode optar por não concluir o ensino médio, por não ingressar no nível superior, ou até mesmo por ingressar em um curso de nível superior que não inclua em seu currículo alguma disciplina voltada para Química ou Física), é fundamental que a escola não deixe de abordar a ciência moderna e conceitos da mecânica quântica ainda no ensino médio.

5 AS PRINCIPAIS DIFICULDADES NA APRENDIZAGEM DA QUÍMICA QUÂNTICA

A Química Quântica, de forma geral, abrange conceitos da realidade do universo microscópico da matéria, e visa entender o comportamento de partículas, como elétrons e núcleos, bem como a estrutura eletrônica de átomos e moléculas.

O aprendizado da disciplina de Química é encarado pelos alunos de ensino médio como algo complexo e extremamente difícil, cujo entendimento completo é segregado a poucos, e distante da realidade do estudante. O nome da disciplina de Química Quântica, por si só, já traz uma conotação que pode, de certo modo, “assustar” o corpo discente, antes mesmo que eles tenham contato com os conteúdos abordados. Existem diferentes motivos pelos quais esse paradigma foi criado, entre eles a associação entre disciplinas exatas e o raciocínio abstrato.

Andriola e Cavalcante (1999, p. 26) ilustram o tema com pensamentos de Chi e Glaser (1992): “O raciocínio pode ser encarado como uma capacidade cognitiva exigida na resolução de problemas simples ou complexos, tanto de ordem intelectual como de situações cotidianas”. Os autores também pontuam a existência do raciocínio abstrato, que envolve a capacidade de análise de situações e pensamento crítico frente às informações ou a objetos de estudo que não são concretos, e que, portanto, não podem ser diretamente observados (Chi; Glaser, 1992 *apud* Andriola; Cavalcante, 1999).

Assim, é inegável que a Química Quântica exige certa capacidade de abstração. De acordo com Mendonça *et al.*, (2006, p. 2): “[...] a maioria dos conceitos químicos é de natureza abstrata, e a compreensão deles depende de os estudantes terem capacidade de imaginar e modelar partes para poder incorporá-las mentalmente”. Paralelamente, o senso comum costuma associar a aversão dos adolescentes com a disciplina com a suposta falta de capacidade dos estudantes do ensino médio frente ao raciocínio abstrato.

Em contraponto, existem pesquisas que demonstram que, na fase da adolescência, o desenvolvimento cognitivo é expandido, no sentido da abstração. Andrade (2022) realiza considerações sobre a adolescência e sua relação com o refinamento do pensamento crítico, exemplificando que, nesta etapa da vida do jovem, como consequência do aumento da profundidade do raciocínio: “[...] ocorre a complexificação do pensamento, onde seus conteúdos, conjuntamente com a imaginação, ganham amplitude na capacidade de abstração, possibilitando ir além dos dados empíricos imediatos [...]”. (Andrade, 2022, p. 21).

Observa-se que os jovens apresentam grande capacidade de abstração, à medida que se adaptam facilmente a diferentes jogos digitais, como os de videogame, por exemplo, que contêm realidades sem nenhuma verossimilhança com a que vivemos, e requerem ações do jogador em relação a deduções lógicas, compreensão de “mundos ficcionais lúdicos” e de simbologias atípicas. O mesmo ocorre com desenhos e séries que são famosas entre o público jovem-adolescente, como os “Animes” (que podem envolver conceitos místicos, energias espirituais, como o “*chakra*”, por exemplo) e “*Pokémon*”, que a alguns anos, combinou o universo do desenho com o mundo real, obtendo adesão de grande parte de jovens, através do jogo “*Pokémon Go*”, onde adolescentes precisavam buscar criaturas virtuais em caminhos reais por onde passavam. Desta forma, a imaginação não é o impeditivo no aprendizado das ciências.

As dificuldades encontradas pelo aluno do ensino médio para a aprendizagem de química são bastante similares às que são enfrentadas no estudo de outros conteúdos, quando vistos pela primeira vez, como geometria analítica e geometria espacial, na Matemática, por exemplo.

Um fator que contribui diretamente para esta questão é como os professores abordam a Química Quântica no ensino médio, na maioria das vezes de forma sistemática e focada na sessão de cálculos, com excesso de memorização, e sem interdisciplinaridade. Nascimento (2018, p. 139), revisita algumas dificuldades enfrentadas pelos discentes, como: “A memorização de fatos, símbolos, nomes, fórmulas, deixando de lado a construção do conhecimento científico dos alunos e a desvinculação entre o conhecimento químico e o cotidiano”.

Nesse sentido, também há o fator de falta de intimidade dos alunos com os descritores centrais do campo do saber da Química. À medida que os estudantes não apresentam, por muitas vezes, proficiência em termos específicos da Química, o excesso de memorização, desvinculado de um processo de aprendizagem significativa, pode culminar na percepção de que os temas trabalhados em sala de aula são difíceis e incompreensíveis.

Atualmente, grande parte do corpo docente apresenta a tendência de seguir estritamente a sequência teórica presente nos livros didáticos de Química para o ensino médio, sem acrescentar ou adaptar conteúdos, e como consequência, a Teoria Quântica acaba não sendo abrangente o suficiente, e de certa forma, é interpretada como desinteressante pelos alunos.

Pessoa Jr. (2007), por exemplo, explora questões sobre o ensino da teoria dos orbitais atômicos moleculares no Ensino Médio, demonstrando algumas maneiras diferentes de representação da teoria quântica, cada uma delas desempenhando um papel importante na forma de comunicação dos conceitos quânticos, que seriam através da forma pictórica e da forma matemática.

Essas duas representações seriam de certa forma complementares, sendo a pictórica focada em reproduzir visualmente as características do objeto em questão (orbitais atômicos representados como uma nuvem uniforme e contínua, por exemplo), e a forma matemática, que utiliza equações e fórmulas para retratar quantitativamente os fenômenos estudados, de maneira mais abstrata, requerendo conhecimentos mais aprofundados da matemática. Em ambos os casos, a dificuldade de entendimento do aluno permeia a questão de que não há uma correlação didática entre os níveis de conhecimento científico e de ensino escolar.

O aluno do século XXI possui um perfil de ser bastante questionador, e, dependendo da forma como a Química Quântica seja inserida em sala de aula, o estudante pode assumir uma postura de indiferença e falta de atenção, por entender que a disciplina não agrega valor para sua formação como cidadão, e que existiriam outras fontes de obtenção de conhecimento científico, de forma mais rápida e com linguagem mais próxima à realidade dos discentes (que contempla verdadeiros saltos tecnológicos), através da *internet*. Barcelos, 2017, observa que:

[...] Por muitas vezes os alunos ao se depararem com o avanço científico por meio de mídias, acabam por trazer tais questionamentos para a sala de aula com relação aos fenômenos físicos e químicos envolvidos nesse avanço e, diante disso, percebem que o que é ensinado nas disciplinas de Física e Química, infelizmente, não condiz com o que eles aprendem, observam e se informam por meio das mídias mais atuais com relação ao mundo e sociedade atual (Barcelos, 2017, p. 37).

Assim, é necessário um equilíbrio entre os conteúdos tradicionais e as atualizações constantes das informações científicas, pois as discrepâncias entre as informações disponíveis nas mídias digitais e o que é efetivamente ensinado em sala de aula podem gerar frustrações nos alunos. Já do ponto de vista do docente, levando-se em consideração o ensino em escolas públicas da Educação Básica no Brasil, uma das grandes dificuldades relatadas é a falta de carga horária adequada (apontada como sendo de geralmente 2 aulas semanais de Química).

Zylberstajn e Ricardo (2015), citam que:

Os professores da área das ciências queixam-se do número reduzido de aulas que passaram a ter em suas disciplinas, e relatam que existem muitos conteúdos previstos, mas a baixa carga horária acaba levando a uma considerável redução dos assuntos a serem trabalhados, e isso dificulta qualquer inovação na prática pedagógica, já que a flexibilidade de tempo é prejudicada (Zylberstajn e Ricardo 2015, p. 356).

Muitos professores gostariam de elaborar aulas com um maior grau de contextualização e até mesmo com promoção de práticas didáticas que proporcionassem um diálogo aberto com a atualidade, porém, a falta de tempo pode restringir a utilização de metodologias ativas, que são fundamentais para estimular o interesse dos alunos.

Este é um dos grandes desafios enfrentados pelo corpo docente, que precisa buscar estratégias para otimizar o tempo e enriquecer a experiência de aprendizagem dos alunos.

A formação do professor também é um dado interessante a ser avaliado. Segundo o Censo da Educação Básica (Brasil, 2020), um terço das turmas do ensino médio tiveram aulas de Química com professores não especializados. Ou seja, isso significa que outros profissionais estão lecionando a disciplina de Química, como professores de Matemática ou de Física, que apresentam currículo de formação universitária desvinculado de certos conhecimentos químicos específicos. Assim, surge uma dificuldade extra sobre a transição entre o saber docente e a transposição adequadamente para a sala de aula do ensino médio.

6 APROPRIAÇÕES INDEVIDAS DO TERMO QUÂNTICA

A comunidade científica defende a teoria quântica como indispensável para a explicação da realidade microscópica da matéria. Entretanto, nos últimos anos, existe um movimento crescente de utilização do termo “quântica” em vão, descontextualizando seu real significado, com a prerrogativa de “misticismo”. Existem diversos livros e cursos na internet que propõem ensinar a “cura quântica”, “medicina quântica”, “saúde quântica”, “nutrição quântica” e até mesmo “*coaching* quântico”.

Analisando historicamente, a possível relação com o misticismo foi trazida à tona na década de 60. Há relatos de um artigo publicado por Eugene Wigner, físico húngaro, em que havia a defesa de que a consciência e a mecânica quântica estariam intimamente conectadas. Wigner (1962), defendia que a mente poderia colapsar a função de onda, pois a consciência poderia afetar sistemas quânticos, e conseqüentemente, a realidade. Em sua publicação, “*Remarks on the Mind-Body Problem*” Wigner (1962), cita que:

(...) Tudo o que a mecânica quântica pretende fornecer são conexões de probabilidade entre impressões subsequentes (também chamadas "apercepções") da consciência, e mesmo que a linha divisória entre o observador, cuja consciência está sendo afetada, e o objeto físico observado possa ser deslocada para o um ou outro em grau considerável, não pode ser eliminado"; (...) As condições físico-químicas e as propriedades do substrato não apenas criam a consciência, eles também influenciam suas sensações mais profundamente. (Wigner, 1962, p. 172).

Neste artigo, o físico húngaro desenvolveu um modelo mental para uma tentativa de sustentar a sua argumentação, que ficou conhecido como “experimento do amigo de Wigner”, e foi baseado no experimento da dupla-fenda. Na publicação, Wigner sugere que um amigo esteja conduzindo o experimento famoso da física, também conhecido como experimento de Thomas Young, que foi capaz de comprovar que a luz é uma onda. Sendo assim, o físico sabe que a condição para que a experiência seja concluída é a de que um único fóton atinja o detector. Entretanto, apenas “o seu amigo” estará ciente do momento preciso do resultado. Wigner só teria certeza quando o amigo compartilhasse a informação com ele. Desta forma, antes da informação sobre o experimento quântico atingir sua consciência, ela precisaria passar pela consciência do seu amigo.

Um trecho de “*Remarks on the Mind-Body Problem*”, 1962, cita que:

Na sua perspectiva, o cérebro inteiro do seu amigo existe em uma superposição quântica de todos os resultados possíveis do experimento. Somente depois que seu amigo informa o resultado do experimento é que a função das ondas cerebrais colapsa para um único resultado experimental (Wigner, 1962, p. 180).

Pelo experimento da dupla-fenda, a função de onda entraria em colapso assim que o experimento físico fosse concluído. Porém, não havia como esse colapso acontecer da perspectiva de Wigner, na hipótese imaginária do amigo ainda não ter informado sobre a conclusão do experimento. Logo, Wigner (1962) comenta que seria uma situação paradoxal, uma vez que diferentes observadores afirmariam que a função de onda entrou em colapso em momentos diferentes. Em sua interpretação, isto significava que seria impossível para cérebros distintos estarem em um estado de superposição. Portanto, ele concluiu que a própria experiência consciente provavelmente iria desempenhar um papel na geração na função de colapso de ondas.

Este posicionamento, entretanto, é baseado em um modelo mental, como mencionado anteriormente, e não nos princípios do método científico. Em todo caso, esse tipo de corrente filosófica desencadeou a publicação de outros livros, anos depois, de autores que também se debruçaram em questionamentos sobre o papel da consciência e a conexão entre o subjetivo e a realidade objetiva. Um dos exemplos mais marcantes ocorreu em 1975, no momento em que um físico austríaco chamado Fritjof Capra publicou um livro, que se tornou *best-seller*, denominado “O Tao da Física”. De acordo com Stenger (1995), Capra correlacionou a física moderna com doutrinas espirituais e filosofias de ideologias do Hinduísmo, Budismo e Taoísmo Assim, Capra corroborou com os ideias de Wigner, considerando que a consciência humana e o misticismo estariam intimamente ligados à mecânica quântica.

Ainda segundo Stenger (1995), a partir da filosofia de Capra, surgiram outros “gurus” do misticismo, com destaque para Gary Zukav (que não é um profissional da física). Zukav se define como um professor espiritual e palestrante motivacional, e lançou dois livros que também foram classificados como best-sellers, cujos títulos são “*The Dancing Wu-Li Masters*” e “*The Seat of the Soul*”, todos realizando uma suposta conexão entre física moderna e misticismo oriental.

Stenger (2014) discorda veementemente dos trabalhos que tentam criar coerências e vínculos entre a mecânica quântica e o misticismo, e afirma que:

Capra e seus colegas afirmam que estão inserindo um rosto moderno na filosofia oriental antiga. Eu digo que eles estão cobrindo um edifício nobre com grafite. Onde eles veem semelhanças entre os novos e os antigos misticismos, eu vejo apenas contrastes. Onde eles promovem a nova mitologia como um antídoto para a auto absorção, eu afirmo que eles estão fabricando uma droga que a induz. E enquanto eles culpam a ciência racional pelos males do mundo, eu considero a ciência racional como uma fonte de esperança genuína para reduzir a gravidade deste último vício, se apenas nós e nossos sucessores tivermos a sabedoria de usá-la adequadamente (Stenger, 2014).

De forma geral, tanto os trabalhos de Wigner (1962) quanto os de Capra (1975) tratam de analogias à física quântica que não se comprovam experimentalmente e não apresentam repetibilidade. Ao mesmo tempo, estes trabalhos serviram como inspiração para diversas práticas subsequentes, que podem ser encontradas de forma vasta e crescente na internet, com conceitos desde “pensamento quântico” até “medicina quântica”. Desta forma, verifica-se que o grande problema é sua associação com ciência e com a mecânica quântica. Se estes livros ou sites na rede deixassem claro que estavam tratando exclusivamente de espiritualidade, de questões religiosas, ou mesmo de crenças (ou seja, sem compromisso com o rigor que a ciência exige, com experimentação e comprovação de resultados), não haveria nenhum inconveniente acadêmico.

Por outro lado, mesclar experiências pessoais com supostos conteúdos de divulgação científica pode trazer consequências prejudiciais ao aprendizado dos cidadãos, e até mesmo, de forma mais agravante, trazer danos irreversíveis à saúde de algum enfermo, que creia em uma “cura quântica”, ou em pseudociências, e abandonar tratamentos médicos aprovados oficialmente pelo Conselho de Medicina.

No artigo “Apropriação e Descontextualização da Mecânica Quântica na Era da Pós-Verdade”, os autores Bailas e Vieira (2020) apontam que: “As pseudociências são saberes que se dizem ligados à Ciência, que buscam receber uma validação científica, porém, não podem ser testadas pelo método científico”. Os autores ressaltam a utilização exacerbada de jargões científicos em textos relacionados à pseudociência, com a intenção de criar uma ilusão de base científica para suas afirmações, além de ausência de comprovação sólida de resultados. Segundo os autores, normalmente a validação apresentada pela pseudociência é baseada em testemunho dos usuários, ou seja, não é pautada em estudos com confiabilidade e reprodutibilidade. (Bailas; Viera, 2020).

Em relação ao misticismo, Bailas e Vieira (2020) defendem que a Mecânica Quântica é descontextualizada em muitos aspectos, como, por exemplo, quando os pseudocientistas simplificam os conceitos da disciplina.

Nesse sentido, muitos apoiadores da pseudociência aplicam conteúdos da quântica de forma duvidosa e inadequada, associando-a a áreas como espiritualidade, desenvolvimento pessoal ou autoajuda, trazendo a ideia de que praticamente todos os aspectos da vida são “energia” e “vibração”. Essa abordagem reducionista atrai muitos seguidores, e os “*coaches* quânticos” ensinam como a mente de um indivíduo deve “vibrar” para que ele alcance seus objetivos.

Em uma entrevista de 2019, Bailas comenta sobre o tema, exemplificando que caso um seguidor não consiga o que deseja, a conclusão é simples: A pessoa não vibrou corretamente. Todas as coisas que alguém não conseguir se devem única e exclusivamente ao fato de a pessoa não ter feito exatamente o que foi dito. Dessa maneira, os chamados pseudocientistas se eximem da responsabilidade de suas técnicas não surtirem efeito (Bailas, 2019). Essa prática arbitrária pode se revelar bastante prejudicial, uma vez que gera expectativas irreais e cria culpas nas pessoas por resultados que podem estar fora de seu controle.

A literatura aponta diversas apropriações indébitas do termo “quântico” para a realidade macroscópica da matéria, assim como exemplos de descobertas científicas marcantes, que inicialmente também foram tratadas de forma “esotérica”, “enigmática” e “misteriosa”. Cruz, 2011, nomeia o exemplo da descoberta do raio-x, que incitou diversas fantasias a respeito de uma suposta quarta dimensão que não seria possível de ser alcançada com a mente humana, além de sua consequente associação com fenômenos paranormais. Tais fenômenos seriam comprovados com fotografias geradas a partir do equipamento de raio-x. Assim, tal descoberta despertou a imaginação de diversas pessoas, levando a interpretações especulativas sobre dimensões ocultas e projeções de clarividentes.

A associação de descobertas científicas e do termo “quântico” ao misticismo chama certamente a atenção de quem procura uma resposta “rápida” para a resolução de algum problema. Moreira (2011, p. 7) defende que: “É através da aprendizagem significativa crítica que o aluno poderá fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, não ser subjugado por ela, por seus ritos, mitos e ideologias”.

Portanto, é imprescindível que a educação científica possa deixar claro para os estudantes que eles não podem acreditar em qualquer tipo de notícia com caráter enviesado sobre a ciência. Em um mundo globalizado, onde existe acesso à informação de forma cada vez mais rápida e livre, é preciso que o cidadão esteja sempre apoiado em argumentos científicos quando o assunto for relacionado à química ou à física, por exemplo. É preciso ressaltar que a ciência não é imediatista e não está respaldada em opiniões ou em experiências pessoais.

7 ASPECTOS CURRICULARES DO ENSINO NO BRASIL

Como referencial teórico do ponto de vista educacional, torna-se essencial avaliar como a Constituição Brasileira regulamenta o tema da gestão do ensino frente à formação do cidadão. Assim, existe a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Lei n.º 9.394, sancionada em 20 de dezembro de 1996, pelo Ministério da Educação (MEC) que, entre diversos princípios, apresenta uma seção dedicada para o ensino médio, Seção IV, onde, entre os princípios, destaca que:

Art. 35. O ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidades: **I - a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;** II - a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores; III - o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico; **IV - a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina**". (MEC, 1996. *grifo nosso*).

No trecho destacado, verifica-se ênfase na relação entre teoria e cotidiano. Mesmo que um aluno que conclua o ensino médio não deseje continuar os seus estudos na área explicitamente científica, não se pode restringi-lo do direito, como cidadão, de ter o conhecimento mínimo, por exemplo, de que a Química Quântica pode ser aplicada em computação, nanotecnologia, e diversos outros campos de desenvolvimento tecnológico.

É importante destacar, também, definindo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Segundo o MEC, em seu site oficial, a BNCC se trata de “um documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica”. Em um dos capítulos deste documento, é mencionado sobre as finalidades do Ensino Médio na contemporaneidade, onde se cita que:

(...) **a escola que acolhe as juventudes**, por meio da articulação entre diferentes áreas do conhecimento, deve possibilitar aos estudantes: • compreender e utilizar os conceitos e teorias que compõem a base do conhecimento científico-tecnológico, bem como os procedimentos metodológicos e suas lógicas; • conscientizar-se quanto à necessidade de continuar aprendendo e aprimorando seus conhecimentos; • apropriar-se das linguagens científicas e utilizá-las na comunicação e na disseminação desses conhecimentos; e • apropriar-se das linguagens das tecnologias digitais e tornar-se - se fluentes em sua utilização (MEC, 1996, *grifo do autor*).

Embora o documento não explicitamente o nome de “Química Quântica” em suas referidas competências e habilidades, é possível reconhecer alguns trechos referentes às habilidades específicas, onde a disciplina em questão pode ser enquadrada. Entre eles:

Habilidade (EM13CNT103): “Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.”. Para esta habilidade, o docente poderia explorar a teoria de Max Plank referente à radiação do corpo negro, utilizando alguns exemplos do cotidiano, como fornos de uma indústria siderúrgica, o sol, e lâmpadas incandescentes.

Já para a Habilidade (EM13CNT201): “Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente”. Em relação a esta habilidade, a mecânica quântica poderia ser explorada, visto que é uma estrutura teórica que fornece explicações sobre a forma e os princípios de como as coisas se dão no mundo físico.

Finalmente, existem as habilidades (EM13CNT205): “Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências”, e (EM13CNT209): “Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros)”; nestas duas últimas habilidades destacadas, poderia ser explorado o princípio da incerteza de Heisenberg, o famoso experimento mental do gato de Schrödinger, noções de probabilidade de se encontrar um elétron, relações com a Astroquímica, temperatura de estrelas, entre outros fenômenos da Química Quântica (MEC, 1996).

8 A IMPORTÂNCIA DO LÚDICO PARA O ENSINO DE QUÍMICA QUÂNTICA

Conforme mencionado anteriormente neste trabalho, para o ensino de Química, e especificamente de Química Quântica, uma técnica amplamente utilizada pelos professores é a representação por meio da matemática, ou de forma pictórica, o que, em excesso, pode prejudicar o entendimento e o interesse dos alunos do ensino médio pela disciplina. Nesse sentido, a utilização do lúdico como ferramenta de aprendizagem é altamente recomendável.

O conceito de lúdico é comumente associado apenas a jogos, entretanto, verifica-se que a abordagem para a aplicação de ludicidade não se restringe a essa definição. Luckesi (2000, p. 19) defende que: “Lúdico é qualquer atividade que executamos e nos dá prazer, e que tenhamos interesse em praticá-la, é tudo quanto diverte e entretém o ser humano e envolve numa participação caracterizada pelo prazer, espontaneidade, liberdade [...]”. Ou seja, atividades lúdicas abrangem uma ampla gama de áreas e entretenimento.

Teixeira, 1995, p. 23, elucida argumentos que demonstram a importância da incorporação de atividades lúdicas em sala de aula: “[...] As situações lúdicas mobilizam esquemas mentais. Sendo uma atividade física e mental, a ludicidade aciona e ativa as funções psiconeurológicas e as operações mentais, estimulando o pensamento.” Assim, é possível perceber que atividades lúdicas apresentam importante papel no desenvolvimento humano.

Adicionalmente, Roloff (2022, p. 6) defende que:

O professor deve usar a ludicidade como importante fator de mediação e integração do aluno com a realidade; o aluno não aprende somente na escola. Se o conteúdo não for assimilado, pelo menos em parte, e não for ligado a nenhuma estrutura cognitiva, cairá no esquecimento, não terá nenhuma relevância. (...) O professor deve provocar o aluno a pensar, criar situações para interação, solicitar que ele acompanhe a construção do conhecimento com uma aula lúdica, porém o mais próxima possível da sua realidade, porque assim ficará mais fácil para este estudante identificar, investigar e resolver o problema.

Em relação à Química, atualmente existem algumas maneiras para o aluno realizar a associação com a estrutura cognitiva, além de jogos. Dentre elas, as principais seriam: utilização de livros paradidáticos, histórias em quadrinhos, trechos de vídeos em plataformas digitais (como o *YouTube*, por exemplo), e trechos de séries que façam referência à ciência. Este trabalho possui foco na discussão sobre livros paradidáticos, especificamente realizando um desenvolvimento acerca de “Alice no País do Quantum” (1998).

Uma das vantagens do livro paradidático é a apresentação de histórias envolventes com personagens cativantes, que estimulam a curiosidade dos alunos, buscando estabelecer conexões significativas com a realidade dos estudantes.

A partir da leitura, os jovens podem aprofundar seus conhecimentos de forma autônoma. Adicionalmente, existe o fato de propiciar, mesmo que indiretamente, o gosto pela leitura.

É importante ressaltar que, embora o lúdico apresente papel importante para o desenvolvimento e a aprendizagem dos alunos, a utilização desta ferramenta precisa estar associada a um robusto planejamento por parte do professor, de modo que seja realmente uma experiência significativa para o aluno, e não apenas uma manifestação “extra” sem correlação com a disciplina estudada.

9 MATERIAIS E METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, os materiais utilizados foram os livros “Aprendizagem significativa: A teoria e textos complementares” (Moreira, 2011) e “Alice no País do Quantum” (Gilmore, 1998).

O desenho metodológico empregou em um primeiro momento o livro de Marco Antonio Moreira, como alicerce para entendimento e estudo docente do conceito de aprendizagem significativa, para se aplicar o lúdico através do emprego da obra de Gilmore (1998), em sala de aula.

O planejamento da ação pedagógica foi produzido a partir de trechos específicos, em que foram sinalizados e inseridas algumas “interferências didáticas” ao longo do material didático produzido, que poderão funcionar como um guia para outros professores abordarem pontos-chave em sala de aula, contextualizando algumas situações-problema, e trazendo verdadeiro sentido químico para cada capítulo. É essencial que o lúdico seja aplicado com planejamento de conteúdo e propositalmente, a fim de que não seja apenas uma “aula divertida”, mas também um espaço de aprendizagem significativa.

Os capítulos e as temáticas selecionadas para serem trabalhadas nas turmas de primeiro ano do Ensino Médio foram: capítulo 1 - “No País do Quantum”; capítulo 2 - “O Banco de Heisenberg”; capítulo 3 - “O Instituto de Mecânica”; e Capítulo 5 - “A Academia Fermi-Bose”.

10 RESULTADOS E DISCUSSÕES: SEQUÊNCIA DIDÁTICA DO LIVRO: “ALICE NO PAÍS DO QUANTUM” PARA O ENSINO MÉDIO

Após todas as considerações teóricas descritas até o momento neste trabalho, o docente contará com um alicerce sólido para efetivamente utilizar a ferramenta didática do livro de “Alice no País do Quantum” (1998), para desmistificar alguns conteúdos de Química Quântica para o ensino médio. A proposta é de uma sequência didática que envolve 5 encontros presenciais, cuja organização está descrita na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1- Organização da sequência didática.

DISCIPLINA	Química Quântica
SÉRIE	Primeiro ano do Ensino Médio
TEMA	Química Quântica
CONTEÚDOS ENVOLVIDOS	<ul style="list-style-type: none"> • Princípio de Incerteza e Dualidade • Spin e Distribuição de Probabilidade • Transições eletrônicas • Mecânica Clássica x Mecânica Quântica • Paradoxo do experimento do Gato de Schrödinger • Férmions, Bósons e Princípio de Pauli • Pseudociências e distorção do conhecimento científico
DURAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	5 encontros com duração de 1 hora e 40 minutos, totalizando 10 aulas de 50 minutos
METODOLOGIA DE APLICAÇÃO	Encontros presenciais
MATERIAIS E RECURSOS	Quadro branco e slides Notebook e/ou celular e/ou tablet Textos de leitura complementar

Fonte: Autoria própria (2023).

10.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: PRIMEIRO ENCONTRO

A primeira aula é composta por algumas atividades, envolvendo leitura de trechos do livro “Alice no País do Quantum”, projeção de vídeos e dinâmica entre os estudantes, conforme quadro abaixo:

Quadro 1- Detalhamento das atividades do primeiro encontro

ATIVIDADE	TEMPO (MIN)
Recepção dos estudantes, distribuição do Anexo 1 e leitura do material	15
Perguntas iniciais para os alunos	10
Exposição de vídeo 1: “Como o Homem Formiga encolhe?”	10
Atividade de escrita relacionada ao vídeo 1	15
Exposição de vídeo 2: “O que é a Dualidade Onda-Partícula?”	15
Atividade de “verdadeiro” ou “falso” (Apêndice 1)	25
Dúvidas dos alunos sobre a atividade anterior	10

Fonte: Autoria própria (2023).

10.1.1 Princípio de Incerteza e Dualidade

- **Objetivo:** Os discentes deverão compreender as associações entre trechos do livro “Alice no País do Quantum” e conceitos fundamentais para a mecânica quântica: princípio de incerteza de Heisenberg e Dualidade Onda-Partícula.

- **Abordagem do primeiro encontro:** em um primeiro momento, o professor irá entregar aos alunos um material composto de alguns trechos do capítulo 1 do livro Alice no País do Quantum, de Robert Gilmore (1998), e solicitar que cada aluno da turma realize a leitura de um parágrafo, de modo que todos possam participar da atividade. Os trechos selecionados podem ser encontrados no Anexo 1 (tempo total de leitura de aproximadamente 5 min 30 s).

Após a leitura, o professor irá realizar as seguintes perguntas para os alunos:

- Com que personagens Alice se encontra ao chegar no “País do Quantum”?
- Como os elétrons são definidos no livro? Eles possuem uma forma clara?
- Vocês se lembram em que região o elétron pode ser encontrado?
- O elétron possui uma massa grande ou pequena? Seria possível enxergá-lo em um microscópio?

Essas perguntas, embora sejam realmente básicas, são importantes para nivelamento dos alunos em relação ao tema. Em seguida, o professor deverá apontar que o autor do livro reforça que os elétrons são indistinguíveis, ilustrando cenas em que a Alice conversa com um personagem elétron, e posteriormente, em outro local e em outra direção, encontra com outro personagem da mesma natureza, porém aparentemente idêntico ao primeiro.

O professor poderia destacar o seguinte trecho:

[...] Em certo momento, Alice chegou a questionar: *“Desculpe, você é o mesmo elétron com quem eu estava falando antes?”* e *“Você está aqui ao meu lado enquanto o outro foi para algum lugar naquela direção, por isso vocês dois não podem ser a mesma pessoa. Um de vocês tem que ser diferente”*.

“Não mesmo”, gritou o elétron, pulando de um lado para o outro, ainda mais rápido por causa de sua excitação. “Somos todos idênticos. Não há como nos diferenciar. Por isso, veja, ele deve ser o mesmo e eu devo ser o mesmo também”.

Interferência didática: A obra de Gilmore (1998), trata de uma alegoria, mas um requisito essencial é que o docente se certifique de que o conhecimento preliminar seja compartilhado e entendido por todos os alunos. Se não estiver claro para o estudante que o elétron é uma partícula subatômica com carga elétrica negativa, orbitando o núcleo atômico na região da eletrosfera, toda a continuidade da prática didática não irá apresentar coerência. O aluno também precisa ter clareza de que a massa do elétron é extremamente pequena, de forma que seria impossível visualizá-lo em um microscópio. Segundo Chang e Goldsby, (2013), a massa em quilogramas do elétron corresponde a $9,1094 \times 10^{-31}$ kg.

No trecho em que Alice fica em dúvida sobre a identidade de um dos “personagens elétrons” (questionando se seria o mesmo com quem ela estava falando previamente), há a possibilidade de o professor elucidar que os elétrons são idênticos, e que, portanto, não há como diferenciá-los. Este é o motivo pelo qual Gilmore (1998), considera que o que um elétron visualiza, os demais acabam visualizando equivalentemente.

Após a provocação inicial, o docente poderia abordar outra discussão da quântica, também baseada nos trechos destacados da história: caso o elétron conseguisse se manter parado, o observador teria certeza sobre a sua posição, porém perderia a informação sobre a sua trajetória, fazendo com que a “imagem” do elétron se tornasse completamente difusa.

O professor poderia explicitar que realmente não faria sentido demonstrar um elétron estático/parado, por exemplo, baseado nos princípios científicos, científicos, e promover um diálogo com a turma, perguntando se eles concordam ou não com o tema, e o porquê.

Uma outra perspectiva seria de o professor escrever no quadro uma citação dos autores Resnick e Eisberg (1994), que decorre de uma comparação com a mecânica clássica, defendendo que:

[...] as equações de movimento de um sistema, conhecidas as forças que atuam sobre ele, podem ser resolvidas de forma a dar a posição e o movimento de uma partícula para todos os valores de tempo. Tudo o que é necessário saber é a posição e o momento precisos da partícula em um certo instante $t=0$ (as condições iniciais), e assim o movimento futuro fica preciso de forma exata (Resnick; Eisberg, 1994, p. 97).

A partir do trecho mencionado pelos autores acima, o professor poderia explicar que, embora esta teoria funcione perfeitamente em escala macroscópica, para sistemas de escalas microscópicas, o mesmo não é observado, ou seja, não é possível determinar por meio de uma experiência real a posição e o momento no mesmo instante da matéria. Essa é uma das diferenças entre a Física Clássica e a Física Quântica. Os alunos aprenderam equações que relacionavam posição inicial e o momento (massa e velocidade) das partículas de um sistema nas aulas de Física Clássica, porém, quando se trata de Física Quântica, não é possível conhecer com precisão absoluta a posição de uma partícula, apenas a probabilidade de onde encontrá-la.

Em termos de ensino médio, não haveria a necessidade de explorar os cálculos envolvidos no princípio da incerteza de Heisenberg, apenas o conceito probabilístico. Vale ressaltar que a obra de Robert Gilmore (1998), também não demonstra esta parte matemática.

Uma estratégia didática que também poderia ser utilizada, em termos da explanação sobre o **Princípio da Incerteza**, seria realizar uma associação entre ciência e arte, através dos filmes do “Homem Formiga”, super herói da Marvel. No filme, o personagem principal, Scott Lang, consegue encolher até a escala atômica, e assim adentrar em uma dimensão paralela chamada de “Reino Quântico”. Em 2018 houve o lançamento do segundo filme da saga, intitulado “Homem Formiga e a Vespa”, onde os dois super-heróis ficam perdidos no mundo quântico.

Assim, o professor poderia ler para a turma um trecho de Santos e Moreira, (2022), no artigo “Olhar de professor”, em que comentam que:

É praticamente impossível obter a localização para resgatá-los. Os heróis, quando se encontram em dimensões quânticas, passam a obedecer às leis que regem o movimento das sub partículas (elétrons, prótons, nêutrons etc.). Portanto, da mesma forma que não é possível localizar precisamente um elétron em específico, por exemplo, não é possível localizar o Homem Formiga e a Vespa, já que toda a Mecânica Quântica é baseada no Princípio da Incerteza (Santos; Moreira, 2022, p. 18).

A sequência de filmes do Homem Formiga provoca bastante mobilização entre os jovens, e essa associação do lúdico com a química quântica com um exemplo adicional, além do livro de Alice no País do Quantum, poderá gerar uma aproximação ainda maior do professor com os interesses da turma.

Figura 1- Personagem “Homem Formiga”, baseado nas histórias da Marvel.



Fonte: Site oficial da Marvel.

Nesse momento, o professor poderia projetar para a turma o seguinte vídeo (disponível gratuitamente na plataforma *Youtube*): “Como o Homem Formiga encolhe?”⁴. A partir do vídeo e das discussões anteriores, o professor poderia propor uma atividade para a turma. Todos deveriam escrever, com suas próprias palavras:

• Supondo que você, assim como Alice e o Homem Formiga, conseguisse adentrar no “Reino Quântico” e adquirisse escala atômica, seria possível determinar exatamente qual seria a sua localização? Por quê? Justifique com base nos conhecimentos de Química Quântica.

Interferência didática - Ademais, esta seria uma circunstância conveniente para que o docente conduza discussões sobre o conceito de **dualidade onda-partícula**. Nesse sentido, o professor poderia escrever no quadro uma citação dos autores Resnick e Eisberg (1994), que ponderam que:

O princípio da incerteza nos permite compreender como é possível que a radiação e a matéria tenham uma natureza dual (onda-partícula). Se tentarmos determinar experimentalmente se a radiação é onda ou partícula, por exemplo, veremos que uma experiência que force a radiação a revelar seu caráter ondulatório suprime fortemente seu caráter corpuscular. Se modificarmos a experiência de forma a acentuar o caráter corpuscular, o caráter ondulatório desaparece. Não podemos nunca juntar a interpretação corpuscular e a ondulatória na mesma situação experimental (Resnick; Eisberg, 1994, p. 112).

⁴ Link: <https://www.youtube.com/watch?v=m69dX6c8qy4>.

A partir desta consideração, os autores descrevem uma peculiaridade, pois a escolha da experiência afeta diretamente o comportamento observado pelo estudioso. As partículas, então, podem se apresentar de maneiras distintas, dependendo do contexto experimental em que são observadas.

Para ilustrar melhor a questão da dualidade, o professor poderá projetar para a turma o seguinte vídeo (também disponível gratuitamente na plataforma *Youtube*): “O que é a Dualidade Onda-Partícula?”, do canal denominado “Portal da Ciência”⁵. A partir do vídeo, o professor poderia dividir a turma em 2 grupos, e fazer uma dinâmica de competição, em que cada grupo precisaria responder a questões de “verdadeiro” ou “falso”. Assim, o professor poderia ler uma questão, e cada grupo teria o tempo de 1 min para discutir internamente, de maneira rápida, sobre a resposta correta. Ao final do tempo, um representante do grupo diria se a afirmativa é verdadeira ou falsa. Caso o grupo acerte, ganhará 1 ponto. Caso contrário, a pontuação irá para o outro grupo, e a turma irá discutir, junto ao professor, sobre qual seria a resposta correta, e o porquê. Será realizada 1 pergunta para cada grupo, de forma alternada. E no final, o grupo que acumular maior pontuação, será o vencedor da atividade. As afirmativas estão listadas no Apêndice 1, juntamente com suas respostas corretas.

10.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: SEGUNDO ENCONTRO

A segunda aula é composta por mais algumas leituras de trechos do livro “Alice no País do Quantum”, aula expositiva, projeção de vídeos e interpretação de tirinha humorística, conforme quadro abaixo:

Quadro 2- Detalhamento das atividades do segundo encontro

ATIVIDADE	TEMPO (MIN)
Recepção dos estudantes e resgate de trechos do Anexo 1	10
Aula expositiva sobre experimento de Stern-Gerlach e slide RMN	35
Exposição do vídeo: “Computadores Quânticos explicados”	20
Discussão com a turma sobre temas do vídeo anterior	10
Leitura e interpretação dos Anexos 3 e 4	15
Explicação sobre o Anexo 4	10

Fonte: Autoria própria (2023).

⁵ Link: <https://www.youtube.com/watch?v=2vRyLAPxyEs&t=199s>.

10.2.1 Spin Eletrônico

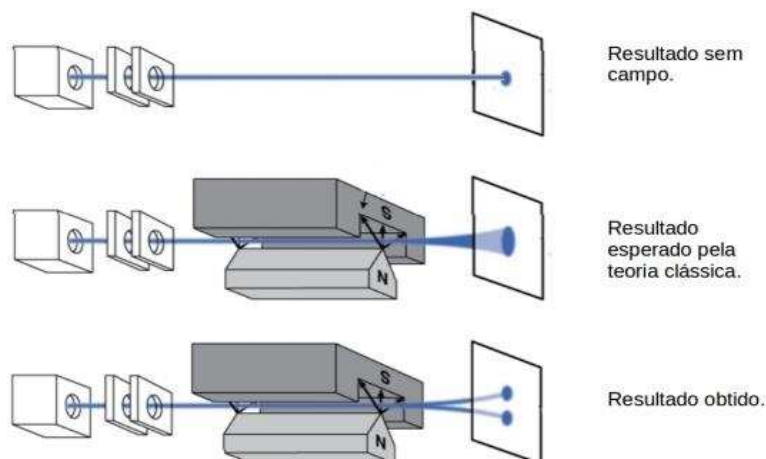
- **Objetivo:** Os discentes deverão compreender o conceito de spin eletrônico, através da aula sobre o experimento de *Stern-Gerlach* (1921), assim como suas aplicações práticas para o cotidiano.
- **Abordagem do segundo encontro:** Para o segundo encontro, inicialmente será aplicada uma aula expositiva, fazendo referência a trechos da obra de Gilmore (1998). Assim, o professor poderá resgatar a leitura do Anexo 1. Não será necessário realizar a leitura de todo o seu conteúdo, porém o professor poderá ler o trecho abaixo:

Seguindo com a aventura de Alice, o cenário do País do Quantum aborda a passagem de que os elétrons aparecem portando um objeto, descrito pelo autor como “*algum tipo de bengala, ou talvez um guarda-chuva fechado*”, que aparecia ora apontado para cima, e ora apontado para baixo”. Em certo trecho, o “personagem elétron” se identifica da seguinte forma: “Disse a forma: ‘Sou um elétron spin para cima. É fácil me distinguir da minha amiga ali, a elétron spin para baixo, que é obviamente muito diferente de mim.’ E pelo que Alice pôde ver, o outro elétron era quase igual, a não ser pelo guarda-chuva, ou o que quer que fosse aquilo, que apontava para baixo, na direção do chão”.

Interferência didática - Neste momento, existe a oportunidade de o docente mencionar o conceito de spin do elétron. Assim, poderia ser abordado o experimento de dois físicos alemães, conhecido como experimento de *Stern-Gerlach*, realizado em 1921. Os autores Gomes e Pietrocola, (2011, p. 4), descrevem que: “O experimento consiste em fazer um feixe de átomos (originalmente átomos de prata) passar por um campo magnético não-homogêneo produzido por um ímã, e analisar a disposição desses átomos em uma placa coletora na saída do ímã”. Os autores explicam o propósito do ensaio e sua relevância para a compreensão da natureza quântica e do comportamento dos átomos em situações específicas: “[...] a intenção seria testar a quantização espacial, ou seja, verificar se o momento angular de átomos neutros seria ou não quantizado, na presença de um campo magnético externo” (Gomes; Pietrocola, 2011, p. 4).

O resultado do experimento de Stern-Gerlach revelou que o *spin* das partículas é quantizado, e que a projeção do *spin* em uma direção específica é uma quantidade discreta. Para ilustrar melhor essa explicação, o professor pode imprimir e mostrar aos alunos a figura 2 abaixo:

Figura 2- Projção do spin em uma direção específica.

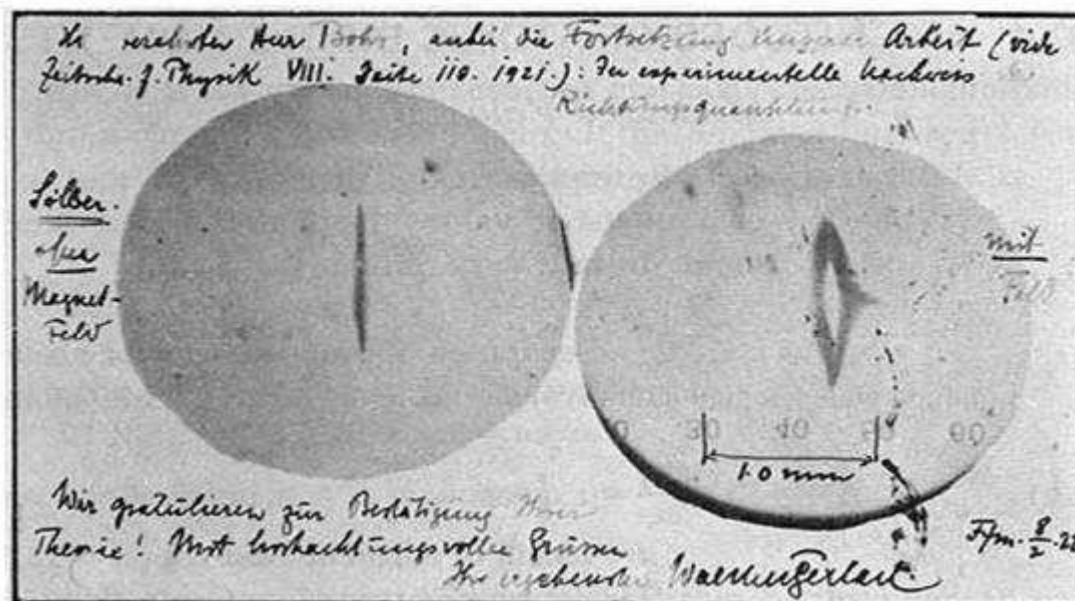


Fonte: Venancio, B. F. 2014.

Muitos alunos do ensino médio acabam “decorando” os possíveis valores de spin de elétron, sem realmente entenderem o conceito por trás desse tópico. Assim, é importante que esta etapa seja elucidada em sala de aula.

De acordo com a Física Clássica, o resultado esperado para o experimento de Stern-Gerlach seria a presença de uma mancha contínua, caracterizada pelos átomos desviados na parede atrás do experimento. Entretanto, contrariando as possíveis previsões na época (1921), o experimento demonstrou duas manchas separadas, conforme a figura 3 a seguir. O professor também poderá imprimir a imagem e mostrar para a turma.

Figura 3- Postal enviado por Walther Gerlach a Niels Bohr em fevereiro de 1922*



Fonte: Bretislav Friedrich; Dudley Herschbach. 2003.

Disponível em: <https://physicstoday.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.1650229>. Acesso em: 20 nov. 2023.

* Apresenta uma foto onde aparece a prata depositada na placa de vidro, após uma revelação (fotográfica), para os casos sem campo (esquerda) e com campo magnético (direita). Gerlach escreve: “Anexo [está] a prova experimental da quantização direcional. Nós te parabenizamos pela confirmação de sua teoria” (*Courtesy AIP Emilio Segrè Visual Archives*).

Este desvio dos átomos de prata demonstrou a propriedade conhecida como “spin”. Goudsmit e Uhlenbeck, 1925, descrevem que: “*Spin* é o momento magnético intrínseco das partículas, e parece não haver, até hoje, nenhum análogo clássico para esta propriedade fundamental da matéria”. É importante esclarecer que, conforme cita Oliveira: “Ele está associado com a maneira como os elétrons ocupam os níveis de energia no átomo. Um elétron pode ter o spin “*up*” (para cima) ou “*down*” (para baixo). Essa nomenclatura é apenas para diferenciar duas situações, pois não existe “para cima” e “para baixo” nos átomos. O spin é uma característica intrínseca das partículas elementares”. Este é um ponto bastante relevante de ser apontado para os alunos.

Em termos de aplicação prática para o cotidiano, é possível citar o exemplo de propriedades magnéticas da matéria (como ímãs de geladeira). Em seguida, o professor poderia perguntar para a turma em que outras situações eles imaginam que o conceito de *spin* seja aplicado no dia a dia, e projetar a Imagem de *slide* (Figura 4) abaixo:

Figura 4- Imagem de Slide a ser apresentada.

The slide is divided into two main sections. The left section has a purple background and contains the following text:

VOCÊ SABIA QUE...?

A RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR (RMN) POSSUI RELAÇÃO COM A QUÍMICA QUÂNTICA?

Below the text is an image of a doctor in a white coat pointing at a laptop screen displaying medical scans.

Fonte: <https://blog.hospitalpilar.com.br/medicina-diagnostica/codp-oculencia-em-exames-de-ressonancia-magnetica-em-citibm/>

O RMN É CAPAZ DE GERAR IMAGENS DO INTERIOR DO CORPO HUMANO UTILIZANDO COMO BASE A INTERAÇÃO ENTRE SPINS NUCLEARES EM UM CAMPO MAGNÉTICO!

The right section of the slide features a photograph of a Philips MRI scanner in a clinical setting.

Fonte: <https://www.ressonancia.com.br/novitas-nem-paga-1-1-Resonancia-magnetica-rtscos-contraindicacoes-e-variantes/3>

Fonte: Autoria própria (2023).

Após, o professor poderia exibir para a turma, através de projeção pelo notebook, o vídeo a seguir (disponível gratuitamente na plataforma *Youtube*): “Computadores Quânticos

explicados”⁶.

O vídeo é mais longo do que os do encontro anterior (este possui um tempo de duração de 14 min 36 s, porém, trata-se de um conteúdo extremamente relevante, pois aborda a diferença entre computadores clássicos e computadores quânticos, e sua relação com o conceito de spin. Muito provavelmente o aluno de ensino médio ainda não teve a oportunidade de estudar sobre esse tipo de avanço tecnológico. Entretanto, esse tipo de conhecimento é interessante para que o aluno possa desenvolver uma visão mais ampla sobre o mundo à sua volta. Após o vídeo, o professor poderia propor uma rápida discussão com os alunos, abordando os temas:

- **Você já conhecia anteriormente o conceito de computação quântica?**
- **Você já tinha ouvido falar em “qubits” e sua relação com o spin?**
- **Pelo que entendeu do vídeo, será que os “qubits” baseados em spin têm o potencial de resolver problemas complexos mais rapidamente do que os computadores tradicionais?**
- **Que outras aplicações você imagina que possam surgir a partir da quântica para a tecnologia?**

O professor poderia aproveitar o contexto para comentar brevemente sobre criptografia quântica, conceito que o livro “O mistério quântico”, de Cassinello e Gómez (2017), descrevem em linhas gerais como sendo um sistema que permite a detecção de tentativas de espionagem em comunicações seguras.

10.2.2 Distribuição de Probabilidade

- **Objetivo:** Possibilitar o entendimento dos estudantes sobre a relação da Mecânica Quântica com a interpretação probabilística, e introdução ao conceito de que a função de onda é uma representação matemática que engloba todas as propriedades do sistema em análise.
- **Abordagem do segundo encontro:** Na continuidade do segundo encontro, o professor irá entregar aos alunos um material impresso, que será complementar à primeira parte da história de Alice. Dessa forma, o professor escolherá 2 alunos, e cada um irá realizar a leitura de um parágrafo do material descrito no Anexo 2.

⁶ Link: <https://www.youtube.com/watch?v=92eSz2X0AIU>.

Interferência didática - Após a leitura, o professor conseguirá promover a discussão sobre as **distribuições de probabilidade**, argumento reproduzido pela Química Quântica. Em razão de não ser possível determinar as posições e os momentos instantâneos das partículas com confiabilidade em termos de precisão, a teoria quântica justifica que “é possível apenas fazer previsões sobre o comportamento provável dessas partículas” (Resnick; Eisberg, 1994, p. 54).

O professor poderia escrever no quadro um trecho de Almeida, que, em seu trabalho de Sequência Didática para ensino de Quântica, discorre que: “Como ninguém encontrou uma forma de burlar o Princípio da Incerteza, até onde sabemos este princípio expressa o que entendemos ser uma característica da natureza. A partir destes experimentos, só falamos em **probabilidade** de diferentes eventos, não mais falamos em o que ocorrerá em uma dada circunstância”. (Feynman; Leighton; Sands, 2013b; Eisberg; Resnick, 1979).

Assim, o professor poderia discutir com a turma que a distribuição de probabilidade foi capaz de promover a substituição do conceito clássico de órbitas definidas, por exemplo, e trouxe uma explicação mais precisa para partículas subatômicas em sistemas quânticos complexos. Uma curiosidade interessante de ser apresentada aos alunos é a famosa frase de Albert Einstein, que mencionou que “Deus não joga dados”.

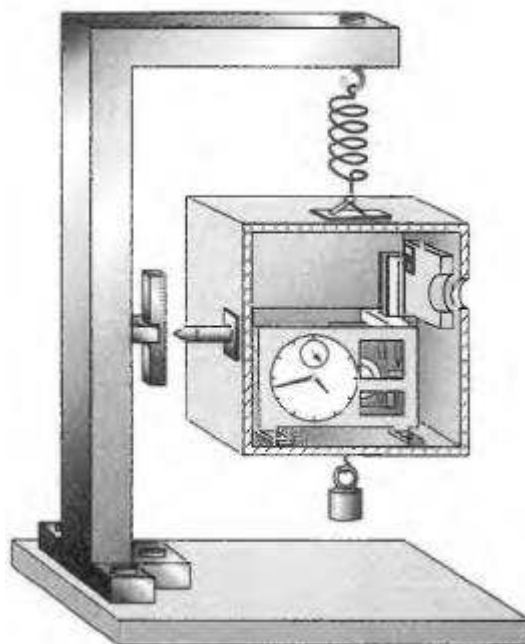
Para isso, o professor poderia utilizar tirinhas de história em quadrinhos (conforme Anexo 3), elaboradas por Carlos Henrique Ruas Bons, designer gráfico e quadrinista/cartunista brasileiro, em seu trabalho para o site “Um Sábado Qualquer”.

A partir desse anexo, o docente poderia explicar para a turma que a frase “Deus não joga dados” é uma referência a uma crítica de Einstein à “nova era da mecânica quântica” e sua interpretação probabilística. De acordo com a literatura, Einstein foi incansável na busca por teorias e experimentos que refutassem o princípio de incerteza, por exemplo. O físico acreditava que uma teoria de aleatoriedade na mecânica quântica, ou seja, sua interpretação de distribuições de probabilidade, não seria capaz de se configurar como uma explicação científica correta para fenômenos conhecidos da física.

Apesar de diversas tentativas de oposição de Einstein, através de publicação de artigos que mencionaram a natureza incompleta da mecânica quântica, todas as suas críticas foram contrapostas com argumentos matemáticos relevantes e incontestáveis de Niels Bohr. Houllauer, compartilha que: “Em um dos mais conhecidos episódios desse duelo (‘Einstein x Bohr’), Einstein anunciou no Congresso de Solvay (1930), uma experiência pensada que provaria a possibilidade de medida simultânea das variáveis tempo e energia de um sistema. Um esboço do aparelho para realização dessa experiência é apresentado na Figura 5, que ficou

conhecida como ‘A controvérsia’.”

Figura 5- Caricatura pseudo-realista de um dos dispositivos idealizados por Einstein de modo a burlar o princípio de incerteza desenhado por Bohr.



Fonte: Hollauer, 2007.

Segundo o livro publicado por Houllauer (2007), a descrição do experimento se dava da seguinte forma:

O processo de medida era simples, constituindo-se de uma balança precisa que sustentava uma caixa fechada contendo um relógio. Além de engrenagens destinadas ao funcionamento do relógio, a caixa continha radiação a baixa intensidade e um pequeno orifício que podia ser aberto ou fechado para se deixar sair um fóton. Segundo Einstein, com a diferença no peso da caixa, antes e após a saída de um fóton, seria possível conhecer a sua energia exata. Por outro lado, como existia um relógio interno completamente independente, faz-se conhecer o momento exato em que o fóton sai, para que se possa determinar ‘t’ e ‘E’ com precisão, o que burlaria o princípio da incerteza associado a essas duas variáveis (Houllauer, 2007, p. 59).

O autor descreve que Bohr foi capaz de refutar a teoria do experimento, juntamente com Heisenberg e Pauli, através de premissas provenientes da teoria de relatividade geral, cuja origem encontra-se em trabalhos de Galileu, porém seu aprimoramento foi realizado justamente por Albert Einstein. Houllauer, demonstra que: “A argumentação afirmava que, como a caixa estava sujeita a um campo gravitacional, o andamento do relógio dependia da sua posição nesse campo. Assim o fóton, ao abandonar a caixa, provoca um movimento oscilatório do pêndulo definido por mola e caixa. É esse movimento que introduz uma incerteza nas medidas de massa feitas pela mola e de tempo feitas pelo relógio interno. Bohr, Heisenberg e Pauli calcularam essas incertezas, confirmando o princípio da incerteza de Heisenberg. Einstein aceitou a contestação de sua experiência pela acurada resposta lógica oferecida, mas jamais se convenceu

do caráter probabilístico da mecânica quântica”.

Apesar disso, conforme corrobora Almeida, “as concordâncias das previsões da Mecânica Quântica com os resultados experimentais concedem parecer favorável a formulação quântica”. De fato, a interpretação de Max Born, que relaciona as propriedades da função de onda com o comportamento da partícula em termos de densidade de probabilidade é uma das teorias mais aceitas da mecânica quântica na atualidade.

Dessa forma, o professor poderia explicar para os alunos qual é o sentido da segunda tirinha, em termos da desavença entre Einstein e Bohr. Posteriormente, o docente explicaria para a turma um pouco mais sobre as contribuições de Bohr para a ciência, apresentando o trecho complementar do Anexo 4.

Interferência didática: Em relação a essa citação, é importante ressaltar que não há a necessidade, a nível de ensino médio, de inserir cálculos. O professor pode apenas apresentar o conceito de Ψ , mostrando que descreve uma função de onda de uma partícula na Mecânica Quântica.

Para explicar melhor o conceito de função de onda para Mecânica Quântica, é possível debruçar-se sobre o esclarecimento do Professor do IFRJ, Antonio Florencio, em sua aula de noções básicas da função de onda (anotações de 2020): “A função de onda é uma entidade matemática que contém todas as características do sistema estudado. Porém, a função de onda em si não apresenta significado físico. Para que ela adquira tal significado, é preciso operá-la. Qualquer onda, seja ela qual for, é descrita através de uma equação matemática.”

Assim, o professor pode reforçar que a simbologia “ Ψ ” por si só não apresenta significado físico, porém o seu quadrado adquire grande relevância, descrevendo a densidade de probabilidade de encontrar uma partícula em uma determinada região do espaço. Uma implicação do Princípio da Incerteza que poderia também ser ressaltada pelo professor é uma mudança significativa na maneira de entendimento do átomo. Antes do surgimento do princípio elaborado por Heisenberg, o modelo de átomo mais aceito era o de Bohr, em que era possível determinar tanto a posição do núcleo quanto a posição do elétron. Segundo Bohr, o elétron estaria circulando ao redor do núcleo. Todavia, a elucidação do princípio da incerteza, em que Heisenberg defendia que algumas propriedades não poderiam ser medidas de maneira simultânea, houve a consequência de não ser mais possível afirmar a posição e a trajetória do elétron. Assim, o entendimento do átomo passa a ser pautado no modelo quântico, que não admite uma referência com valores exatos, e sim em uma estatística (média) sobre várias medidas.

10.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: TERCEIRO ENCONTRO

Assim como nas duas primeiras aulas, o terceiro encontro também irá proporcionar a leitura de trechos da obra de Gilmore (1998), com a adição de projeção de vídeos, rodas de conversa e atividade avaliativa para os discentes, conforme detalhado no quadro abaixo:

Quadro 3- Detalhamento das atividades do terceiro encontro

ATIVIDADE	TEMPO (MIN)
Recepção dos estudantes e leitura do Anexo 5	10
Explicação e interpretação do Apêndice 3	15
Exposição do vídeo: “Como fazer fogo colorido (experimentos de química)”	10
Dinâmica do Apêndice 1	20
Leitura do Anexo 8	10
Roda de conversa com a turma, baseado no Anexo 8	15
Atividade avaliativa dos alunos	20

Fonte: Autoria própria (2023).

10.3.1 Transições Eletrônicas

- **Objetivo:** Possibilitar a compreensão mais abrangente dos alunos em relação ao mecanismo de absorção e emissão de energia e práticas do cotidiano em que podemos observar o efeito das transições eletrônicas.
- **Abordagem do terceiro encontro:** Para o terceiro encontro, o professor irá distribuir aos alunos um material composto de alguns trechos do capítulo 2 do livro Alice no País do Quantum, denominado “Banco de Heisenberg”, e solicitar que cada aluno da turma realize a leitura de um parágrafo, de modo que propicie maior engajamento e participação na atividade. Os trechos selecionados podem ser encontrados no Anexo 6.

Interferência didática: Neste momento, o professor poderia explicar a mensagem no cartaz, através das transições eletrônicas. Nota: A explicação sobre o princípio de exclusão de Pauli será elaborada mais à frente, em um momento mais adequado na obra de Gilmore (1998), no quarto encontro com a turma. Para a associação com a história de Alice, deve ser utilizado o fluxograma do Apêndice 3.

Nesse sentido, o docente poderá imprimir os arquivos dos anexos referidos anteriormente, e se basear neles para a explicação para os alunos sobre os conceitos que envolvem as transições eletrônicas. Inicialmente, o professor pode explicar sobre o conceito de “estado fundamental”, que seria o estado de menor energia possível para um átomo, onde os

elétrons ocupam os níveis de energia mais baixos disponíveis.

Se houver absorção de energia por um átomo, por exemplo, por exposição à luz, seus elétrons podem ser excitados para níveis de energia mais elevados. Entretanto, se essa fonte de energia for removida, os elétrons apresentarão a tendência a retornar aos seus estados de menor energia, conseqüentemente liberando a energia absorvida na forma de luz. Este processo é a base das transições eletrônicas.

Uma ponderação a ser feita pelo professor é a de que os “saltos” realizados pelos elétrons são sempre referentes a mudanças completas de nível (do segundo nível para o terceiro nível, por exemplo), passando para uma outra órbita, e nunca permanecendo em uma região intermediária.

Quando o cartaz do anexo 5 menciona sobre “passar para um nível mais alto”, está se referindo à excitação de um elétron para um nível de maior energia. Sobre a quantidade de 10 *eV* descrita no cartaz da história de Alice, o professor poderia ponderar que, segundo a definição de Shriver e Atkins (2003): “Um *elétron-volt* (1 *eV*) é a energia necessária para movimentar um elétron quando submetido a uma diferença de potencial de 1 *V*”.

Assim, um *eV* está intimamente conectado à energia cinética de um elétron, e “10 *eV*” refere-se à quantidade de energia que um elétron ganha ou perde ao ser acelerado ou desacelerado por um potencial elétrico de 10 *volts*.

Após a leitura dos anexos e explicações, o professor pode promover a seguinte discussão com a turma:

• Vocês conseguem pensar em exemplos do cotidiano nos quais podemos observar luz devido a transições eletrônicas? Quais?

Essa seria uma boa forma de verificar os conhecimentos prévios da turma. Todavia, se nenhum aluno conseguir exemplificar, o professor pode conduzir a discussão da classe, comentando sobre os fogos de artifício, luzes de trânsito com LED, luzes de Natal com LED, etc.

Adicionalmente, o professor pode projetar para a turma o vídeo “Como fazer fogo colorido (experimentos de química)”⁷, até o tempo de 4 min 16s, para mostrar aos alunos um experimento interessante relacionado ao tema de transições eletrônicas. Com o vídeo, o professor consegue explicar que o mecanismo de absorção e emissão de energia é o que desencadeia a percepção visual das luzes dos fogos de artifício.

Depois da exibição do conteúdo digital, o professor poderia realizar a dinâmica do

⁷ Link: https://www.youtube.com/watch?v=OMe_X-oh2mc

Apêndice 2, em que os alunos devem completar as frases com as palavras-chave destacadas. Para isso, o professor deverá imprimir as páginas das sentenças e das palavras-chave, e informar aos alunos que cada palavra ou expressão poderá ser utilizada mais de uma vez no exercício, porém nenhuma delas ficará sobrando. Durante a atividade, o professor poderá aproveitar para esclarecer alguns conceitos sobre o modelo atômico de Bohr e seus postulados.

10.3.2 Mecânica Clássica X Mecânica Quântica

- **Objetivo:** Proporcionar esclarecimento em relação às diferenças fundamentais entre a mecânica quântica e a mecânica clássica, além de instigar os alunos a refletir sobre suas aplicações e relevância nas situações do dia a dia.

- **Abordagem do terceiro encontro:** O professor irá distribuir para os alunos o material do Anexo 8, que corresponde a trechos do capítulo 3 do livro de Alice no País do Quantum, denominado “O Instituto de Mecânica”. Da mesma forma que ocorreu no início do terceiro encontro, serão escolhidos alunos, de forma randômica, para que cada um possa realizar a leitura de um parágrafo do texto. Neste terceiro capítulo, surge uma comparação interessante entre conceitos da Mecânica Clássica e da Mecânica Quântica, até mesmo na forma que os dois personagens se comportam em relação ao jogo de bilhar. Assim, como atividade, baseado no que foi estudado até então, o professor fará uma roda de conversa com os alunos, e ao final, como avaliação, os alunos deverão entregar um trabalho, em grupo, em uma folha de caderno, respondendo às seguintes perguntas (que serão discutidas previamente em conjunto):

1- Quais são as principais diferenças que você percebeu entre os personagens “Mecânico Clássico” e “Mecânico Quântico” na história de Alice?

2- Entre a Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica, existe alguma que seja “melhor” do que a outra?

3- Qual é a importância de cada uma? E suas aplicações?

4- A mecânica clássica está “obsoleta”? Justifique.

5- Cite o nome de pelo menos 1 cientista que trouxe contribuições importantes para a Mecânica Clássica e para a Mecânica Quântica, e resuma qual foi essa contribuição.

Interferência didática: O professor poderia aproveitar o capítulo para comentar de forma geral sobre algumas diferenças entre a Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica. A mecânica clássica é focada nas leis de Newton e no eletromagnetismo clássico de Maxwell, e

seus estudos não estão “obsoletos”, apenas estão focados em estados macroscópicos da matéria. É importante que o aluno tenha essa consciência, e saiba definir minimamente algumas aplicações da mecânica clássica em nosso cotidiano, pois isso faz parte da formação como cidadão crítico e atuante na sociedade. Algumas aplicações muito utilizadas são: A força aplicada para movimentação de um objeto, a trajetória de um veículo em determinado percurso, forças centrípetas em trajetórias curva, o trabalho realizado com alavancas, a inclinação que realizamos para a execução de um exercício físico na academia, além de diversas aplicações na engenharia, como geradores de energia elétrica, aparelhos de comunicação, GPS, etc.;

Por outro lado, a física de partículas microscópicas não pode ser explicada por esta teoria. Assim, foi desenvolvida a mecânica quântica. Na teoria clássica, a luz era tratada como uma onda eletromagnética, enquanto na teoria quântica, a luz é formada por pacotes de energia, e apresenta comportamento dual (onda e partícula, simultaneamente).

De acordo com Sakurai, 2013: “(...) no mundo quântico, as leis da Física não são mais determinísticas, não são capazes de dizer onde alguma partícula se encontra, ou qual a sua velocidade; não tem um lugar exato no tempo ou espaço, daí as medidas obtidas de sistemas quânticos são expressas em probabilidades.”.

Dessa forma, conforme já debatido em outros encontros com os alunos, o professor pode relembrar com a turma sobre o princípio de incerteza, apontado por Heisenberg. Um outro ponto interessante de ser trazido à tona pelo professor é a hipótese de Max Planck, sobre a energia ser quantizada, e não contínua, como era defendido pela mecânica clássica.

De forma complementar, o professor pode mencionar com os alunos sobre os trabalhos de Costa (2021), que citam que: “As previsões da mecânica quântica são diferentes das previsões da mecânica clássica. Começando pelo fato de que na equação de Schrödinger, que “descreve” os eventos quânticos, aparece um fator imaginário “ $i = \sqrt{-1}$ ”, que faz com que a função de onda, que descreve sistemas físicos reais, seja complexa. (...)”. O trabalho de Schrödinger será melhor descrito no próximo encontro, porém o professor pode apresentar essa introdução à classe.

Em vista de todos os conteúdos expostos, o professor pode reforçar, no debate com a turma, sobre a importância do entendimento da história da ciência. No que tange à mecânica clássica e à mecânica quântica, não se pode afirmar simplesmente que uma seria “melhor” do que a outra. O que pode ser avaliado é a aplicabilidade de cada teoria.

A evolução da ciência acontece através de muitos debates, questionamentos sobre novas teorias, dados e artigos que comprovam essas teorias com experimentos, e até mesmo novos experimentos que refutam os anteriores. Latour (2000), ressalta que: “Mesmo quando se volta

para uma ideia que já existia antes, não se volta do mesmo modo com que ela havia sido formulada anteriormente”. Assim, a ciência não deve ser tratada como um grande dogma, mas sim como uma possibilidade de estudo, novas descobertas e oportunidades de aprendizado contínuo.

10.4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: QUARTO ENCONTRO

As estratégias metodológicas para o quarto encontro estão descritas no quadro abaixo, envolvendo aulas na modalidade presencial, realizando associações da química quântica com a ludicidade.

Quadro 4- Detalhamento das atividades do quarto encontro

ATIVIDADE	TEMPO (MIN)
Recepção dos estudantes e Leitura do Anexo 6	5
Distribuição do Anexo 7 para a turma, e explicação do professor	10
Atividade avaliativa sobre o experimento mental de Schrödinger	10
Leitura do Anexo 8	5
Exposição do conteúdo do Anexo 9	45
Atividade avaliativa – Anexo 10	15
Gabarito da atividade avaliativa e dúvidas dos alunos	10

Fonte: Autoria própria (2023).

10.4.1 Paradoxo do Gato de Schrödinger

- **Objetivo:** Introduzir a ideia de colapso de função de onda através do experimento mental do gato de Schrödinger, reforçando o conceito da natureza probabilística da mecânica quântica.
- **Abordagem do quarto encontro:** Os alunos irão realizar a leitura do Anexo 6, que é constituído da continuação de trechos do capítulo “O Instituto de Mecânica”, da obra literária de Robert Gilmore (1998). Após, o professor irá imprimir o Anexo 7 para entregar para a turma. Em seguida, o professor irá escrever no quadro as palavras: “*Gedanken*”, “O papel do observador” e “gato de Schrödinger”.

Interferência didática: Este fragmento do terceiro capítulo de Alice no País do Quantum introduz o leitor ao termo “*Gedanken*”, que é uma palavra de origem alemã cujo significado é “pensamentos”. Tratando-se do universo científico, a expressão é amplamente utilizada para se referir a “experimentos idealizados”. Kiouranis *et al.*, 2010, elucida que: “O termo *Gedanken Experiment* foi utilizado inicialmente por Hans Ørsted, em 1812, para designar experimentos que deveriam ser conduzidos similarmente aos experimentos realizados no mundo físico.”

Assim, é interessante que o professor traga essa noção de conceito científico para os estudantes, para que o fragmento do livro acima mencionado não aparente ser puramente fictício, ou apenas uma invenção do autor. Um exemplo de “*Gedanken*” muito conhecido na química quântica é o experimento do gato de Schrödinger, que será discutido mais à frente, ainda neste encontro.

Em relação à discussão sobre distribuição de probabilidades, citada ao longo do trecho que trata da experiência de Alice com o personagem do “Mecânico Quântico”, o professor poderia aproveitar para reforçar o conceito da **natureza probabilística**, já discutida em encontros anteriores, quando se trata da mecânica quântica.

Além disso, foi mencionado sobre o papel do observador nas medições. Uma leitura complementar para o professor, e que ele poderia ler para os alunos, seria um trecho de Martins (2019), que menciona que: “Ao realizar uma medida, o observador interage com o sistema e o altera, rompendo a superposição dos dois estados, fazendo com o que o sistema seja observado em um dos dois estados possíveis”. A autora resume o fenômeno conhecido como colapso da função de onda, e por mais que pareça um conceito estranho, quando refletimos sobre o que o aluno de ensino médio está acostumado, é preciso reforçar com os estudantes que a superposição não é baseada na lógica da mecânica clássica. Assim, não seria possível visualizarmos diretamente uma superposição quântica, pois, assim que uma medição é realizada, ocorre um colapso da função de onda. Entretanto, o conceito de superposição não é “aleatório”, pois representa uma probabilidade matemática, e esta sim, pode ser mensurada (os cálculos formais do princípio da superposição não serão abordados, pois envolvem combinações lineares, vetores, e alguns conceitos que não cabem ao Ensino Médio, porém é importante que o aluno compreenda o conceito). Em uma situação de testes, em que um determinado experimento fosse repetido várias vezes, seria verificado que os resultados das probabilidades previstas pela mecânica quântica estão corretos.

Interferência didática: Neste ponto, o docente poderia destacar o último parágrafo do Anexo 7, em que Alice é apresentada ao gato de Schrödinger, e apresentar à turma o Anexo 8, com uma tirinha sobre o tema. Assim, o professor poderia explicar de forma simplificada sobre o experimento mental do físico austríaco Erwin Schrödinger, cuja proposta consistia, inicialmente, em imaginar um gato dentro de uma caixa fechada. No interior da caixa, haveria uma substância radioativa, um frasco com veneno, e um mecanismo que seria capaz de quebrar o frasco.

Entretanto, para que este recipiente com veneno seja quebrado, seria necessário que a substância radioativa emitisse uma partícula (ou seja, sofresse decaimento), em um determinado período de tempo, e existe uma **igual** probabilidade desse evento ocorrer ou não. A consequência do veneno ser liberado seria a morte do gato.

De acordo com os princípios da mecânica quântica, antes da caixa ser aberta e o sistema ser de fato observado, existe uma superposição de estados entre a substância radioativa e o gato. Em outras palavras, de acordo com as regras quânticas, a substância radioativa poderia ter decaído ou não, e o gato estaria simultaneamente em uma “superposição” entre “vida” e “morte”.

A única chance de haver um colapso da superposição de estados para um estado definido seria a realização de uma medição, ou seja, que o cientista abrisse a caixa para verificar o estado do gato. No momento em que o observador realizasse a abertura da caixa, o gato não poderia existir mais em vários estados simultaneamente (ou estaria “vivo” ou estaria “morto”). Este célebre paradoxo é uma ferramenta interessante de ser abordada em sala de aula, por proporcionar inúmeras reflexões e discussões entre os alunos.

Como atividade avaliativa para os alunos realizarem, após a discussão em sala de aula, o professor pode solicitar:

• **Faça um desenho que represente o experimento mental do “gato de Schrödinger”, e explique com suas palavras:**

a) **Em que consiste o experimento;**

b) **Como o experimento se relaciona com conceitos quânticos aprendidos e com a interpretação da natureza probabilística da química quântica.**

10.4.2 Férmions, Bósons e Princípio de Pauli

- **Objetivo:** É esperado que os discentes possam compreender sobre a existência de duas classes fundamentais de partículas subatômicas: férmions e bósons, incluindo algumas de suas particularidades, e sua associação com o Princípio de Pauli.
- **Abordagem do quarto encontro:** Na sequência do quarto encontro, o professor irá imprimir e entregar aos alunos o Anexo 9, que consiste em trechos do Capítulo “Academia Fermi-Bose”, de Alice no País do Quantum. Para que a turma fique atenta à leitura, o professor pode escolher aleatoriamente um aluno para realizar a leitura em voz alta de um parágrafo por vez. Posteriormente, para a discussão dos temas abordados neste trecho da obra de Gilmore (1998), o professor irá projetar para a turma os slides do Apêndice 4.

Interferência didática: Nesta seção, serão descritos em mais detalhes as formas como o professor poderá conduzir a aula, com base nos slides do anexo mencionado.

De maneira introdutória, o professor poderia destacar para os alunos que o nome do capítulo do livro que está sendo estudado (Academia Fermi-Bose), se trata de uma homenagem a dois renomados físicos, Enrico Fermi e Satyendra Nath Bose, cujos trabalhos trouxeram grandes avanços no desenvolvimento das estatísticas quânticas.

Adicionalmente, este capítulo da obra de Gilmore (1998), é relevante para que o professor apresente aos alunos a discussão sobre partículas elementares, lembrando alguns conteúdos sobre a estrutura do átomo, e explicando outros tópicos novos. Assim, o professor poderia partir do subsunção de que os alunos, no ensino médio, já possuem o conhecimento de que os átomos constituem todos os elementos. Com base neste princípio, o docente pode fomentar a discussão (presente no *slide* do Apêndice 4) de: **“Será que existe alguma estrutura ainda mais fundamental do que o átomo?”**, de forma a instigar os alunos a participarem da aula, lembrando conceitos e definições de que o átomo é constituído de prótons, elétrons e nêutrons.

Considerando o universo das partículas, existem ainda outras subpartículas elementares que compõem os prótons, elétrons e nêutrons, que são os **férmions e bósons**, mencionados no trecho da história de Alice destacado anteriormente. Portanto, esta seria uma oportunidade do professor explicar sobre a existência dessas subpartículas, mencionando que são muito instáveis, razão pela qual, no trecho do livro destacado acima, o personagem professor utiliza a alusão de que, para os “alunos-bósons”, é difícil determinar a quantidade de estudantes que permanecem em sala de aula até o final, pois existe grande variação.

De acordo com Resnick e Eisberg: “Nas estatísticas quânticas, as partículas descritas por autofunções antissimétricas são denominadas férmions e as partículas descritas por autofunções simétricas são chamadas de bósons.”. Esta definição está presente no livro “Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, 1ª edição (julho de 1979)”, porém, é totalmente compreensível que o aluno do ensino médio não saiba o que é uma “autofunção”, e também não saiba sobre conceitos de simetria. Logo, se o professor explicasse unicamente com base na definição deste livro, haveria uma grande probabilidade do aluno não entender.

Entretanto, na obra de Gilmore (1998), durante a aula de “Fatos de simetria para iniciantes”, o personagem professor comenta sobre funções de onda de maneira geral, e traz exemplos de inversão ou não de amplitudes quando as partículas “trocam de lugar”.

Ou seja, é a mesma explicação sobre férmions e bósons, porém com uma linguagem que se aproxima mais do ensino médio.

A continuidade da sequência didática (de acordo com o Anexo 9) será marcada pelo destaque ao seguinte trecho do capítulo recentemente trabalhado: “Férmions são individualistas. Dois deles nunca farão exatamente a mesma coisa, enquanto os bósons são sociáveis. Adoram andar em gangues, onde cada um se comporta da mesmíssima maneira que os outros.”

Neste ponto, o professor pode elucidar mais características de férmions e bósons, para melhor compreensão dos alunos e ajuda no entendimento da comparação do autor do livro de Alice com um comportamento “individualista”. Assim, o docente poderia deixar claro que férmions possuem *spins* fracionários (como, por exemplo, o elétron, que apresenta número quântico de *spin* igual a meio), enquanto bósons apresentam *spins* com valores inteiros (por exemplo, o *fóton*, que apresenta *spin* igual a 1).

Entretanto, esta explicação ainda não responde à pergunta sobre o “comportamento individualista”, pois esta característica é uma consequência do Princípio da exclusão de Pauli, citada em sequência no trecho destacado. Segundo a definição de Shriver e Atkins (2003): “Somente dois elétrons podem ocupar um único orbital e, se dois ocupam um único orbital, então seus *spins* devem estar emparelhados. ‘Emparelhado’ significa que o *spin* de um elétron deve ser \uparrow e o do outro \downarrow ; o par é simbolizado por $\uparrow\downarrow$.” O professor pode utilizar o Anexo 9 para exemplificar melhor sobre o Princípio supracitado.

Assim, retomando as características de férmions e bósons, o professor pode orientar que apenas os férmions obedecem ao princípio de exclusão de Pauli, enquanto os bósons apresentam comportamento distinto, ou seja, não há restrição quanto ao número de espécies em um mesmo nível de energia.

Portanto, quando Gilmore (1998), cita “comportamento individualista” dos férmions, em que “dois deles nunca farão o mesmo, enquanto os bósons são sociáveis”, o autor está simbolizando de forma lúdica a relação entre essas subpartículas e a associação com o princípio da exclusão de Pauli. Os bósons são “sociáveis”, ao poderem ser acumulados em um determinado nível de energia, enquanto o mesmo não ocorre com os férmions, pois estes obedecem a uma hierarquia nos níveis de energia. A Tabela 2 abaixo pode ser utilizada em sala de aula para resumir o conteúdo abordado:

Tabela 2 – Características básicas de Bósons e Férmions

	Bósons	Férmions
Características básicas	Partículas idênticas de spin zero ou inteiro Ex: Fótons (spin =1) Ex: Partícula alfa (spin = 0)	Possuem spins fracionários . Ex: elétrons, prótons, nêutrons, pósitrons; (todos com spin = 1/2)
Obedece ao Princípio de Exclusão de Pauli?	Não	Sim
Autofunções das partículas	Simétricas numa troca de índices das partículas	Anti-simétricas numa troca dos índices das partículas

Fonte: Conteúdo adaptado de Resnick e Eisberg (1979).

Finalmente, como atividade avaliativa para os alunos, o professor irá imprimir e entregar para a turma as palavras-chave destacadas no Anexo 10. Como preparação prévia para esta atividade, o professor deverá imprimir o Anexo 10, recortar cada quadro de palavras, e distribuir para os alunos, de forma que estejam embaralhadas, e que cada aluno receba o grupo de 15 quadros de palavras.

Para a execução do exercício, cada aluno deverá montar um mapa mental, relacionando corretamente as palavras aos seus grupos correspondentes (baseando-se na teoria quântica), e ligando-os com setas, que o aluno irá traçar no caderno, para fazer as conexões entre os conceitos.

O professor poderá orientar os alunos a, quando concluírem a atividade, tirarem uma foto do mapa mental, para que possam reutilizar os quadros de palavras para estudar no futuro. Uma outra possibilidade é o aluno utilizar cola para fixar o trabalho no caderno, caso prefira.

Ao final da atividade, o professor irá exibir o gabarito para os alunos, através do Anexo 11, e tirar possíveis dúvidas em relação ao conteúdo e à sua associação com os diálogos trabalhados na história de Alice.

10.5 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: QUINTO ENCONTRO

Para o fechamento da sequência didática, foi elaborada uma aula (Quadro 5) com foco no desenvolvimento da consciência crítica para a formação do cidadão atuante em sociedade.

Quadro 5- Detalhamento das atividades do quinto encontro

ATIVIDADE	TEMPO (MIN)
Recepção dos estudantes e roda de conversa sobre as pseudociências	20
Exposição do conteúdo do Apêndice 5	45
Atividade lúdica com os alunos	20
Considerações finais de aula e indicação de fontes de estudo/consulta	15

Fonte: Autoria própria (2023).

- **Objetivo:** Despertar consciência crítica nos alunos em relação às pseudociências, para evitar a disseminação de informações falsas, e consequentemente garantir decisões baseadas em evidências robustas e confiáveis.
- **Abordagem do quinto encontro:** No último encontro, o professor irá promover uma roda de conversa com os alunos, abordando o tema das pseudociências e a distorção do conhecimento científico. Inicialmente, a proposta é a de utilização de organizadores prévios através de perguntas, relacionando o conteúdo retratado nos encontros anteriores, em relação à Química Quântica. Logo, as perguntas abaixo poderiam ser feitas, com o intuito de avaliar se os alunos já tiveram contato com apropriações indevidas do termo “Quântica”:

1- Você já viu algum conteúdo na internet que falasse sobre “cura quântica”?

2- Você já leu algo sobre “medicina quântica” ou “terapia quântica”?

3- Você já se deparou com propagandas sobre “coaching quântico” em alguma rede social ou na televisão?

4- Você já passou por alguma publicação em rede social que estivesse associando a “física quântica” ou “mecânica quântica” com a “Lei da atração”?

5- O que você pensa sobre esse tema? Será que faz sentido, do ponto de vista científico?

A partir dessas perguntas, o professor poderá projetar para a turma os slides do Apêndice 5, que pontuam sobre a descontextualização do termo “quântica”, e trazem exemplos diversos de anúncios de cursos, livros e postagens em redes sociais, distorcendo a ciência e apontando o misticismo, a fé e os sentimentos como verdadeiros “produtos quânticos” rentáveis. Nos slides do anexo supracitado, todas as propagandas foram exibidas com a supressão dos nomes dos instrutores dos cursos, dos autores de livros e dos responsáveis por redes sociais, com o intuito de não contribuir para a visibilidade de acessos e consumo deste tipo de material.

Interferência didática: O professor pode aprofundar a discussão com a turma, baseado em todos os conhecimentos que foram compartilhados desde o primeiro encontro da sequência didática, lembrando que a mecânica quântica descreve fenômenos em escalas de partículas **subatômicas**, e por isso, é incoerente associar este campo da ciência com a realidade **macroscópica** da matéria.

Com base nos slides do Apêndice 5, o professor poderá ressaltar alguns perigos da pseudociência para a sociedade, uma vez que esse sistema propaga explicações simplistas e generalistas para processos complexos, ignorando o método científico formal e disseminando de maneira alarmante a desinformação. Em uma época em que postagens na internet exercem grande influência nos hábitos de uma geração, existe a probabilidade de que determinados grupos sociais sejam explorados por “*coaches* quânticos”, por exemplo, que prometem uma milagrosa “cura quântica”, e conseqüentemente, podem levar à substituição de tratamentos médicos conceituados, causando prejuízos à saúde dos pacientes.

Logo, o professor deve alertar aos alunos sobre esse tipo de “conhecimento” disfarçado de ciência. É fundamental ser esclarecido para os discentes que os denominados “métodos da pseudociência” não são replicáveis, e que, diferente do método científico, a pseudociência não fundamenta suas conclusões em fatos, mas, ao contrário, parte de uma conclusão pré-concebida para buscar, de maneira seletiva e enviesada, por fatos que a respaldem.

Adicionalmente, a proposta da aula engloba um *slide* com uma imagem mencionando uma “escala de frequência vibracional”, gerada por um *coach* quântico, pressupondo que seria possível mensurar em *Hertz* a frequência de sentimentos, como vergonha, medo, amor e alegria, entre outros. Contudo, os sentimentos não são fenômenos físicos que podem ser quantificados em termos de frequência. No campo da quântica, existe uma equação que relaciona energia com frequência, desenvolvida pelo físico Max Planck (Fleming, 2000):

$E = h \nu$; Sendo:

E = energia do fóton absorvido (em Joules)

ν = frequência do fóton (em Hertz)

h = constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s)

Essa equação está diretamente relacionada com a quantização da energia, e é aplicada para descrever a energia associada a partículas **subatômicas**. Em contrapartida, os sentimentos são experiências subjetivas, e estão associados a sinais elétricos de reações que ocorrem no cérebro humano, e assim, operam em escala **macroscópica**, o que significa que estão alinhados aos princípios da física newtoniana.

Em relação a sentimentos, o professor pode trazer o exemplo de que uma “frequência vibracional” poderia ser interpretada como uma metáfora poética, dependendo do contexto, porém não se configura em uma abordagem científica de fato. Existem diversas variáveis que influenciam em emoções, como contexto social em que um indivíduo está inserido, experiências pessoais e outros fatores que estudados pela psicologia; e não existe nenhum respaldo científico de realização de experimentos, possibilidade de coleta de dados confiáveis e conclusões baseadas em evidências concretas em relação a uma possibilidade de quantificação de emoções. Uma característica marcante de atividades que utilizam indevidamente o termo “quântica” é a responsabilidade de resultados recaindo sobre a subjetividade do praticante. Ou seja, como não há uma forma de verificar a efetividade da reprodução da pseudociência, caso um indivíduo submetido a esse tipo de exercício não alcance êxito em seus desejos iniciais, o fracasso da prática é atribuído unicamente às próprias crenças e ações mal executadas do cliente que adquiriu o “produto quântico”.

O professor pode debater esse tema com a turma, a partir do slide que ironicamente representa um “*coach* quântico” no Apêndice 5. Para construção da última atividade com a turma, será realizada uma dinâmica lúdica para demonstrar que o “charlatanismo quântico” pode ser construído via frases vagas, com a utilização de marcadores que chamam a atenção do leitor, porém que, na prática, apresentam carência de relevância significativa (ou seja, trata-se de discursos vagos e superficiais). Para isso, serão utilizados os Apêndices 6 e 7, e a atividade será realizada da seguinte forma: O professor deverá imprimir os anexos, e recortar cada quadro de palavras (marcadores), embaralhando-os, dobrando-os e inserindo-os em 2 recipientes plásticos, de forma que no primeiro recipiente existam apenas marcadores do Apêndice 6, e no segundo, apenas marcadores do Apêndice 7.

Em seguida, o professor irá solicitar um aluno voluntário para auxílio na tarefa. Este aluno deverá sortear um marcador do recipiente 1, e realizar a leitura do mesmo em voz alta para a turma, e um segundo aluno irá sortear uma palavra do recipiente 2, também revelando o conteúdo para a turma. Dessa forma, o professor poderá criar diversas sentenças cujo título está aparentemente relacionado à quântica, porém sem nenhum significado científico, demonstrando como o emprego de uma terminologia científica pode ser utilizada para a criação de uma suposta aparência de autenticidade e validação, mesmo que o conteúdo em si não seja respaldado por métodos científicos sólidos. Posteriormente, para incentivar o letramento científico da turma, o professor poderá deixar indicações, no quadro, de revistas *online* e periódicos científicos confiáveis para consultas futuras dos estudantes, como, por exemplo “Ciência Hoje”, “*Scientific American*”, e “Academia Brasileira de Ciências”.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto gerado por este trabalho propõe uma sequência didática destinada a turmas de 1º ano do Ensino Médio. Embora ainda não tenha sido implementada em sala de aula até a conclusão deste instrumento de avaliação final, a intenção é fornecer um plano metodológico passível de replicação pelo corpo docente, visando inspirar uma prática que estruture de maneira mais eficaz a experiência de aprendizagem.

Do ponto de vista dos estudantes, espera-se uma progressão gradual no conhecimento. As atividades dos encontros foram cuidadosamente elaboradas para que o conteúdo de Química Quântica seja compreendido de forma lógica e progressiva, com a utilização de abordagens lúdicas para facilitar a assimilação. Diversas estratégias foram adotadas, incluindo leitura de trechos da obra de Gilmore, exibição de vídeos, rodas de conversa mescladas com aulas expositivas e apresentação de expressões artísticas em tirinhas, entre outros recursos.

O objetivo é que os estudantes se familiarizem cada vez mais com os conceitos da mecânica quântica e participem ativamente das atividades propostas, desenvolvendo habilidades como pensamento crítico, questionamento e trabalho em equipe. Além disso, ao término da sequência didática, baseando-se em toda a contextualização realizada, espera-se que os alunos apresentem uma conexão mais sólida com os descritores centrais da Quântica. A disciplina não deve ser vista como um obstáculo, mas sim como uma ponte que conduz a um conhecimento mais amplo (Barbosa *et al.*, 2023).

Na perspectiva do corpo docente, é crucial disseminar iniciativas relacionadas à aprendizagem significativa para contribuir com a dimensão pública da ciência. Como resultado da elaboração deste trabalho, submeteu-se um artigo para o IV Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (CoBICET), na área temática de Ensino em Ciência e Tecnologia⁸. O evento ocorreu online entre 27 de agosto e 01 de setembro de 2023, constituindo o material base para a sequência didática descrita neste trabalho de conclusão de curso. A divulgação e a submissão de artigos em anais de eventos são essenciais para ampliar o alcance do conhecimento científico, tanto dentro quanto fora da comunidade acadêmica (Anexo 12).

⁸ BARBOSA, Ana Beatriz de Souza et al. Abordagem Lúdica De Conteúdos De Química Quântica No Ensino Médio: Desmistificando Os Conceitos.. *In*: Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. **Anais...** Diamantina (MG) Online, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/cobicet2023/665805-abordagem-ludica-de-conteudos-de-quimica-quantica-no-ensino-medio--desmistificando-os-conceitos>. acesso em: 03/12/2023.

Este trabalho evidenciou que, mesmo não utilizando a formalização matemática de Cálculo Diferencial e Integral, foi possível discutir sobre conceitos como o princípio da incerteza de Heisenberg, dualidade, distribuições de probabilidade, entre outros que compõem o universo quântico. Mesmo qualitativamente, esses conteúdos podem ser assimilados com uma aprendizagem estimuladora.

Torna-se essencial que o aluno se aproprie dos conhecimentos científicos para a sua formação como cidadão crítico e atuante na sociedade. Os avanços da pesquisa quântica em relação à tecnologia são incontestáveis, e este é um tema cada vez mais presente no cotidiano dos estudantes, como, por exemplo, no desenvolvimento da computação quântica e da nanotecnologia. Em face do exposto, a educação científica na escola precisa auxiliar o jovem a construir uma base sólida em relação a fenômenos químicos, para que ele consiga não apenas se posicionar frente a situações do cotidiano, com uma visão holística, mas também identificar inconsistências em pseudociências, como teorias de “cura quântica”, que podem até mesmo gerar consequências graves em termos de saúde pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA IBGE. **PNAD Educação 2019: Mais da metade das pessoas de 25 anos ou mais não completaram o ensino médio**. 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28285-pnad-educacao-2019-mais-da-metade-das-pessoas-de-25-anos-ou-mais-nao-completaram-o-ensino-medio>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- AUSUBEL, D. P. A cognitive structure view of word and concept meaning. **Readings in the Psychology of Cognition**, v. 1, p. 58-75, 1965.
- ALMEIDA, A. P. de. **Sequência Didática para o ensino de Quântica**. Universidade Federal do Tocantins. 2018. Disponível em: https://docs.uft.edu.br/share/s/ja_q9jKYSEGIURIHlinQOg. Acesso em: 20 nov. 2023.
- ANDRADE, T. G. de. **Imaginação na adolescência**: refletindo sobre a produção em pesquisas e suas contribuições à compreensão do desenvolvimento. Campinas: PUC-Campinas, 2022. Disponível em: https://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/16532/ccv_ppgpsico_me_Thiago_GA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 20 nov. 2023.
- ANDRIOLA, W. B.; CAVALCANTE, Luanna Rodrigues. Avaliação do raciocínio abstrato em estudantes do ensino médio. **Estudos de Psicologia**, Natal, p. 23-37, v. 4, n. 1, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/epsic/v4n1/a03v04n1.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.
- AQUINO JUNIOR, J. L. M. **Modelo atômico quântico**: uma alternativa para introdução no ensino médio. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Cuiabá, 2013. Disponível em: <https://ri.ufmt.br/handle/1/1867?mode=full>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- AYALA, F. J. Introductory essay: the case for scientific literacy. **World Science Report**, Paris: UNESCO, 1996. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0010/001028/102819eo.pdf>. Acesso em 28 nov. 2023.
- BAILAS, G. **VozesTech 04 –Volt Ampere Podcast**. Hexatronic.com.br. [site de internet], 2019. Disponível em: <https://hexatronic.com.br/2019/07/15/vozes-tech-04-dra-gabriela-bailas/>. Acesso em: 21 nov. 2023.
- BAILAS, G.; VIEIRA, G. Apropriação e Descontextualização da Mecânica Quântica na Era da Pós-Verdade. **Bol Inst Saúde**, v. 21, n. 1, pp. 111-120, 2020. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/bis/article/view/36734/34972>. Acesso em 05 nov. 2023.
- BARBOSA, Ana Beatriz de Souza; MARTINHON, Priscila Tamiasso; SOUSA, Célia; SIMÕES, Grazieli. Abordagem Lúdica de conteúdos de Química Quântica no Ensino Médio: Desmistificando Os Conceitos.. *In: Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Anais... Diamantina (MG) Online*, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/cobicet2023/665805-abordagem-ludica-de-conteudos-de-quimica-quantica-no-ensino-medio--desmistificando-os-conceitos>. Acesso em: 03/12/2023.

BARCELOS, S. F. **Uma abordagem histórico-conceitual da mecânica quântica aplicada na disciplina de química para o ensino médio.** Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/188967>. Acesso em: 20 nov. 2023.

BRANCO, E. P.; BATISTA, A.; ZANATTA, S. C.; NAGASHIMA, L. A. O letramento científico na BNCC: possíveis desafios para sua prática. **Revista contemporânea de educação**, v. 15, n. 33, p. 196–215, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rce/article/view/32073>. Acesso em: 20 nov. 2023.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental: introdução aos parâmetros curriculares nacionais.** Brasília: MEC/SEF, 1999.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Censo da educação básica 2020: resumo técnico [recurso eletrônico]** – Brasília: Inep, 2021. Disponível em: https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_escolar_2020.pdf. Acesso em: 20 nov. 2023.

CAPRA, F. **O Tao da Física; uma análise dos paralelos entre a física moderna e o misticismo oriental.** São Paulo: Cultrix, 1975.

CARVALHO NETO, R. A. de. **Aspecto preditivo da Mecânica Clássica e da Mecânica Quântica: uma proposta teórico-metodológica para alunos do Ensino Médio.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Física, Salvador, 2006.

CASSINELLO, A.; GÓMEZ, J. L. S. **O Mistério Quântico: uma expedição às fronteiras da física.** Editora Planeta do Brasil, 2017.

CHANG, R; GOLDSBY, K. **Química.** Editora AMGH; 11ª edição. Capítulo 7: Teoria quântica e estrutura eletrônica dos átomos, 2013. p. 295.

CHIARELLI, R. A. **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: É possível abordar conceitos de Mecânica Quântica?** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/10023>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CHI, M. T. H.; GLASER, R. A capacidade para a solução de problemas. *In*: STERNBERG, R. J. **As capacidades intelectuais humanas: uma abordagem em processamento de informações.** Porto Alegre: Artes Médicas, 1992, p. 250-275.

COSTA, S. D. F. **Física e Realidade.** Escola de Ciências Exatas e da Computação. Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO). 2021. Disponível em: https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1904/1/TCC_F%C3%ADsica%20e%20Realidade_Solu%C3%A1%20Daniele%20Ferreira%20da%20Costa%20_21junho2021.pdf. Acesso em 26 out. 2023.

CRUZ, F. F. de S. Teoria Quântica: Estudos Históricos e implicações culturais: mecânica Quântica e a cultura em dois momentos. *In*: FREIRE JÚNIOR, O.; PESSOA JÚNIOR, O.; BROMBERG J. L. (Org.). **Teoria Quântica: Estudos Históricos e Implicações Sociais**. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2011.

CUNHA, R. B. Alfabetização científica ou letramento científico?: interesses envolvidos nas interpretações da noção de *scientific literacy*. **Revista Brasileira de Educação**. v. 22, n. 68 jan.-mar. 2017.

FERREIRA; M.; ROCHA, P. P. O ENEM como política de avaliação: efeitos na educação básica e na produção de sujeitos. **Revista de Educação, Ciência e Cultura**. Canoas, v. 25, n. 1, 2020.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **The Feynman lectures on Physics**. 3. ed., v. 1. São Paulo: Bookman, 2008.

FLEMING, H., **Max Planck e a ideia do quantum de energia, notas de aula**, Inst. de Física (USP), 2000.

FLORENCIO, A. **Quarks, Férmions, Bósons, Mésons, etc.** - uma Grande Família de subpartículas. Universidade da Química. 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=w7x59Wi6Kbg>. Acesso em: 20 nov. 2023.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. Editora Paz e Terra, São Paulo, 1996. Disponível em: https://09747060994282350225.googlegroups.com/attach/e6be2e96f079525d/pedagogia_da_autonomia_-_paulofreire.pdf. Acesso em: 20 nov. 2023.

GALLARDO, B. C.; KOBAYASHI, E. Proficiência em língua inglesa e formação de Professores: uma discussão sobre o olhar dos alunos de Letras. **Intercâmbio**, v. 41, 2019. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/intercambio/article/view/42429>. Acesso em: 20 nov. 2023.

GILMORE, R. **Alice no País do Quantum: a Física Quântica ao alcance de todos**. Editora Zahar, Rio de Janeiro, 1998.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. Uma proposta para o ensino de mecânica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 4, p. 444–457, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/DLN9LCDyPZyGDxgzRgmKWYQ/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

GOMES, G. G.; PIETROCOLA, M. O experimento de Stern-Gerlach e o spin do elétron: um exemplo de quasi-história. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/g7F4wDfZYtBSGjB66bg9B8L/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 nov. 2023.

HOULLAUER, E. **Química Quântica**. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2007.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**. 2019. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101736_informativo.pdf. Acesso em 09 out. 2023.

KRAUSE, D. **O gato de Schrödinger não está vivo e morto antes da medição**: sobre a interpretação dos resultados quânticos. 2013. Disponível em: http://lna.unb.br/lna_n01_08_dkrause.pdf. Acesso em 18 nov. 2023.

LEITÃO, D. **O que é a Dualidade Onda-Partícula?** Canal Portal da Ciência. Youtube, 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2vRyLAPxyEs&t=199s>. Acesso em 18 nov. 2023.

LEVI, A. F. J. *Applied Quantum Mechanics*. **Cambridge University Press**, 2006. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/books/applied-quantum-mechanics/0F4AB601E299940E8A98ACAA15AD431F>. Acesso em: 20 nov. 2023.

LEWIS, CARROL. **Alice no País das Maravilhas** - Mojo. 1951. Disponível em: <https://mojo.org.br/ebook/alice-no-pais-das-maravilhas/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

LOOS, P. **Computadores Quânticos Explicados**. Ciência Todo Dia. Youtube, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=92eSz2X0AIU>. Acesso em: 20 nov. 2023.

LUCKESI, C. C. Educação, ludicidade e prevenção das neuroses futuras: uma proposta pedagógica a partir da Biossíntese”, *In: Educação e Ludicidade*, Coletânea Ludopedagogia Ensaios 01, GEPEL, Programa de Pós-Graduação em Educação, FAGED/UFBA, 2000.

MAHAN B. M.; MYERS, R. J. **Química** – Um curso universitário. Tradução ARAKI, k. *et al.*, 4ª edição, Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1995.

MARTINS, S. R. **Mecânica Quântica**: Uma abordagem para o ensino médio - Um guia para desvendar a física das partículas subatômicas. Universidade de Brasília (UNB), 2019. Disponível em: http://mnpef.unb.br/images/dissertacoes/docs_dissertacoes_Sonia_Rodrigues_Martins_-_produto.pdf . Acesso em: 20 nov. 2023.

MELLO, M. M. O Lúdico e o Processo de Humanização. *In: MARCELLINO, N. C. Lúdico, Educação e Educação Física*. Ijuí: Editora Unijuí, 2003.

MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R.; OLIVEIRA, M. M. de. Analogias sobre ligações químicas elaboradas por alunos do ensino médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 6, n. 1, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4051>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MITRE, L. **Como o Homem Formiga encolhe?** Canal Nerdologia. Youtube, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=m69dX6c8qy4>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**: a teoria e textos complementares. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/moreira-m-a-aprendizagem-significativa-a-teoria-e-textos-complementares-pdf-free.html>. Acesso em: 20 nov. 2023.

NASCIMENTO, A. M. S. *et al.* Ludo das ligações químicas: Um jogo didático no ensino de Química, Recife, v. 1, n.1 p. 137 - 157, Jan/Abr, 2018. **ResearchGate**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326194829_ludo_das_ligacoes_quimicas_um_jogo_didatico_no_ensino_de_quimica. Acesso em: 20 nov. 2023.

NEVES, L. A. S.; SOUZA, A. R. O livro paradidático no ensino de Física: Uma análise fabular, científica e metafórica da obra Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 1145-1160, dez. 2016.

OLIVEIRA, A. O spin que move o mundo. **Revista Ciência Hoje** [on line]. 2020. Disponível em: [https://cienciahoje.org.br/coluna/o-spin-que-move-o-mundo/#:~:text=O%20spin%20%C3%A9%20uma%20propriedade,down%E2%80%9D%20\(para%20baixo\)](https://cienciahoje.org.br/coluna/o-spin-que-move-o-mundo/#:~:text=O%20spin%20%C3%A9%20uma%20propriedade,down%E2%80%9D%20(para%20baixo)). Acesso em: 20 nov. 2023.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 20 nov. 2023.

PESSOA JR, O. A representação pictórica de entidades quânticas da Química. Química Nova na Escola. **Cadernos Temáticos**. n. 7, p. 25-33. Dez. 2007. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/a-representacao-pictorica-de-entidades-quanticas-em-quimica/4815301/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

REIS, Alessandro Antonio dos. **Bósons e Férmions**, Coggle.it. [s.d.]. Disponível em: <https://coggle.it/diagram/YPYCkYkDF8LS3L6/t/b%C3%B3sons-e-f%C3%A9rmions>. Acesso em: 3 dez. 2023.

RESNICK, R.; EISBERG, R. **Física quântica**: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Trad. Paulo Costa Ribeiro, Ênio Frota da Silveira, Marta Feijó Barroso. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

RESNICK, R.; EISBERG, R. **Física Quântica**: Átomos, Moléculas, Sólidos Partículas. Editora Campus, Rio de Janeiro, 1994.

ROLOFF, E. M. **A importância do lúdico em sala de aula**. [2010]. Disponível em: <https://ebooks.pucrs.br/edipucrs/anais/Xsemanadeletras/comunicacoes/Eleana-Margarete-Roloff.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

ROSENBLUM, B.; KUTTNER, F. **O enigma quântico**: o encontro da física com a consciência. Editora Zahar. 2017.

SAKURAI, J. J.; NAPOLITANO, J. **Mecânica quântica moderna**. Tradução técnica: Silvio Renato Dahmen. Porto Alegre: 2. ed. Bookman, 2013. 548 p. Disponível em: <https://azdoc.tips/preview/sakurai-napolitano-mecanica-quantica-moderna-2a-ed2013547-pp-5c1373cecbaf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SANTOS, K. B., MOREIRA, M. C. A.. A utilização das histórias do Homem Formiga como contexto para o Ensino de Física. **Olhar de professor**, Ponta Grossa, v. 25, p. 1-25, e-20055.037, 2022. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/olhardeprofessor/article/view/20055/209209216880>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SANCHES, M. B. **A física moderna e contemporânea no ensino médio: qual sua presença em sala de aula?** (Dissertação de Mestrado), Universidade Estadual de Maringá. 2006. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/4510>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. **Química Inorgânica**. Trad. GOMES *et al.*; Porto Alegre, Bookman, 2003.

STENGER, V. **The Unconscious Quantum: Metaphysics in modern physics and cosmology**. Editora Prometheus Books, Michigan, 1995. Disponível em: <https://philpapers.org/rec/stetuq>. Acesso em: 20 nov. 2023.

STENGER, V. **The Revolution That Didn't Happen**. 2014. Disponível em: https://www.huffpost.com/entry/the-revolution-that-didnt_b_5600647. Acesso em: 20 mar. 2023.

SOUZA, J. R., GUSMÃO, L. A. Transições eletrônicas do átomo de Hidrogênio descritas por sequências. Sociedade Brasileira de Matemática. **XXXI Colóquio Nacional de Matemática**. Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada. 2013.

SUSSUCHI, E. M.; SANTOS, D. O. **Aula sobre Orbitais atômicos e transições eletrônicas**. Anotações de aula. Professor da Universidade Federal do Sergipe (UFS). [2017]. Disponível em: <https://docplayer.com.br/50197505-Aula-3-orbitais-atomicos-e-distribuicao-eletronica-eliana-midori-sussuchi-danilo-oliveira-santos.html>. Acesso em: 20 nov. 2023.

TEGMARK, M.; WHEELER, J. A. 100 Years of quantum mysteries. **Scientific American**, , v. 284, n. 2, p. 68. Fev. 2001. Disponível em: <https://space.mit.edu/home/tegmark/PDF/quantum.pdf>. Acesso em 02 fev. 2023.

TEIXEIRA, C. E. J. **A ludicidade na escola**. São Paulo: ed. Loyola, 1995. Disponível em: <https://calafiori.edu.br/wp-content/uploads/2019/09/a-ludicidade-e-sua-importancia-na-educao-infantil.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

THENÓRIO, I. **Como fazer fogo colorido** (experimentos de química). Canal Manual do mundo. Youtube, 2012. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=OMe_X-oh2mc. Acesso em: 20 nov. 2023.

WIGNER, E. Remarks on the Mind-Body Question. *In: The Scientist Speculates*, I. J. Good, ed. pp. 284-302, Heinemann, London, Basic Books, New York, Capítulo 13. pp. 171-184. 1962. Disponível em:
https://www.informationphilosopher.com/solutions/scientists/wigner/Wigner_Remarks.pdf. Acesso em 29 out. 2023.

ZYLBERSZTAJN, A.; RICARDO, E. C. O Ensino das Ciências no Nível Médio: um estudo sobre as dificuldades na implementação dos Parâmetros Curriculares Nacionais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 351-370, 2015. Disponível em:
<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6610>. Acesso em: 20 nov. 2023.

ANEXOS

ANEXO 1 - TRECHOS DO CAPÍTULO 1: NO PAÍS DO QUANTUM

Alice estava entediada. Todos os seus amigos estavam de férias, visitando os parentes, e ela, por conta da chuva, ficou trancada em casa, vendo televisão. Naquela tarde, já tinha assistido ao quinto episódio de um curso de introdução ao Esperanto, a um programa de jardinagem e a uma propaganda política. Alice estava entediada de verdade.

Olhou para o livro que estava no chão, ao lado da cadeira. Era uma edição de *Alice no País das Maravilhas* que ela, mais cedo naquele dia, tinha deixado por ali ao acabar de ler. “Não sei porque não pode haver desenhos e programas mais interessantes na televisão”, divagava. “Queria ser como a outra Alice. Ela estava entediada e descobriu o caminho para uma terra cheia de seres interessantes e acontecimentos estranhos. Se houvesse algum jeito de encolher para flutuar através da tela da televisão, talvez eu pudesse encontrar várias coisas fascinantes”.

Frustrada, ela olhava para a tela, onde naquele momento uma imagem do primeiro-ministro dizia que, feitas todas as considerações, as coisas estavam bem melhores do que três anos antes, ainda que nem sempre parecessem assim. Ficou um pouco surpresa ao ver a imagem do rosto do primeiro-ministro se desmanchar devagarinho e se transformar numa névoa de pontinhos brilhantes que dançavam e que pareciam fluir para dentro da TV, como se estivessem chamando por ela. “Puxa”, disse Alice, “acho que eles querem que eu os siga!” Levantou-se de um salto e foi em direção à televisão, mas tropeçou no livro que tinha displicentemente largada no chão, e caiu de cabeça.

Enquanto caía, espantou-se ao ver a tela ficar enorme, e se surpreendeu cercada pelos pontinhos dançantes que fluíam para dentro da imagem. “Não consigo ver nada com esses pontos dando voltas ao meu redor”, pensou. “É como estar perdida numa tempestade de neve. Não consigo nem mesmo ver meus pés. Queria ver só um pouquinho. Não dá nem para saber onde estou.”

Naquele momento, Alice sentiu seus pés encostarem em algo sólido e se viu sobre uma superfície plana e dura. À sua volta os pontinhos começavam a sumir e ela percebeu que estava cercada por formas indefinidas.

Olhou mais de perto para a que estava mais próxima e observou uma figura pequena, da altura da sua cintura, no máximo. Era muito difícil defini-la, pois ficava pulando de um lado para outro e se mexendo tão rápido que mal dava para ver direito.

A forma parecia estar carregando algum tipo de bengala, ou talvez um guarda-chuva fechado, que ficava apontado para cima. “Olá”, Alice se apresentou educadamente. “Eu sou a Alice. Posso saber quem você é?”

“Sou um elétron”, disse a forma. “Sou um elétron *spin para cima*. É fácil me distinguir da minha amiga ali, a elétron *spin para baixo*, que é obviamente muito diferente de mim”. E disse para si mesmo, num tom baixinho, algo que soou como “*Vive la différence*”. Pelo que Alice pôde ver, o outro elétron era quase igual, a não ser pelo guarda-chuva, ou o que quer que fosse aquilo, que apontava para baixo, na direção do chão. Era difícil ter certeza, uma vez que a figura também estava pulando de um lado para outro, tão rapidamente quanto a primeira.

“Por favor”, disse Alice a seu mais novo conhecido. “Poderia fazer a gentileza de parar por um momento para que eu possa vê-lo com mais clareza?”

“Sou bastante gentil”, disse o elétron, “mas receio que não haja espaço bastante. Mas vou tentar, de qualquer forma.” Assim dizendo, ele começou a diminuir sua taxa de agitação. Mas quanto mais devagar se movia, mais se expandia para os lados e mais difuso ia ficando. Naquele momento, apesar de não se mover rapidamente, ele estava tão indefinido e tão fora de foco que Alice não conseguia vê-lo com mais clareza do que antes. “Isto é o melhor que posso fazer”, resfolegou o elétron. “Receio que quanto mais lentamente eu me mover, mais espalhado eu fico. As coisas são assim aqui pelo País do Quantum: quanto menos espaço você ocupa, mais rápido você tem de se mover. É uma das regras, e não há nada que eu possa fazer.”

“Realmente não há espaço para diminuir a velocidade aqui”, continuou o companheiro de Alice enquanto recomeçavam a pular rapidamente de um lado para outro. “A estação está ficando tão lotada, que preciso ser mais compacto”. De fato, o espaço em que Alice se encontrava estava lotado pelas figurinhas que se espremiavam uma ao lado da outra, dançando e se movendo febrilmente. “Que seres estranhos”, pensou Alice. “Acho que nunca conseguirei ver como são de verdade já que não param quietos e nada indica que um dia pararão”. Porque não parecia ser possível fazê-los se moverem mais devagar, ela resolveu tentar um outro assunto. “Você poderia me dizer por gentileza que tipo de estação é esta onde nós estamos?” ela perguntou. “Numa estação ferroviária, é claro”, respondeu alegremente um dos elétrons (era muito difícil para Alice dizer qual deles tinha falado, pois todos eram muitíssimo parecidos). “Vamos pegar o trem de ondas para aquela tela que você vê. Você vai pegar depois o expresso fóton, acredito, se quiser ir mais longe.”

“Está falando da tela de televisão?”, Alice perguntou.

“Ora essa, é claro”, disse alto um dos elétrons. Alice podia jurar que não tinha sido o mesmo que respondera à primeira pergunta, mas era muito difícil ter certeza. “Venha! O trem está aqui e temos de embarcar”.

De fato, Alice pôde ver uma fila de pequenos vagões alinhados na estação. Eram todos bem pequenos. Alguns estavam vazios, alguns estavam ocupados por um elétron, e outros por dois elétrons. Os vagões enchiam-se rapidamente - na verdade, parecia que não restava mais nenhum vazio - mas Alice percebeu que nenhum dos vagões levava mais do que dois elétrons. Quando eles passavam perto desses vagões, os dois ocupantes gritavam “Lotado! Lotado!”.

“Vocês não poderiam espremer mais do que dois num vagão, estando o trem assim tão cheio?”, Alice perguntou a seus companheiros.

“Oh, não! Nunca além de dois elétrons juntos, esta é a regra”.

“Acho então que teremos que ocupar vagões diferentes”, disse Alice um pouco contrariada, mas o elétron a tranquilizou.

“Você não é problema algum! Você pode entrar no vagão que quiser, é claro!”.

(...)

Alice não entendia tudo que ele dizia, mas, tremendo que o trem partisse logo, começou a procurar um lugar vago que pudesse acomodar mais um elétron. “E este aqui?” perguntou ao seu companheiro. “Aqui tem um vagão com um elétron só. Dá para você entrar aqui?”.

“Claro que não!”, ele disparou, horrorizado. “Este também é um elétron *spin para cima*. Não posso dividir um vagão com outro elétron *spin para cima*. Que sugestão! É totalmente contra o meu princípio”. (...) “... Ou melhor, contra o princípio de Pauli, que proíbe que dois de nós, elétrons, façamos a mesma coisa ao mesmo tempo, o que inclui ocupar o mesmo espaço e ter o mesmo spin”.

Alice não conseguia entender o que o tinha deixado tão magoado (...).

(...)

“Venha!”, um deles gritou para ela ao desembarcar.

“Desculpe”, perguntou Alice, hesitante, “você é o mesmo elétron com quem eu estava falando antes?”

“Sou”, respondeu.

“Puxa vida, que coisa mais irritante!”, disse Alice. “Perdi de vista a única pessoa que conheço nesse lugar estranho e não tenho ninguém que explique o que está acontecendo.”

“Não se preocupe, Alice”, disse uma voz à altura de seu joelho. “Vou lhe mostrar aonde ir”. Era um dos elétrons.

“Como sabe meu nome?” perguntou Alice com espanto.

“Simples. Sou o mesmo elétron que estava falando com você antes.”

“Não pode ser!”, exclamou ela. “Vi aquele elétron indo em outra direção. Talvez não fosse o mesmo com quem eu estava falando antes”.

“Certamente era”.

“Então você não pode ser o mesmo”, disse Alice, logicamente. “Vocês não podem ser o mesmo elétron, sabia?”

“Oh, sim, podemos!”, replicou o elétron. “Ele é o mesmo. Eu sou o mesmo. Nós todos somos o mesmo, sabia? Exatamente o mesmo!”

“Isso é ridículo!”, argumentou Alice. “ Você está aqui ao meu lado enquanto o outro foi para algum lugar naquela direção, por isso vocês dois não podem ser a mesma pessoa. Um de vocês tem de ser diferente.”

“Não mesmo”, gritou o elétron, pulando de um lado para o outro, ainda mais rápido, por causa de sua excitação. “Somos todos idênticos. Não há como nos diferenciar. Por isso, veja, ele deve ser o mesmo e eu devo ser o mesmo também.”.

Nesse momento, a multidão de elétrons que rodeava Alice começou a gritar: “Eu sou o mesmo”, “Eu sou o mesmo também”, “Eu sou o mesmo que você é”, “Eu também sou o mesmo que você.”. O tumulto era terrível. Alice fechou os olhos e pôs as mãos nos ouvidos até o barulho acabar (Figura 6).

Figura 6- Alice “se encontra” com os personagens elétrons.



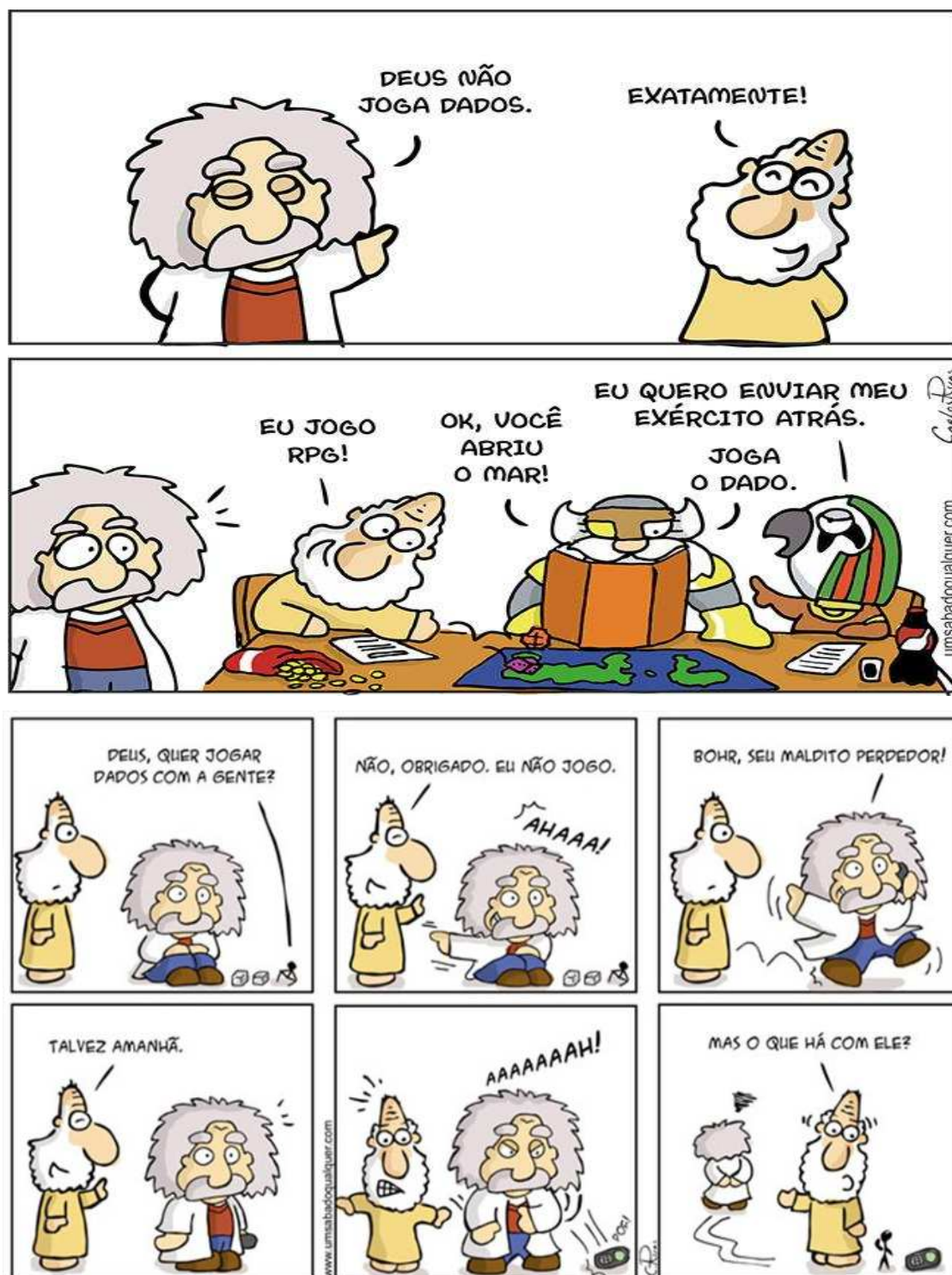
Fonte: Gilmore, 1998, p. 17.

ANEXO 2 - TRECHOS DO CAPÍTULO 1: NO PAÍS DO QUANTUM

Seguindo a caminhada da personagem Alice através do País do Quantum, a menina se deparou com um grupo de operários trabalhando em uma construção. Todavia, essa atividade estava sendo realizada de forma pouco usual, uma vez que os tijolos estavam sendo atirados no terreno de maneira bastante desordenada. Alice questionou tal comportamento, e obteve como resposta: “É bem verdade que as flutuações aleatórias ainda são grandes o bastante para esconder o padrão, mas assim que tivermos estabelecido a distribuição de probabilidades para o resultado que precisamos, estaremos conseguindo, não há o que temer”.

Pouco tempo depois, o autor descreve que Alice, surpresa, “notou que alguns tijolos caíam mais em certas regiões do que em outras, e que era possível distinguir paredes e vãos de portas”. Na sequência, o personagem caracterizado pelo Mestre de obras explicou que: “Aqui não podemos controlar aonde cada tijolo vai, apenas a probabilidade de que irá para um lugar ou outro. Isto quer dizer que quando há poucos tijolos, eles podem cair em quase todos os lugares e então não parecem ter nenhum tipo de padrão. Quando seu número aumenta, porém, você descobre que só há tijolos onde há alguma probabilidade de que eles estejam lá; e onde a probabilidade é maior, é onde haverá mais tijolos”.

ANEXO 3 - DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE



Fonte: Um sábado qualquer, 2010.

Disponível em: <https://www.umsabadoqualquer.com/wp-content/uploads/2010/02/343.jpg>. Acesso em: 20 nov. 2023.

ANEXO 4 - TRECHO COMPLEMENTAR

O autor Almeida, descreve que: “De acordo com Born, a função $|\Psi|^2$ é uma grandeza estatística que determina a densidade de probabilidade. Portanto, $|\Psi|^2$ dá a probabilidade de encontrarmos a partícula, que está associada a função de onda Ψ , em uma determinada posição. Com a descoberta do comportamento dual da matéria, a Física Quântica evidência que a natureza possui comportamento estatístico (não mais determinístico, como na mecânica clássica), em que partículas como átomos, elétrons e prótons, podem ser descritos por uma função que representa a probabilidade se ser encontrados em determinada região do espaço. Portanto, não faz mais sentido falar de uma trajetória circular para o elétron, e sim, de uma probabilidade de encontrar o elétron em determinada região nas proximidades do núcleo”.

ANEXO 5 - TRANSIÇÕES ELETRÔNICAS

Em dado momento, Alice se deparou com um cartaz com a seguinte informação: “Insatisfeito com seu Estado? Gostaria de passar para um nível mais alto? Ajudaremos você a fazer a Transição por apenas 10 eV (Oferta sujeita à limitação usual da exclusão de Pauli).” A personagem foi orientada que para ter as respostas desejadas e explicações sobre o mundo inusitado que estava visitando, precisaria seguir até o Instituto de Mecânica. Para isso, a menina precisou passar pelo “Banco de Heisenberg”.

“Tenho certeza de que deve ser alguma coisa muito excitante, mas não tenho ideia do que se trata, e se fosse perguntar a alguém, estou certa de que a resposta me deixaria mais perdida do que estou agora” exclamou Alice desesperada. “Não entendi nada do que vi até agora. Queria encontrar alguém que me desse uma boa explicação sobre o que está acontecendo em volta de mim”.

Não tinha percebido que tinha falado alto até ouvir a resposta dada por um passante. “Se quiser entender o País do Quantum, vai precisar de alguém que lhe explique a mecânica quântica. Para isso, você deveria ir ao Instituto de Mecânica”, aconselharam-na (...) “Mas como ‘eV’ são unidades de energia, provavelmente você deveria começar perguntando sobre elas no Banco Heisenberg, principalmente porque fica ali do outro lado da rua”. Alice olhou para onde ele apontava e viu uma grande construção com uma fachada muito pomposa, obviamente construída para impressionar. Tinha uma entrada com pilastras de pedra e, no topo, em letras garrafais, estava gravado o nome BANCO HEISENBERG (Figura 7).

Figura 7- Alice em frente ao Banco de Heisenberg.



Fonte: Livro Alice no País do Quantum. Autor: Gilmore, R., 1998.

ANEXO 6 - TRECHOS DO CAPÍTULO 3: O INSTITUTO DE MECÂNICA

Alice examinou o prédio que estava à sua frente. Era uma modesta estrutura de tijolos, já meio castigada pelo tempo. Na frente, havia um cartaz que dizia se tratar do “Instituto de Mecânica”. Ao lado do cartaz havia uma porta, em que alguém tinha pregado um aviso: “Não bata. Apenas entre”. Alice experimentou e viu que a porta não estava trancada. Abriu-a e entrou.

Do outro lado da porta havia uma sala ampla e escura. No meio da sala, havia uma área iluminada e clara. (...) ela viu uma mesa de bilhar com duas figuras se movendo em volta. Alice andou em sua direção e quando se aproximou, eles voltaram para olhar para ela. Era uma dupla bem estranha. Um era alto e angular e usava uma camisa branca e engomada com colarinho duro e também alto, uma gravata estreita e, para surpresa de Alice, um macacão. Seu rosto era aquilino, e ele tinha costeletas fartas. (...) Seu companheiro era menor e mais jovem. Seu rosto redondo era decorado com uns óculos grandes, de armação de metal; era difícil perceber para onde ele estava olhando, ou mesmo onde exatamente estavam seus olhos. Ele vestia um avental branco de laboratório sob o qual aparecia uma camiseta com o desenho de algo vagamente atômico na frente. Não era fácil dizer com certeza o que era, pois as cores estavam desbotadas.

“Com licença, este é o Instituto de Mecânica?” Alice perguntou. (...)

“Sim, minha cara”, disse o mais alto e impressionante dos dois. “Eu sou um Mecânico Clássico do Mundo Clássico, e estou visitando o meu colega, aqui, que é um Mecânico Quântico. Qualquer que seja o seu problema, tenho certeza de que um de nós poderá ajudá-la. É só esperar que terminemos nossas jogadas”.

Ambos se viraram para a mesa de bilhar. O Mecânico Clássico mirou com cuidado, considerando as ínfimas partes de todos os ângulos envolvidos. Finalmente, deu a tacada bem à vontade. A bola bateu e voltou numa impressionante série de ricochetes e acabou por entrar em colisão com a bola vermelha, que foi parar com precisão dentro de uma das caçapas. “Aí está”, exclamou com satisfação ao tirar a bola de dentro do buraco. “É assim que se faz, está vendo? Observação cuidadosa e exata, seguida de ação precisa. Procedendo assim, você obtém o resultado que escolher”. Seu companheiro não respondeu, tomou seu lugar na mesa e fez um movimento vago com seu taco. Após suas experiências anteriores, Alice não ficou surpresa ao ver a bola disparar em todas as direções ao mesmo tempo, e não havia lugar na mesa onde ela pudesse dizer com certeza que a bola não havia estado, embora não pudesse dizer igualmente onde a bola havia estado.

Após um intervalo, o jogador olhou dentro de uma das caçapas, enfiou a mão e tirou a bola vermelha. “Se não se importa que eu faça uma observação”, disse Alice, “parece que você joga de forma muito diferente” (Figura 8).

Figura 8- O Mecânico Clássico e o Mecânico Quântico.



Fonte: Livro Alice no País do Quantum. Autor: Gilmore, R., 1998.

“É isso mesmo”, respondeu o Mecânico Clássico. “Odeio quando ele dá tacadas desse jeito. Gosto que tudo seja feito com muito cuidado e precisão e que todos os detalhes sejam planejados antecipadamente”.(...)

O Mecânico Clássico continuou seu discurso: “Eu saí do Mundo Clássico só para dar uma voltinha. Lá é um lugar esplêndido, onde tudo acontece com precisão mecânica. A causa é seguida do efeito de uma maneira maravilhosamente previsível”.

“Parece impressionante” disse Alice com educação. “Para ser assim tão organizado, tudo deve ser controlado por computadores”.

“Não”, respondeu o Mecânico Clássico. “Não usamos computador algum. Na verdade, coisas eletrônicas não funcionam no mundo clássico. Somos melhores com máquinas a vapor. Eu não me sinto muito à vontade, aqui no País do Quantum. O meu amigo aqui está muito mais familiarizado com as condições quânticas”.

ANEXO 7 - CONTINUAÇÃO DE TRECHOS DO CAPÍTULO 3: O INSTITUTO DE MECÂNICA

No decorrer da obra de Gilmore (1998), Alice é conduzida para a sala *gedanken* (ou “sala de pensar”), que é uma sala descrita como um local “onde os pensamentos das pessoas tomam forma, para que todos possam vê-los”. Inicialmente, Alice pensou em coelhos, como seria na fábula original do País das Maravilhas. Porém, como o personagem que a estava conduzindo por esta experiência (o “Mecânico Clássico”), desejava demonstrar como funcionava a interferência das ondas, ele precisou fazer com que o animal desaparecesse. Assim, o pensamento deste personagem fez com que surgissem ondas, seguidas por ondas circulares. Posteriormente, “as ondulações circulares se transformaram numa série de longos sulcos paralelos que se movimentavam de um lado para outro”. O próximo passo foi a criação de barreiras, que fizeram com que o chão fosse dividido em dois. “As ondas iam até a barreira e colidiram contra ela, mas não havia jeito de passarem para o outro lado, que agora estava calmo e parado”.

Na continuação do exercício da sala de pensar, foi elaborada uma fenda na barreira. “Ao passar por essa brecha, as ondas se espalhavam circularmente pela calma região do outro lado da barreira”. Porém, quando foram criadas duas fendas na barreira, verificou-se uma diferente característica de movimentação, onde as regiões de amplitude mínima e máxima foram demarcadas de maneira fabular, em um momento em que o pensamento do Mecânico foi capaz de “congelar” o movimento da água. À medida que a fenda era movimentada rapidamente da direita para a esquerda, foi possível notar o fenômeno de interferência construtiva e destrutiva.

Posteriormente, o experimento sofreu uma alteração, realizada por outro personagem, o Mecânico Quântico, e embora ainda houvesse uma fenda na parede, as ondas foram substituídas por “uma metralhadora de aparência desagradável, com muitas caixas de munição empilhadas ao lado”. Quando as balas eram emitidas, “havia uma maior probabilidade do objeto passar direto pela fenda do que de resvalar na borda da abertura e ir parar muito para o lado”. Em um segundo momento, o Mecânico Quântico deslocou a fenda um pouco para a direita, e Alice se surpreendeu ao observar que o resultado aparentemente não sofreu alterações (como inicialmente a menina esperava que fosse ocorrer).

Finalmente, o condutor do experimento criou novamente duas fendas na barreira, e esclareceu para a Alice que a “metralhadora” se tratava de um “canhão de elétrons”.

Ao iniciar os disparos, os elétrons começaram a se agrupar, e o resultado foi apresentado pelo Mecânico Quântico: “Agora, havia regiões onde muitos elétrons tinham sido detectados, com muito poucos deles nas áreas intermediárias (...). Cada elétron será detectado em apenas uma posição, mas a probabilidade de detectar um elétron varia de uma posição para outra. A distribuição de diferentes intensidades de ondas que você viu antes foi substituída por uma distribuição de probabilidades”.

“Quando não há observação para saber por qual fenda os elétrons passam, ocorre a interferência entre os efeitos das duas fendas. Se você observar os elétrons, verá que, de fato, eles estão em um lugar ou outro e não em ambos, mas, neste caso, eles se comportam como o esperado, isto é, como se tivessem passado apenas por uma fenda, não causando interferência. O problema é que não há uma maneira de se observar os elétrons sem perturbá-los. O simples fato de observar força os elétrons a escolher um percurso”.

(...)

Depois da experiência com a sala de pensar, Alice é apresentada ao **gato de Schrodinger**. “Alice viu um grande gato listrado que dormia numa cesta num dos cantos da sala. Como se despertado por ter ouvido seu nome, o gato se levantou, espreguiçando-se. Ou melhor, levantou-se e não se levantou, espreguiçou-se e não se espreguiçou. Alice viu que, além da figura levemente difusa do gato de costas arqueadas, havia também um gato idêntico, que ainda dormia no fundo da cesta. Ele estava muito rígido, numa posição muito pouco natural. Olhando para ele, Alice poderia jurar que ele estava morto”.

ANEXO 8 - TIRINHA SOBRE O GATO DE SCHRÖDINGER

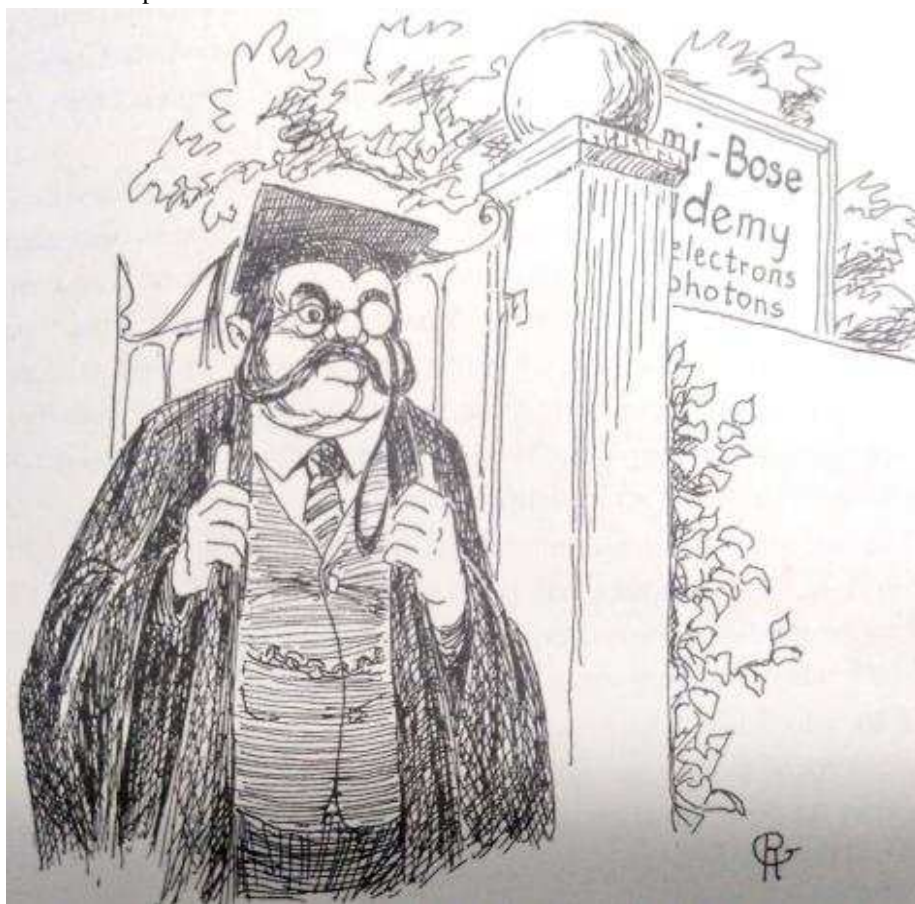


Fonte: Publicação do facebook da página “As crônicas de Wesley”, 2020.

ANEXO 9 - TRECHOS DO CAPÍTULO 5: A ACADEMIA FERMI-BOSE

Em sua inusitada aventura no País do Quantum, Alice foi conduzida a um novo cenário importante, a Academia Fermi-Bose, onde foi apresentada ao Diretor Principal, descrito como: “uma figura imponente, um homem largo e muito corpulento que parecia ainda mais pesado e enorme com a beca acadêmica e o chapéu de bacharel que usava. Seu rosto redondo e corado era enfeitado por um bigode volumoso e costeletas” (Figura 9).

Figura 9- O Diretor Principal.



Fonte: Livro Alice no País do Quantum. Autor: Gilmore, R., 1998.

A dupla adentrou a academia, e enquanto andavam pelo prédio, Alice entendeu que o local seria uma escola, e os alunos seriam as partículas. Na sequência, a menina passou por alguns elétrons criando uma certa “algazarra”, disparando por corredores laterais. Como os elétrons eram todos iguais, e havia muita bagunça, Alice comentou que o momento da chamada na aula deveria ser um inferno. O Diretor, então, esclareceu que: “Os elétrons não são tão maus. Nós apenas os contamos e vemos se o total está correto. Pelo menos o número dos elétrons permanece sempre o mesmo, então sabemos quantos deveríamos ter, mas com os fótons, nem mesmo isso funciona.

Fótons são bósons, e por isso não se conservam. Você pode começar a aula com, digamos, trinta, e acabar a aula com cinquenta. Ou o número pode cair para menos de vinte - é difícil adivinhar. Isso dificulta muito a vida dos empregados da escola”.

Ao passo que a menina não entendeu o que seriam “bósons”, o Diretor a levou até a aula de “Fatos de simetria para iniciantes”. Na aula, o professor disserta que: “A probabilidade de se fazer uma observação é dada pelo quadrado de sua função de onda, isto é, o valor da função multiplicado por si mesmo. Como vocês são todos idênticos, é óbvio que quando dois de vocês trocam de lugar, a diferença não é observável e por isso o quadrado de sua função de onda não se altera. Pode até parecer que não houve alteração nenhuma. Alguém sabe me dizer o que pode se alterar?.

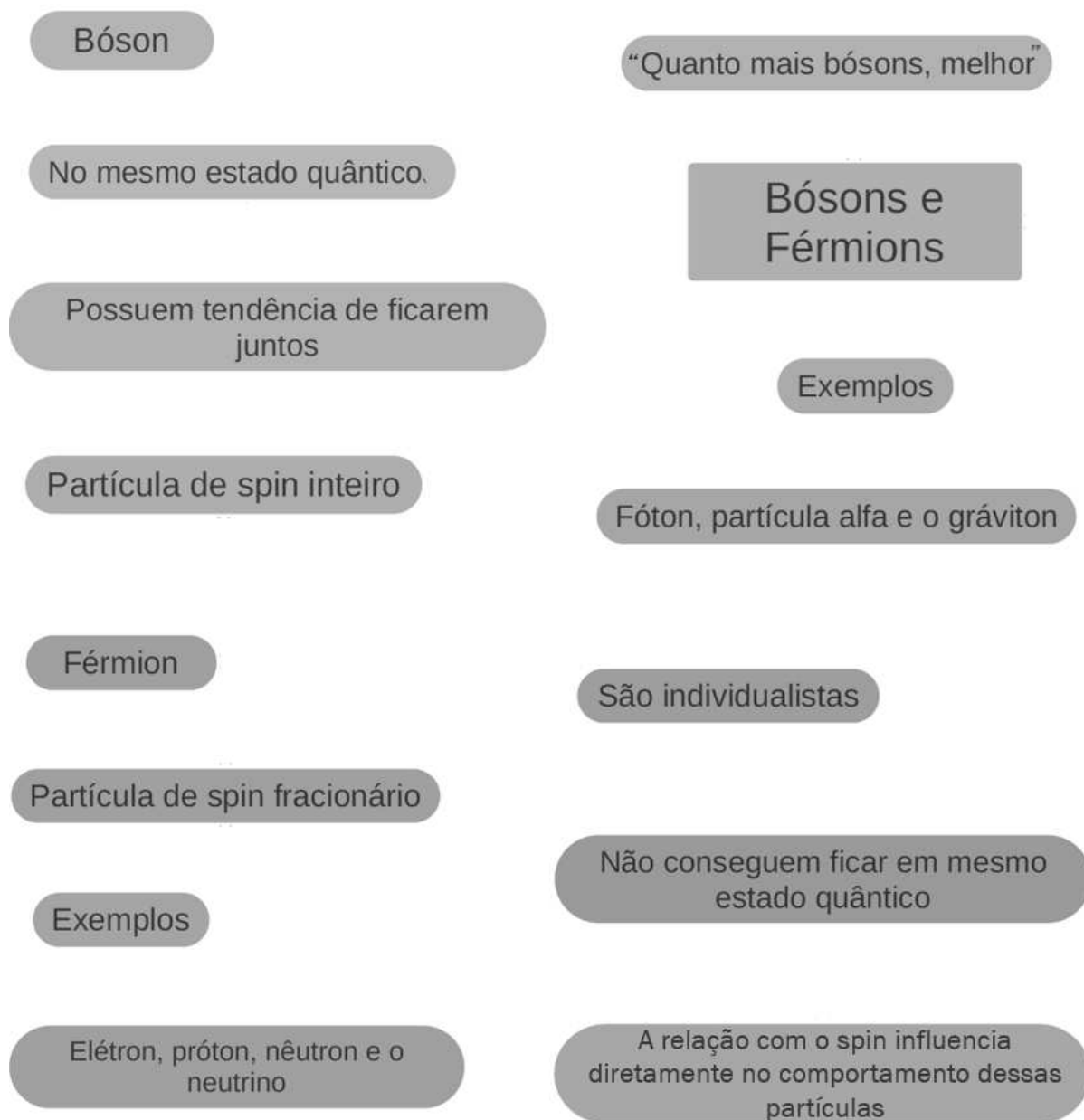
Um dos “alunos-elétrons” responde que o **sinal** pode se alterar, e o professor confirma e complementa: “Há dois casos em que o quadrado de suas amplitudes não muda. Pode ser que a amplitude não se altere quando dois de vocês mudam de lugar. Nesse caso, as partículas são bósons, como vocês, os fótons. Contudo, há ainda outra possibilidade. Quando dois de vocês trocam de lugar, a amplitude pode se inverter. Muda de positiva para negativa e vice-versa. Neste caso, o quadrado permanece positivo e a distribuição de probabilidades fica inalterada, pois multiplicar a amplitude por si mesma leva duas inversões, o que resulta em nenhuma mudança. É isso que acontece com férmions como vocês, elétrons”.

(...)

Em um segundo momento, o Diretor detalhou melhor sobre qual seria a diferença entre bósons e férmions: “Férmions são individualistas. Dois deles nunca farão exatamente a mesma coisa, enquanto os bósons são sociáveis. Adoram andar em gangues, onde cada um se comporta da mesmíssima maneira que os outros.”

Nessa hora, o Mecânico Quântico levou Alice para fora da sala de aula. “Aí está”, ele disse. “Este é o Princípio de Pauli. Ele diz que dois férmions do mesmo tipo não podem nunca estar fazendo a mesma coisa, por isso só se pode ter apenas um em cada estado. O princípio se aplica a férmions de todo tipo, mas não a bósons”.

ANEXO 10 - QUADROS DE PALAVRAS A SEREM ENTREGUES AOS ALUNOS



Fonte: Reis, [s.d.].

ANEXO 11 - GABARITO DO MAPA MENTAL

MAPA MENTAL



Fonte: Reis, [s.d.].

ANEXO 12 - COBICET (CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA)

Anais do IV CoBICET – Trabalho completo

Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia

27 de agosto a 01 de setembro de 2023



ABORDAGEM LÚDICA DE CONTEÚDOS DE QUÍMICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO: DESMISTIFICANDO OS CONCEITOS

Ana Beatriz de Souza Barbosa¹, Célia Regina Sousa da Silva¹, Grazieli Simões¹, Priscila Tamiasso-Martinhon¹

¹Departamento de Físico-Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ – Brasil
(anabeatriz.barbosa@gradu.iq.ufjf.br)

Resumo: Este trabalho pretende compartilhar uma proposta de ensino de conteúdos de Química Quântica, para a última etapa da educação básica de ensino no Brasil, através do emprego do livro “Alice no País do Quantum”, de Robert Gilmore, recorrendo ao lúdico como ferramenta facilitadora para proporcionar uma aprendizagem significativa e para despertar o interesse do aluno em ciências.

Palavras-chave: Aprendizagem significativa; Lúdico; Prática docente; Quântica

INTRODUÇÃO

Este trabalho almeja destacar a importância do ensino da Química Quântica para o ensino médio, e trazer alicerces para a aplicação de uma abordagem lúdica na prática docente, desmistificando alguns conceitos previamente concebidos. Para muitos, a química quântica seria um assunto impossível de ser abordado no ensino médio. Assim, pretende-se demonstrar como seria possível abordar temas relacionados à aprendizagem de Quântica na etapa final da educação básica brasileira, de forma a proporcionar uma aprendizagem significativa.

Para tal, este trabalho irá se debruçar sobre a obra literária do autor Robert Gilmore, denominada: “Alice no País do Quantum”, uma alegoria que trata de assuntos sobre a teoria quântica de forma mais acessível ao leitor. Neste livro, que faz referência à famosa obra “Alice no País das Maravilhas”, é possível penetrar no universo quântico e, de forma lúdica, acompanhar a personagem principal em suas aventuras e descobertas sobre as partículas subatômicas. Alguns trechos do livro serão destacados, assim como serão inseridas interferências didáticas que poderão ser utilizadas pelos professores para proporcionar um aprendizado mais claro e motivador para os alunos.

A relevância deste trabalho é justificada pela ausência de materiais que tratem do tema de Química Quântica com uma linguagem de simples entendimento, abordando a temática de forma contextualizada, fazendo com que alguns alunos percam interesse em estudá-lo. Diante deste cenário, serão retratadas também as principais dificuldades na aprendizagem da química e as barreiras enfrentadas por alunos do ensino médio frente a este conteúdo.

O referencial teórico escolhido foi o livro “Aprendizagem significativa: A teoria e textos complementares”, de Marco Antonio Moreira, obra em que o autor seleciona alguns dos principais trabalhos da teoria clássica de David Ausubel. A aprendizagem significativa pode ser muito vantajosa para o professor, à medida que propicia que o docente possa adaptar materiais e ferramentas de ensino para que a linguagem e forma de lecionar atendam às necessidades dos alunos.

O objetivo principal deste trabalho consiste em propor um planejamento pedagógico que desmistifique a aprendizagem de química a partir de uma abordagem lúdica, que promova a aproximação do aluno do ensino médio aos conceitos pertinentes à Química Quântica.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do planejamento pedagógico foram utilizados como base os livros “Aprendizagem significativa: A teoria e textos complementares” (Moreira, 2011) e “Alice no País do Quantum” (Gilmore, 1998).

O desenho metodológico empregou em um primeiro momento o uso do livro de Marco Antonio Moreira, como alicerce para entendimento e estudo docente do conceito de aprendizagem significativa, para se aplicar o lúdico através do emprego da obra de Gilmore em sala de aula.

Apesar do docente ter realizado a leitura na íntegra das duas obras, o planejamento da ação pedagógica não partiu da leitura de todos os capítulos, mas sim do material didático textual (MDT) que a professora produziu a partir de cenários e situações selecionadas do livro de Gilmore (1998).

Evento online

www.even3.com.br/cobicet2023

O MDT foi produzido a partir de trechos específicos, em que foram sinalizados e inseridas algumas "interferências didáticas" ao longo do material pedagógico produzido, que poderão funcionar como um guia para que outros professores abordem pontos-chave em sala de aula, contextualizando algumas situações-problema, e trazendo um verdadeiro sentido químico para cada capítulo.

Os capítulos e as temáticas foram selecionadas para turmas de primeiro ano do Ensino Médio, são eles: Capítulo 1 - "No País do Quantum"; Capítulo 2 - "O Banco de Heisenberg"; Capítulo 3 - "O Instituto de Mecânica"; e Capítulo 5 - "A Academia Fermi-Bose".

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram correlacionados conceitos defendidos pelo autor David Ausubel às ideias fabulares descritas no livro "Alice no País do Quantum", de Robert Gilmore. Muitos dos artigos e ideais de Ausubel foram compilados e retratados por Marco Antônio Moreira (2011), em sua obra: "Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares".

A escolha do livro foi pautada no fato de que todo aluno de ensino médio certamente já teve algum contato com a história de "Alice no País das Maravilhas", e Gilmore propõe uma interessante alusão a essa famosa animação da Disney. O autor descreve, no prefácio do livro, que:

O país do quantum por onde Alice viaja parece mais com um parque temático no qual Alice é às vezes uma observadora, ao passo que algumas vezes se comporta como uma espécie de partícula cuja carga elétrica pode variar. Esse País do Quantum mostra os aspectos essenciais do mundo quântico: o mundo que todos nós habitamos (Gilmore, 1998, p. 7).

Nesse sentido, este trabalho aborda o lúdico como ferramenta possibilitadora de aprendizagem significativa para o ensino de química quântica no ensino médio.

Para Moreira (2011, p. 60):

Aprendizagem significativa é quando novos conhecimentos (conceitos, ideias, proposições, modelos, fórmulas) passam a significar algo para o aprendiz, quando ele é capaz de explicar situações com suas próprias palavras, quando é capaz de resolver problemas novos, enfim, quando compreende.

Ainda sobre a definição de aprendizagem significativa, o autor complementa que: "...é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo

que o aprendiz já sabe. 'Substantiva' quer dizer não-literal, não ao pé da letra, e 'não-arbitrária' significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende".

MOREIRA cita uma teoria clássica em relação a este conhecimento, proposta por David Ausubel (1918-2008), demonstrando que "pode ser, por exemplo, um símbolo já significativo, um conceito, uma proposição, um modelo mental, uma imagem, a qual Ausubel denomina de subsunçor ou ideia-âncora. Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto". No caso do estudo da Quântica, existem alguns possíveis subsunçores. Por exemplo, provavelmente o aluno do ensino médio, em algum momento, já teve contato com o conceito de elétron, mesmo que ele se recorde apenas que se trata de uma partícula de carga negativa. Porém, a partir deste conceito, o docente pode aprofundar outros temas pertinentes, como o Princípio da Incerteza de Heisenberg, o Princípio da Exclusão de Pauli, e os desdobramentos de spin e momento angular.

A obra "Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares" explica que:

Na medida em que um subsunçor não é frequentemente utilizado, ocorre uma inevitável obliteração, uma perda de discriminação entre significados. É um processo normal do funcionamento cognitivo, um esquecimento, mas em se tratando de aprendizagem significativa, a reaprendizagem é possível e relativamente rápida. (Moreira, 2011, p. 17).

Contextualizando em termos de Química Quântica, existem alguns assuntos nesta disciplina, como por exemplo a dualidade onda-partícula, que um aluno que concluiu os estudos a muitos anos, e que não tenha seguido na área da química, provavelmente não irá se recordar de detalhes (tais como: quais são exatamente as características de uma onda, o que são ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas, como se deu o experimento da fenda dupla e quais foram as contribuições de Louis de Broglie). Entretanto, caso a aprendizagem tenha sido realmente significativa, esse aluno ainda irá se lembrar de que o tópico "dualidade onda-partícula" é uma ideia central da disciplina. Conforme elucidado por Moreira, o subsunçor "dualidade" seria "resgatado" caso o aluno tivesse interesse em se debruçar novamente sobre os estudos relativos a este tema.

Um esclarecimento importante realizado por Moreira (2011, p. 17), sobre aprendizagem significativa, é: "[...] não é, como se possa pensar, aquela que o indivíduo nunca esquece. A *assimilação obliteradora* é uma continuidade natural da aprendizagem significativa, porém não é um esquecimento total.". Esta é uma reflexão que deve ser destacada, uma vez que o professor, mesmo que esteja em uma constante busca por metodologias ativas em sala de aula e por diversificar a forma de ensino, dificilmente conseguirá garantir que o aluno assimile 100% do conteúdo de forma perene. Inclusive no próprio curso de Licenciatura em Química, onde os discentes se aprofundam em diversas disciplinas da Química (Orgânica, Inorgânica, Físico-Química, Química Analítica Qualitativa, Química Analítica Quantitativa, e Química Quântica), é praticamente impossível, ao final do curso, não haver obliteração pontual de algum tópico abordado dentro dessas subdivisões. Entretanto, conforme mencionado anteriormente, os subunçores são capazes de auxiliar, à medida que os temas sejam revisitados em algum momento.

Dentro deste contexto, existem algumas discussões sobre quais seriam as reais condições para a aprendizagem significativa. Uma visão bastante divulgada é a de Ausubel, trazida pelo autor Moreira (2011), que defende que a primeira condição é "o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo" (2011, p. 24). Além disso, Moreira pontua que "o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender" (2011, p. 24). Em consonância com estes critérios, o autor complementa:

A primeira condição implica que I) que o material [...] tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não-arbitrária e não-litera a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante) e II) que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. (Moreira, 2011, p. 25).

Um material que apresenta uma conexão lógica e coerente gera como consequência uma maior facilidade de assimilação dos estudantes, pois arquiteta uma ponte de integração com o novo conhecimento. Diante dessa perspectiva, Moreira (2011) expõe a seguinte análise: "[...] o material só pode ser potencialmente significativo, não significativo: não existe livro significativo, nem aula significativa, nem problema significativo, ..., pois o significado está nas pessoas, não nos materiais" (2011, p. 25); Ademais, o autor ressalta, sobre a segunda condição para a aprendizagem significativa, que o discente desempenha um papel fundamental na construção do conhecimento: "o aprendiz deve

querer relacionar os novos conhecimentos, de forma não-arbitrária e não-litera, a seus conhecimentos prévios." (2011, p. 25).

Em relação à primeira condição, a obra *Alice no País do Quantum*, de Robert Gilmore, pode ser considerada como um material potencialmente significativo, uma vez que se distancia do "óbvio" e de materiais com linguagem extremamente formal e distantes da realidade do aluno. Ao trazer uma ferramenta lúdica para o ensino, o professor rompe o paradigma de que só é possível compartilhar conhecimento através de métodos clássicos, como o livro didático definido pela escola.

Sobre a segunda condição, não se trata, necessariamente, do aluno apresentar "afinidade" com a disciplina. Todavia, o conteúdo precisa, de alguma forma, instigar o aluno ou mesmo incitar alguma curiosidade sobre sua aplicação. É bastante comum verificar alunos sem interesse ou motivação por uma disciplina, por não vislumbrarem aplicabilidade na realidade em que vivem, ou em seu contexto social, e este é um fato para o qual o professor precisa se manter atento, ainda mais em um mundo cada vez mais globalizado em que vivemos, onde os estudantes apresentam grande facilidade e agilidade para pesquisarem sobre qualquer tema que lhes seja relevante, via internet.

Existem ainda outras contribuições do especialista em psicologia educacional, David Ausubel, para o campo da aprendizagem. Segundo o estudioso: "Quando o aprendiz não dispõe de subunçores adequados, que lhe permitam atribuir significados aos novos conhecimentos, [...] o problema pode ser resolvido com os chamados organizadores prévios" Moreira (2011, p. 29). Portanto, no caso da utilização do livro *Alice no País do Quantum* como ferramenta didática para a aprendizagem significativa de química quântica, é possível que o docente utilize alguns organizadores prévios durante este processo, que serão descritos ao longo deste trabalho.

Após todas as considerações teóricas descritas até o momento, o docente contará com um alicerce sólido para efetivamente utilizar a ferramenta didática do livro de *Alice no País do Quantum* para desmistificar alguns conteúdos de química quântica para o ensino médio. Inicialmente, a proposta é a de utilização de organizadores prévios através de perguntas. Após a aula expositiva tradicional, o professor poderia estimular as seguintes discussões em sala de aula: 1-"Você já viu algum conteúdo na internet que tratasse do assunto de cura quântica?"; 2-"Você já leu algo sobre medicina quântica ou terapia quântica?"; 3-"Você já se deparou com propagandas sobre coaching quântico?"; 4-"O que você pensa sobre esse tema? Será que faz sentido, do ponto de vista científico?". A partir dessas perguntas, o professor

poderia trabalhar, em sala de aula, sobre apropriações indevidas do termo “Quântica”. A comunidade científica defende a teoria quântica como indispensável para a explicação da realidade microscópica da matéria. Entretanto, nos últimos anos, existe um movimento crescente de utilização do termo “quântica” em vão, descontextualizando seu real significado, com a prerrogativa de “misticismo”. Existem diversos livros e cursos na internet que propõem ensinar sobre a “cura quântica”, “medicina quântica”, “saúde quântica”, “nutrição quântica” e até mesmo “coaching quântico”.

Analisando historicamente, a possível relação com o misticismo foi trazida à tona na década de 60. Um dos exemplos mais marcantes ocorreu em 1975, quando um físico austríaco chamado Fritjof Capra publicou um livro, que se tornou best-seller, denominado “O Tao da Física”. De acordo com Stenger (1995), Capra correlacionou a física moderna com doutrinas espíritas e filosofias de ideologias do hinduísmo, budismo e taoísmo. Assim, Capra considerava que a consciência humana e o misticismo estariam intimamente ligados à mecânica quântica.

De forma geral, o trabalho de Capra trata de analogias à física quântica que não se comprovam experimentalmente e não apresentam repetibilidade. Ao mesmo tempo, este trabalho serviu como inspiração para diversas práticas subsequentes, que podem ser encontradas de forma vasta e crescente na internet, com conceitos desde “pensamento quântico” até “medicina quântica”. Desta forma, verifica-se que o grande problema é sua associação com ciência e com a mecânica quântica. Se estes livros ou sites na rede deixassem claro que estavam tratando exclusivamente de espiritualidade, de questões religiosas, ou mesmo de crenças (ou seja, sem compromisso com o rigor que a ciência exige, com experimentação e comprovação de resultados), não haveria nenhum inconveniente acadêmico. Por outro lado, mesclar experiências pessoais com supostos conteúdos de divulgação científica pode trazer consequências prejudiciais ao aprendizado dos cidadãos, e até mesmo, de forma mais agravante, trazer danos irreversíveis à saúde de algum enfermo, que possa crer em uma “cura quântica”, ou em pseudociências, e abandonar tratamentos médicos aprovados oficialmente pelo Conselho de Medicina.

A associação de descobertas científicas e do termo “quântico” ao misticismo certamente chama a atenção de quem procura uma resposta “rápida” para a resolução de algum problema. Portanto, é imprescindível que a educação científica seja capaz de deixar claro para os estudantes que eles não podem acreditar em qualquer tipo de notícia com caráter enviesado sobre a ciência. Em um mundo globalizado, onde existe acesso à informação de

foma cada vez mais rápida e livre, é preciso que o cidadão esteja sempre apoiado em argumentos científicos quando o assunto for relacionado à química ou à física, por exemplo. É preciso ressaltar que a ciência não é imediatista e não está respaldada em opiniões ou em experiências pessoais. Uma maneira de orientar o aluno no sentido de fontes confiáveis seria indicar que ele procurasse fontes de publicações recentes, através de sites de conteúdos de divulgação científica, como “Portal de periódicos da Capes”, “Revista Virtual de Química”, “Sociedade Brasileira de Química”, “Química na Escola”, “Journal of the Brazilian Chemical Society”, “Brazilian Journal of Physics”, ou mesmo procurar publicações recentes dos autores das notícias no “Google Acadêmico”.

Um cientista que está constantemente pesquisando e desenvolvendo teorias sérias, costuma também submeter artigos em canais com reputação conhecida, pois passam por uma revisão e aceitação antes de serem publicados, o que é um indicativo da legitimação de sua teoria.

Posteriormente, o professor poderia apresentar o livro “Alice no País do Quantum” aos alunos, fazendo uma leitura guiada de alguns pontos específicos de capítulos determinados, cujos conceitos são aplicáveis para o Ensino Médio.

No primeiro capítulo da obra de Gilmore, a personagem principal tropeça em um livro, e de forma fabular, “cai de cabeça dentro da televisão”, sendo transportada para um mundo diferente do qual estava habituada. Neste novo cenário, Alice se depara com o primeiro encontro com os elétrons. Apesar de ser uma alegoria, o autor apresenta a preocupação de descrever os elétrons em formas indefinidas, “pulando de um lado para outro e se mexendo tão rápido que mal dava para ver direito”. A descrição feita nesta forma é interessante para que seja realizada uma posterior associação com o Princípio da incerteza de Heisenberg, afinal não há como precisar com exatidão a posição de um elétron, bem como o seu momento (ou velocidade).

No decorrer da narrativa, visto que Alice permanecia intrigada por não conseguir enxergar de fato todas as características visuais do “personagem elétron”, a menina solicita: “Por favor, poderia fazer a gentileza de parar por um momento para que eu possa vê-lo com mais clareza?”. Porém, o que acontece em seguida é que à medida que o elétron tentava se mover de forma mais vagarosa, sua imagem se tornava ainda mais fora de foco. Gilmore reforça que os elétrons são indistinguíveis, ilustrando cenas em que a Alice conversa com um personagem elétron, e posteriormente, em outro local e em outra direção, encontra com outro personagem da mesma natureza, porém aparentemente idêntico ao primeiro.

Em certo momento, Alice chegou a questionar: *"Desculpe, você é o mesmo elétron com quem eu estava falando antes?"* e *"Você está aqui ao meu lado enquanto o outro foi para algum lugar naquela direção, por isso vocês dois não podem ser a mesma pessoa. Um de vocês tem que ser diferente"*.

"Não mesmo", gritou o elétron, pulando de um lado para o outro, ainda mais rápido por causa de sua excitação. "Somos todos idênticos. Não há como nos diferenciar. Por isso, veja, ele deve ser o mesmo e eu devo ser o mesmo também".

Interferência didática 1 - Nesse sentido, o professor poderia inicialmente destacar os trechos mencionados, e instigar os alunos a participarem da aula, perguntando sobre algumas informações básicas sobre o elétron. Por exemplo: "1- Vocês se lembram em que região o elétron pode ser encontrado? 2- O elétron possui uma massa grande ou pequena? Seria possível enxergá-lo em um microscópio? Essas perguntas, embora sejam realmente básicas, são importantes para nivelamento dos alunos em relação ao tema.

A obra de Gilmore trata de uma alegoria, mas um requisito essencial é que o docente se certifique de que o conhecimento preliminar seja compartilhado e entendido por todos os alunos. Se não estiver claro para o estudante que o elétron é uma partícula subatômica de carga elétrica negativa, orbitando em torno do núcleo segundo o modelo de Bohr, toda a continuidade da prática didática não irá apresentar coerência. O aluno também precisa ter clareza de que a massa do elétron é extremamente pequena, de forma que seria impossível visualizá-lo em um microscópio. Segundo Chang, R. e Goldsby, K. (2013), a massa em quilogramas do elétron corresponde a $9,1094 \times 10^{-31}$ kg.

No trecho em que Alice fica em dúvida sobre a identidade de um dos "personagens elétrons" (questionando se seria o mesmo com quem ela estava falando previamente), há a possibilidade do professor elucidar que os elétrons são idênticos, e que portanto, não há como diferenciá-los. Este é o motivo pelo qual Gilmore considera que o que um elétron visualiza, todos os demais acabam visualizando de forma equivalente.

Interferência didática 2 - Após a provocação inicial, o docente poderia abordar uma outra discussão da quântica, também baseada nos trechos destacados da história: Caso o elétron conseguisse se manter parado, o observador teria certeza sobre a sua posição, porém perderia a informação sobre a sua trajetória, fazendo com que a "imagem" do elétron se tornasse completamente difusa. Em relação à introdução ao conceito do Princípio de Incerteza, conforme citado anteriormente, o professor poderia explicitar que realmente não faria sentido demonstrar

um elétron estático/parado, por exemplo, baseado nos princípios científicos.

Uma outra perspectiva seria a comparação com a mecânica clássica, que defende que:

"As equações de movimento de um sistema, conhecidas as forças que atuam sobre ele, podem ser resolvidas de forma a dar a posição e o movimento de uma partícula para todos os valores de tempo. Tudo o que é necessário saber é a posição e o momento precisos da partícula em um certo instante $t=0$ (as condições iniciais), e assim o movimento futuro fica preciso de forma exata" (Resnick e Eisberg, 1994, p. 97).

Entretanto, embora esta teoria funcione perfeitamente em escala macroscópica, para sistemas em escalas microscópicas, o mesmo não é observado, ou seja, não é possível determinar por meio de uma experiência real a posição e o momento de uma partícula com precisão simultânea.

Em termos de ensino médio, não haveria a necessidade de explorar os cálculos envolvidos no princípio da incerteza de Heisenberg, apenas o conceito probabilístico. Vale ressaltar que na obra de Robert Gilmore há demonstração matemática sobre este princípio.

Uma estratégia didática que também poderia ser utilizada, em termos da explanação sobre o Princípio da Incerteza, seria realizar uma associação entre ciência e arte, através dos filmes do "Homem Formiga", super-herói da Marvel. No filme, o personagem principal, Scott Lang, consegue encolher até a escala atômica, e assim adentrar em uma dimensão paralela chamada de "Reino Quântico". Em 2018 houve o lançamento do segundo filme da saga, intitulado "Homem Formiga e a Vespa", onde os dois super-heróis ficam perdidos no mundo quântico. Santos, K.B e Moreira, M.C.A (2022), no artigo "Olhar de professor", comentam que:

É praticamente impossível obter a localização para resgatá-los. Os heróis, quando se encontram em dimensões quânticas, passam a obedecer às leis que regem o movimento das subpartículas (elétrons, prótons, nêutrons etc.). Portanto, da mesma forma que não é possível localizar precisamente um elétron em específico, por exemplo, não é possível localizar o Homem Formiga e a Vespa, já que toda a Mecânica Quântica é baseada no Princípio da Incerteza. (Santos e Moreira, 2022, p. 18).

Este é um exemplo didático, com uma temática atual, bastante inserida na realidade dos estudantes, que pode ser utilizado para estabelecer uma conexão com

os alunos. A sequência de filmes do Homem Formiga provoca bastante mobilização entre os jovens, e essa associação do lúdico com a química quântica com um exemplo adicional, além do livro de Alice no País do Quantum, poderá gerar uma aproximação ainda maior do professor com os interesses da turma.

O cenário do País do Quantum aborda em uma passagem, que os elétrons aparecem portando um objeto, descrito pelo autor como “algum tipo de bengala, ou talvez um guarda-chuva fechado”, que *aparecia ora apontado para cima, e ora apontado para baixo*”. Em certo trecho, o “personagem elétron” se identifica da seguinte maneira: “Disse a forma: ‘Sou um elétron spin para cima. É fácil me distinguir da minha amiga ali, a elétron spin para baixo, que é obviamente muito diferente de mim.’ E pelo que Alice pôde ver, o outro elétron era quase igual, a não ser pelo guarda-chuva, ou o que quer que fosse aquilo, que apontava para baixo, na direção do chão”.

Interferência didática 3 - Neste momento, existe a oportunidade do docente mencionar o conceito de spin do elétron, que pode se configurar como “spin para cima” ou “spin para baixo”. Logo, é importante ressaltar que a alusão ao objeto com variação de direção dentro da história da Alice não foi inserida ao acaso.

No contexto de spin do elétron, poderia ser abordado o experimento de dois físicos alemães, conhecido como experimento de Stern-Gerlach, realizado em 1921. Os autores Gomes, G.G e Pietrocola, M. (2011), descrevem o experimento:

[...] consiste em fazer um feixe de átomos (originalmente átomos de prata) passar por um campo magnético não-homogêneo produzido por um ímã, e analisar a disposição desses átomos em uma placa coletora na saída do ímã (Gomes e Pietrocola, 2011, p. 4)

Originalmente, a intenção seria testar a quantização espacial, ou seja, verificar se o momento angular de átomos neutros seria ou não quantizado, na presença de um campo magnético externo. Muitos alunos do ensino médio acabam “decorando” os possíveis valores de spin de elétron, sem realmente entenderem o conceito por trás desse tópico. Assim, é importante que esta etapa seja elucidada em sala de aula.

O experimento citado anteriormente, em outras palavras, buscava compreender se a inclinação da órbita de um elétron é quantizada ou não. Para que o aluno entenda melhor: Utilizando um campo magnético, buscava-se obter a resposta sobre: Hipótese 1: A existência de um número limitado de possíveis inclinações (apenas determinadas angulações seriam permitidas), ou sobre a Hipótese

2: Possibilidade da ocorrência de qualquer tipo de inclinação. Assim, o resultado esperado na época, de acordo com o que se acreditava na Física Clássica, seria a segunda hipótese, com a presença de uma mancha contínua, caracterizada pelos átomos desviados na parede atrás do experimento.

Debruçando-se sobre a Química Quântica, o esperado seria a primeira hipótese (número limitado de inclinações). Desta forma, como resultado do experimento, seria possível observar apenas algumas manchas, e de forma randômica. Entretanto, contrariando todas as possíveis previsões, o experimento demonstrou duas manchas separadas, conforme a figura a seguir:

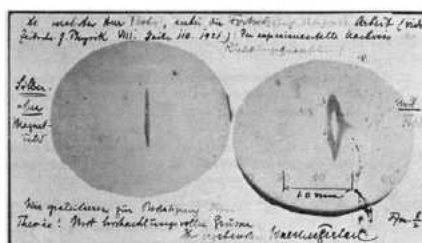


Figura 1- Postal enviado por Walther Gerlach a Niels Bohr em fevereiro de 1922, que mostra uma foto onde aparece a prata depositada na placa de vidro, após uma revelação (fotográfica), para os casos sem campo (esquerda) e com campo magnético (direita). Gerlach escreve: “Anexo [está] a prova experimental da quantização direcional. Nós te parabenizamos pela confirmação de sua teoria” (Courtesy AIP Emilio Segrè Visual Archives).

Fonte: <https://physicstoday.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.1650229>

Oliveira (2022), descreve que tal resultado caracterizou a propriedade que atualmente é chamada de spin, definido como o momento magnético intrínseco das partículas. É importante esclarecer que, conforme cita Oliveira (2022), em relação ao spin:

[...] está associado com a maneira como os elétrons ocupam os níveis de energia no átomo. Um elétron pode ter o spin “up” (para cima) ou “down” (para baixo). Essa nomenclatura é apenas para diferenciar duas situações, pois não existe “para cima” e “para baixo” nos átomos. O spin é uma característica intrínseca das partículas elementares (Oliveira, 2022).

Este é um ponto bastante relevante de ser apontado para os alunos. Em termos de aplicação prática para o cotidiano, é possível citar as propriedades magnéticas da matéria. A publicação do Departamento de Física para o Instituto de Ciência Hoje detalha que:

Materiais magnéticos têm uma infinidade de aplicações – desde ímãs de geladeira aos ímãs utilizados em motores elétricos,

passando pelos materiais utilizados para a gravação magnética de informação nos discos rígidos dos computadores. A maior parte das informações existentes atualmente está gravada magneticamente em discos rígidos dos computadores espalhados por todo o mundo. (...) Além disso, a utilização do spin no processamento de informações permitirá o desenvolvimento de novos algoritmos de computação, que poderão utilizar as propriedades quânticas do spin. Esse novo ramo de conhecimento chama-se computação quântica (Oliveira, 2022).

Esta é uma ótima oportunidade para o professor abordar a aplicação do conteúdo com o cotidiano, e também de indicar para os alunos algumas revistas online e periódicos confiáveis de consulta, como por exemplo "Ciência Hoje", "Scientific American", e "Academia Brasileira de Ciências".

Seguindo a caminhada da personagem Alice através do País do Quantum, ela se depara com um grupo de operários trabalhando em uma construção. Todavia, essa atividade estava sendo realizada de forma pouco usual, uma vez que os tijolos estavam sendo atirados no terreno de maneira bastante desordenada. Alice questionou tal comportamento, e obteve como resposta: *"É bem verdade que as flutuações aleatórias ainda são grandes o bastante para esconder o padrão, mas assim que tivermos estabelecido a distribuição de probabilidades para o resultado que precisamos, estaremos conseguindo, não há o que temer"*.

Pouco tempo depois, o autor descreve que Alice, surpresa, *"notou que alguns tijolos caíam mais em certas regiões do que em outras, e que era possível distinguir paredes e vãos de portas"*. Na sequência, o personagem caracterizado pelo Mestre de obras explicou: *"Aqui não podemos controlar onde cada tijolo vai, apenas a probabilidade de que irá para um lugar ou outro. Isto quer dizer que quando há poucos tijolos, eles podem cair em quase todos os lugares e então não parecem ter nenhum tipo de padrão. Quando seu número aumenta, porém, você descobre que só há tijolos onde há alguma probabilidade de que eles estejam lá; e onde a probabilidade é maior, é onde haverá mais tijolos"*.

Interferência didática 4 - Assim, o professor consegue promover a discussão sobre as distribuições de probabilidade, argumento reproduzido pela Química Quântica. Em razão de não ser possível determinar as posições e os momentos das partículas com confiabilidade simultânea em termos de precisão, a teoria quântica justifica que "é possível apenas fazer previsões sobre o comportamento provável dessas partículas" (Resnick e Eisberg, 1994,

p. 54). Os autores Feynman e Leighton (2013, p. 13) discorrem que:

Como ninguém encontrou uma forma de burlar o Princípio da Incerteza, até onde sabemos este princípio expressa o que entendemos ser uma característica da natureza. A partir destes experimentos, só falamos em probabilidade de diferentes eventos, não mais falamos em o que ocorrerá em uma dada circunstância. Tudo o que temos a fazer é calcular probabilidades. (Feynman e Leighton 2013, p. 13).

Uma curiosidade interessante de ser apresentada aos alunos é a famosa frase de Albert Einstein, que mencionou que "Deus não joga dados com o universo". Essa frase é uma referência a uma crítica de Einstein à "nova era da mecânica quântica" e sua interpretação probabilística. De acordo com a literatura, Einstein foi incansável na busca por teorias e experimentos que refutassem o princípio de incerteza, por exemplo. Entretanto, todas as tentativas de oposição de Einstein foram contrapostas com argumentos matemáticos relevantes e incontestáveis de Niels Bohr. Houllauer, (2007), compartilha que:

Em um dos mais conhecidos episódios desse duelo ("Einstein x Bohr"), Einstein anunciou no Congresso de Solvay (1930), uma experiência pensada que provaria a possibilidade de medida simultânea das variáveis tempo e energia de um sistema. Um esboço do aparelho para realização dessa experiência é apresentado [...], desenhada pelo próprio Bohr, [...] e conhecida como a *controvérsia* (Houllauer, 2007, p. 59).

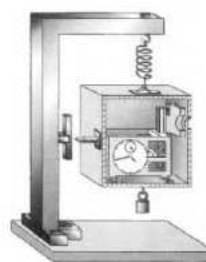


Figura 2 - Caricatura pseudo-realista de um dos dispositivos idealizados por Einstein com a intenção de burlar o princípio da incerteza desenhado por Bohr.

Fonte: Livro: Química Quântica (Houllauer, E., 2007).

Segundo o livro publicado por Houllauer (2007), a descrição do experimento se dava da seguinte forma:

O processo de medida era simples, constituindo-se de uma balança precisa que sustentava uma caixa fechada contendo um relógio. Além de engrenagens destinadas ao funcionamento do relógio, a caixa continha radiação a baixa intensidade e um pequeno orifício que podia ser aberto ou fechado para se deixar sair um fóton. Segundo Einstein, com a diferença no peso da caixa, antes e após a saída de um fóton, seria possível conhecer a sua energia exata. Por outro lado, como existia um relógio interno completamente independente, faz-se conhecer o momento exato em que o fóton sai, para que se possa determinar 't' e 'E' com precisão, o que burlaria o princípio da incerteza associado a essas duas variáveis (...). (Houllauer, 2007, p. 59)

O autor descreve que Bohr foi capaz de refutar a teoria do experimento, juntamente com Heisenberg e Pauli, através de premissas provenientes da teoria de relatividade geral, cuja origem encontra-se em trabalhos de Galileu, porém seu aprimoramento foi realizado justamente por Albert Einstein.

Houllauer (2007, p. 59), demonstra que:

A argumentação afirmava que, como a caixa estava sujeita a um campo gravitacional, o andamento do relógio dependia da sua posição nesse campo. Assim o fóton, ao abandonar a caixa, provoca um movimento oscilatório do pêndulo definido por mola e caixa. É esse movimento que introduz uma incerteza nas medidas de massa feitas pela mola e de tempo feitas pelo relógio interno. Bohr, Heisenberg e Pauli calcularam essas incertezas, confirmando o princípio da incerteza de Heisenberg. Einstein aceitou a contestação de sua experiência pela acurada resposta lógica oferecida, mas jamais se convenceu do caráter probabilístico da mecânica quântica (Houllauer, 2007, p. 59).

Apesar disso, as previsões da Mecânica Quântica têm sido testadas e confirmadas experimentalmente ao longo de várias décadas. De fato, a interpretação de Max Born, que relaciona as propriedades da função de onda com o comportamento da partícula em termos de densidade de probabilidade é uma das teorias mais aceitas da mecânica quântica na atualidade. Almeida (2018), descreve que:

De acordo com Born, a função $|\Psi|^2$ é uma grandeza estatística que determina a densidade de probabilidade. Portanto, $|\Psi|^2$ dá a probabilidade de encontrarmos a

partícula, que está associada à função de onda Ψ , em uma determinada posição. Com a descoberta do comportamento dual da matéria, a Física Quântica evidencia que a natureza possui comportamento estatístico[...], em que partículas como átomos, elétrons e prótons, podem ser descritos por uma função que representa a probabilidade de se encontrar em determinada região do espaço". Em relação a essa citação, é importante ressaltar que não há a necessidade, a nível de ensino médio, de inserir cálculos. O professor pode apenas apresentar o conceito de Ψ , mostrando que descreve uma função de onda de uma partícula na Mecânica Quântica (Almeida, 2018, p. 70)

Para explicar melhor o conceito de função de onda para Mecânica Quântica, é possível debruçar-se sobre o esclarecimento do Professor do IFRJ, Antonio Florencio, em sua aula de noções básicas da função de onda (anotações de aula de 2020):

[...] função de onda é uma entidade matemática que contém todas as características do sistema estudado. Porém, a função de onda em si não apresenta significado físico. Para que ela adquira tal significado, é preciso operá-la. Qualquer onda, seja ela qual for, é descrita através de uma equação matemática. (Florencio, 2020, Anotações de aula).

Assim, o professor pode reforçar que Ψ "sozinho" não apresenta significado físico, porém o seu quadrado adquire grande relevância, descrevendo a probabilidade de encontrar uma partícula em uma determinada região do espaço.

Uma implicação do Princípio da Incerteza que poderia também ser ressaltada pelo professor é uma mudança significativa na maneira de entendimento do átomo. Antes do surgimento do princípio elaborado por Heisenberg, o modelo de átomo mais recente era o de Bohr, em que era possível determinar tanto a posição do núcleo quanto a posição do elétron. Segundo Bohr, o elétron estaria circulando ao redor do núcleo. Todavia, a elucidação do princípio da incerteza, em que Heisenberg defendia que algumas propriedades não poderiam ser medidas de maneira simultânea, teve como consequência não ser mais possível afirmar a posição e a trajetória do elétron. Assim, o entendimento do átomo passa a ser pautado no modelo quântico, que não admite uma referência com valores exatos, e sim em uma estatística sobre várias medidas.

Em dado momento da narrativa, ainda no capítulo "No País do Quantum", Alice se deparou com um cartaz com a seguinte informação: "Insatisfeito com

seu Estado? Gostaria de passar para um nível mais alto? Ajudaremos você a fazer a Transição por apenas 10 eV (Oferta sujeita à limitação usual da exclusão de Pauli).” A personagem foi orientada que para ter as respostas desejadas e explicações sobre o mundo inusitado que estava visitando, precisaria seguir até o Instituto de Mecânica. Para isso, a menina precisou passar pelo “Banco de Heisenberg”.



Figura 3: Alice em frente ao Banco de Heisenberg.

Fonte: Gilmore, 1998.

Este é um cenário interessante para o docente realizar uma alusão sobre promoção eletrônica pois, pela descrição do autor, seria um local bastante semelhante a um banco financeiro convencional, com um “amplo salão dividido em barreiras de filas e caixas onde partículas virtuais esperam por empréstimo de energia”.

Interferência didática 5: Neste momento, o professor poderia explicar a mensagem no cartaz, através das transições eletrônicas. Nota: A explicação sobre o princípio de exclusão de Pauli poderia ser elaborada mais à frente, em um momento mais adequado na obra de Gilmore.

O livro de Gilmore não menciona sobre os espectros de transições eletrônicas, porém aqui também cabe comentar que, a transição de um elétron de uma camada interna para uma camada mais externa, acarreta em uma absorção de energia por esse elétron; enquanto no processo de retorno ao nível de energia fundamental, ocorre liberação de fótons em forma de energia luminosa. Uma ponderação a ser feita com os alunos é a de que os “saltos” realizados pelos elétrons são sempre referentes a mudanças completas de nível (do segundo nível, para o terceiro nível, por exemplo), passando para uma outra órbita, segundo Bohr, e nunca permanecendo em uma região intermediária. Sussuchi e Santos (2018), complementam que:

Quando o elétron está em um orbital de energia mais baixa (o orbital 1s), diz-se que o átomo está em seu estado fundamental.

Quando o elétron está em qualquer outro orbital, o átomo está em estado excitado. O elétron pode ser excitado para um orbital de mais alta energia pela absorção de um fóton de energia apropriada (Sussuchi e Santos, 2018, anotações de aula).

Assim, quando o cartaz menciona sobre “passar para um nível mais alto”, está se referindo à excitação de um elétron para um nível de maior energia. Cabe ressaltar que essas afirmações estão pautadas no modelo de Bohr, visto que no modelo de Schrödinger, orbitais são funções de onda dos elétrons e através da excitação eletrônica, a promoção para um outro nível energético implicaria no elétron ser descrito por outra função de onda correspondente ao seu novo estado.

Sobre a quantidade de 10eV descrita no cartaz, o professor poderia ponderar que, segundo a definição de Atkins (2003): “Um elétron-volt (1 eV) é a energia necessária para movimentar um elétron quando submetido a uma diferença de potencial de 1 V”.

Em sequência, já no capítulo denominado “O Instituto de Mecânica”, de forma fabular, o autor do livro descreve dois personagens em um jogo de bilhar: Um seria o mecânico clássico, e o outro, o mecânico quântico. O primeiro foi descrito como sendo um personagem com características notadamente mais formais, sendo “alto e angular”, trajando uma “camisa branca e engomada com colarinho duro e também alto, uma gravata estreita e um macacão”. Ademais, o profissional do mundo clássico apresentava “rosto aquilino”, ou seja, alguém com um olhar contendo uma profundidade similar ao de uma águia, remetendo à inteligência e perspicácia.

Quanto ao mecânico quântico, o mesmo é definido como sendo menor e mais jovem do que seu colega recém apresentado. Este profissional utilizava “óculos grandes, e era difícil perceber para onde ele estava olhando, ou mesmo onde exatamente estavam seus olhos”. Adicionalmente, o personagem trajava jaleco de laboratório “com desenho de algo vagamente atômico na frente”.



Figura 4: O Mecânico Clássico e o Mecânico Quântico.

Fonte: Gilmore, 1998.

Antes de executar a tacada, o primeiro preza pela observação criteriosa e movimentos precisos e exatos, pois defende a previsibilidade dos movimentos, e afirma que trabalha com máquinas a vapor. Enquanto isso, o mecânico quântico desenvolve o jogo de forma completamente distinta, com um movimento vago que faz com que a bola atinja várias direções ao mesmo tempo. Este segundo personagem afirma que prefere trabalhar com computadores.

Interferência didática 6: Neste capítulo, surge uma comparação interessante entre conceitos da Mecânica Clássica e da Mecânica Quântica, até mesmo na forma que os dois personagens jogam o jogo de bilhar. Assim, vale a reflexão com os alunos: Entre a Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica, existe alguma que seja “melhor” do que a outra? Qual é a importância de cada uma? A mecânica clássica está “obsoleta”? O professor poderia aproveitar o capítulo para comentar de forma geral sobre algumas diferenças entre a Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica.

A mecânica clássica é fundamentada nas leis de Newton e no eletromagnetismo clássico de Maxwell, e suas premissas não estão “obsoletas”, apenas são aplicadas para estados macroscópicos da matéria. É importante que o aluno tenha essa consciência, e saiba definir minimamente algumas aplicações da mecânica clássica em nosso cotidiano, pois isso faz parte da formação como cidadão crítico e atuante na sociedade. Algumas aplicações muito utilizadas são: A força aplicada para movimentação de um objeto, a trajetória de um veículo em determinado percurso, força centrípeta em trajetórias curvas, o trabalho realizado com alavancas, a inclinação que realizamos para a execução de um exercício físico na academia, além de diversas aplicações na engenharia, como geradores de energia elétrica, aparelhos de comunicação, GPS, entre outros.

Por outro lado, a física de partículas microscópicas não pode ser explicada por essas teorias. Assim, foi desenvolvida a mecânica quântica. Na teoria clássica, a luz era tratada como uma onda eletromagnética, enquanto na teoria quântica, a luz é formada por pacotes de energia, e apresenta comportamento dual (onda e partícula, simultaneamente). Os trabalhos de Costa (2021), apontam que:

A descrição do comportamento de sistemas em física quântica foi estabelecida a partir de 1925 com o advento da equação de Schroedinger, e então os cientistas logo viram que mesmo possuindo uma equação para descrever o comportamento das ondas de matéria, as coisas não estavam tão bem estabelecidas. As previsões da mecânica quântica são diferentes das previsões da mecânica clássica. Começando pelo fato de que na equação de Schroedinger, que “descreve” os eventos quânticos, aparece um fator imaginário “ $i = \sqrt{-1}$ ”, que faz com que a função de onda, que descreve sistemas físicos reais, seja complexa. [...] Na química quântica, a interpretação probabilística nos leva aos orbitais eletrônicos, que junto com o princípio de Pauli, nos permitem ter uma visão do átomo e compreender as ligações químicas entre os elementos. (Costa, 2021, p. 12 e 13)

Desta forma, através dos conteúdos expostos, verifica-se a importância do entendimento da história da ciência. No que tange à mecânica clássica e à mecânica quântica, não se pode afirmar simplesmente que uma seria “melhor” do que a outra. O que pode ser avaliado é a aplicabilidade de cada teoria. A evolução da ciência acontece através de muitos debates, questionamentos sobre novas teorias, dados e artigos que comprovam essas teorias com experimentos, e até mesmo novos experimentos que refutam os anteriores. A ciência não deve ser tratada como um grande dogma, mas sim como uma possibilidade de estudo, novas descobertas e oportunidades de aprendizado contínuo.

No decorrer da obra de Gilmore, Alice é conduzida para a sala *gedanken* (ou “sala de pensar”), que é uma sala descrita como um local “onde os pensamentos das pessoas tomam forma, para que todos possam vê-los”. Inicialmente, Alice pensou em coelhos, como seria na fábula original do País das Maravilhas. Porém, como o personagem que a estava conduzindo por esta experiência (o “Mecânico Clássico”), desejava demonstrar como funcionava a interferência das ondas, ele precisou fazer com que o animal desaparecesse. Assim, o pensamento deste personagem fez com que surgissem ondas, seguidas por ondas circulares.

Retomando à obra de Gilmore, depois da experiência com a sala de pensar, Alice é apresentada ao gato de Schrödinger. “Alice viu um grande gato listrado que dormia numa cesta num dos cantos da sala. Como se despertado por ter ouvido seu nome, o gato se levantou, espreguiçando-se. Ou melhor, levantou-se e não se levantou, espreguiçou-se e não se espreguiçou. Alice viu que, além da figura levemente difusa do gato de costas arqueadas, havia também um gato idêntico, que ainda dormia no fundo da cesta. Ele estava muito rígido, numa posição muito pouco natural. Olhando para ele, Alice poderia jurar que ele estava morto”.

Interferência didática 7: Neste ponto, o docente poderia introduzir o famoso paradoxo mental do gato de Schrödinger. De acordo com Krause (2018):

Ele imaginou o experimento envolvendo um objeto macroscópico, um gato. Porém, saliente-se, não se observam objetos macroscópicos em superposição, mas isso ocorre com objetos à escala quântica. (Krause, 2018, p. 107).

O experimento basicamente envolve um gato imaginário ocupando uma caixa lacrada, juntamente com uma substância contendo veneno e uma substância radioativa, com um dispositivo programado para liberá-la de forma completamente aleatória. Caso o veneno seja liberado (com o decaimento de uma partícula), a consequência será a morte do gato. Caso contrário, o gato não teria destino fatal, e continuaria vivo.

O paradoxo do experimento é o seguinte: À medida que o cientista fecha a caixa, se levarmos em consideração as teorias e cálculos da mecânica quântica, o material radioativo encontra-se em uma superposição entre ter decaído e não ter decaído. Seria necessário que acontecesse uma medição, ou seja, que o cientista abrisse a caixa para verificar o estado do gato. Enquanto isso, não é possível determinar exatamente qual é a situação do gato previamente à abertura da superfície. Existe uma probabilidade de 50% do gato estar vivo, e de 50% do gato estar morto. É como se o gato estivesse também em uma “superposição”, entre “vida” e “morte”.

Krause (2018, p. 108), ressalta que: “Neste caso, existe uma situação particular de uma superposição, denominada de emaranhamento”, e complementa:

Experimentos que simulam a situação do gato de Schrödinger podem ser realizados ao nível quântico, como tem sido comum nos dias de hoje, colocando-se sistemas quânticos em estados emaranhados. Essa é, na verdade, uma das maiores revoluções proporcionadas pela Mecânica Quântica,

possibilitando, dentre outras coisas, a computação quântica e as discussões sobre a informação quântica. (Krause, 2018, p. 108).

Este célebre paradoxo é uma ferramenta interessante de ser abordada em sala de aula, por proporcionar inúmeras reflexões e discussões entre os alunos. Ademais, o professor poderia utilizar também uma situação paralela com uma famosa série de televisão, que costuma fazer bastante sucesso entre os jovens, e que mistura ciência com comédia: A série americana chamada “*The Big Bang Theory*”. O seguinte trecho da plataforma de vídeos Youtube ilustra de forma bem-humorada a experiência de Schrödinger, onde o personagem Sheldon, que é um físico teórico, tenta descrevê-lo para a personagem Penny, garçonne e aspirante a atriz. Enquanto a moça solicita conselhos amorosos, sobre aceitar ou não seguir um romance com um amigo, por receio de como a história poderia se desenrolar e sobre as consequências disso, Sheldon traz à tona uma analogia à experiência de Schrödinger, fazendo com que Penny reflita sobre a questão de que, só poderá ter certeza em relação ao que irá acontecer quando de fato tomar uma decisão.

O vídeo pode ser acessado de forma gratuita em sala de aula através do link abaixo: <<https://www.youtube.com/watch?v=SüiQwRPVig>>. A transcrição de parte do diálogo entre os personagens está descrita abaixo:

Penny: Se as coisas não derem certo com Leonard, posso perder um grande amigo. Acho que ele não quer um casinho. Ele é do tipo que entra em uma relação por, como você diria, anos-luz.

Sheldon: Eu não diria isso. Ninguém diria isso. Ano-luz é uma unidade de distância, não de tempo.

Penny: Obrigada por esclarecer (...); Sheldon, você tem algo para me dizer que tenha a ver com o que eu estou falando?

Sheldon: Bom, vejamos. Podemos considerar o gato de Schrödinger.

Penny: Schrödinger? Essa é a mulher que mora no 2A?

Sheldon: Não. (...) De qualquer forma, em 1935, Erwin Schrödinger, em uma tentativa de explicar a interpretação de física quântica de Copenhague, propôs um experimento onde um gato era colocado em uma caixa com um vidro de veneno que poderia quebrar a qualquer momento. Já que ninguém sabia quando o veneno seria lançado, até a caixa ser aberta o gato poderia estar vivo ou morto.

Penny: Desculpa, eu não entendi seu ponto.

Sheldon: Bom, mas é claro que você não entendeu, eu não terminei ainda. Você teria que ser uma vidente para ver isso, e não existem videntes.

Penny: Sheldon, qual é o seu ponto? Sheldon: Assim como o gato de Schrodinger, sua relação em potencial com o Leonard pode ser pensada como boa ou má. É só abrindo a caixa que você realmente vai descobrir do que se trata." (Série "The Big Bang Theory", 2012).

Este vídeo, que apresenta legenda em português e curta duração (aproximadamente 4 minutos), pode ser utilizado como um interessante método para chamar a atenção dos alunos ao assunto. Atualmente, os jovens consomem grande quantidade de material áudio-visual, e esta é uma forma do professor se aproximar do cotidiano dos estudantes, trazendo um conteúdo relevante, e ao mesmo tempo, de maneira lúdica. De acordo com Mello, 2003:

"O lúdico na educação é utilizado para valorizar a perspectiva do aluno. Reencontrar o lúdico, entender seu valor revolucionário, torna-se imperativo se deseja preservar os valores humanos [...]. Da mesma forma, por meio dele podemos resgatar a criatividade [...]. O lúdico precisa ser utilizado durante o processo ensino aprendizagem de conteúdos científicos. Ele não é o fim, mas um meio para alcançar objetivos de forma prazerosa". (Mello, 2003, p. 31).

Assim, realizando o paralelo de um livro didático com a cena de um sitcom através de uma famosa plataforma de vídeos, o aluno apresentará uma probabilidade muito maior de se interessar pelo tópico de ensino, e consequentemente, o professor poderá desencadear o processo de aprendizagem significativa na turma. O sitcom "The Big Bang Theory" pode ser uma boa recomendação de entretenimento aos alunos, uma vez que eles podem se divertir, e ao mesmo tempo, ser instigados ao aprendizado. A série apresenta conteúdo científico mesclado com humor, e todo o seu conteúdo acadêmico foi validado pelo físico e professor de física e astronomia da Universidade da Califórnia em Los Angeles, David Saltzberg. Em uma entrevista para a revista "Super Interessante", publicada originalmente em 15 de Julho de 2012, David afirmou que atuava como um consultor científico, sendo responsável pela revisão e correção dos erros que eventualmente poderiam ser gerados no texto original da série. Assim, o corpo docente não teria a preocupação sobre indicar aos alunos alguma fonte com informações inverídicas.

Em sua inusitada aventura no País do Quantum, Alice foi conduzida a um novo cenário importante, a Academia Fermi-Bose, onde foi apresentada ao Diretor Principal, descrito como: "uma figura

imponente, um homem largo e muito corpulento que parecia ainda mais pesado e enorme com a beca acadêmica e o chapéu de bacharel que usava. Seu rosto redondo e corado era enfeitado por um bigode volumoso e costeletas".

A dupla adentrou a academia, e enquanto andavam pelo prédio, Alice entendeu que o local seria uma escola, e os alunos seriam as partículas. Na sequência, a menina passou por alguns elétrons criando uma certa "algazarra", disparando por corredores laterais. Como os elétrons eram todos iguais, e havia muita bagunça, Alice comentou que o momento da chamada na aula deveria ser um inferno. O diretor então esclareceu que: "Os elétrons não são tão maus. Nós apenas os contamos e vemos se o total está correto. Pelo menos o número dos elétrons permanece sempre o mesmo, então sabemos quantos deveríamos ter, mas com os fótons, nem mesmo isso funciona. Fótons são bósons, e por isso não se conservam. Você pode começar a aula com, digamos, trinta, e acabar a aula com cinquenta. Ou o número pode cair para menos de vinte - é difícil adivinhar. Isso dificulta muito a vida dos empregados da escola".

Ao passo que a menina não entendeu o que seriam "bósons", o diretor a levou até a aula de "Fatos de simetria para iniciantes". Na aula, o professor disserta que: "A probabilidade de se fazer uma observação é dada pelo quadrado de sua função de onda, isto é, o valor da função multiplicado por si mesmo. Como vocês são todos idênticos, é óbvio que quando dois de vocês trocam de lugar, a diferença não é observável e por isso o quadrado de sua função de onda não se altera. Pode até parecer que não houve alteração nenhuma. Alguém sabe me dizer o que pode se alterar? Um dos "alunos-elétrons" responde que o sinal pode se alterar, e o professor confirma e complementa: "Há dois casos em que o quadrado de suas amplitudes não muda. Pode ser que a amplitude não se altere quando dois de vocês mudam de lugar. Nesse caso, as partículas são bósons, como vocês, os fótons. Contudo, há ainda outra possibilidade. Quando dois de vocês trocam de lugar, a amplitude pode se inverter. Muda de positiva para negativa e vice-versa. Neste caso, o quadrado permanece positivo e a distribuição de probabilidades fica inalterada, pois multiplicar a amplitude por si mesma leva duas inversões, o que resulta em nenhuma mudança. É isso que acontece com férmions como vocês, elétrons".

Interferência didática 8: Este capítulo da obra de Gilmore é relevante para que o professor apresente aos alunos a discussão sobre partículas elementares, lembrando alguns conteúdos sobre a estrutura do átomo, e explicando outros tópicos novos. Assim, o professor poderia partir do subunçor de que os alunos, no ensino médio, já possuem o conhecimento

de que os átomos constituem todos os elementos. Com base neste princípio, o docente pode fomentar a discussão de "será que existe alguma estrutura ainda mais fundamental do que o átomo?", de forma a instigar os alunos a participarem da aula, lembrando conceitos e definições de que o átomo é constituído de prótons, elétrons e nêutrons.

Considerando o universo das partículas, existem ainda outras subpartículas elementares que compõem os prótons, elétrons e nêutrons, que são os férmions e bósons, mencionados no trecho da história de Alice destacado anteriormente. Portanto, esta seria uma oportunidade do professor explicar sobre a existência dessas subpartículas, mencionando que são muito instáveis, razão pela qual, no trecho do livro destacado acima, o personagem professor utiliza a alusão de que, para os "alunos-bósons", é difícil determinar a quantidade de estudantes que permanecem em sala de aula até o final, pois existe grande variação. De acordo com Resnick e Eisberg (1994):

"Nas estatísticas quânticas, as partículas descritas por autofunções anti-simétricas são denominadas férmions e as partículas descritas por autofunções simétricas são chamadas de bósons. Em outras palavras, as autofunções de um sistema de férmions mudam de sinal quando se trocam os índices de dois deles, enquanto as autofunções de um sistema de bósons não mudam de sinal numa tal troca de índices". (Resnick e Eisberg, 1994, p. 481).

Apesar desta definição ser esclarecedora para o nível docente, é totalmente compreensível que o aluno do ensino médio não saiba o que é uma "autofunção", e também não saiba sobre conceitos de simetria. Logo, se o professor explicasse unicamente com base na definição deste livro, haveria uma grande probabilidade do aluno não entender. Entretanto, na obra de Gilmore, durante a aula de "Fatos de simetria para iniciantes", o personagem professor comenta sobre funções de onda de maneira geral, e traz exemplos de inversão ou não de amplitudes quando as partículas "trocam de lugar". Ou seja, é a mesma explicação sobre férmions e bósons, porém com uma linguagem que se aproxima mais do ensino médio.

Adicionalmente, o professor poderia destacar para os alunos que o nome do capítulo do livro que está sendo estudado (Academia Fermi-Bose), se trata de uma homenagem a dois renomados físicos, Enrico Fermi e Satyendra Nath Bose, cujos trabalhos trouxeram grandes avanços no desenvolvimento das estatísticas quânticas.

Em um segundo momento, o diretor detalhou melhor sobre qual seria a diferença entre bósons e férmions: "Férmions são individualistas. Dois deles nunca farão

exatamente a mesma coisa, enquanto os bósons são sociáveis. Adoram andar em gangues, onde cada um se comporta da mesmíssima maneira que os outros."

Nessa hora, o Mecânico Quântico levou Alice para fora da sala de aula. "Aí está", ele disse. "Este é o Princípio de Pauli. Ele diz que dois férmions do mesmo tipo não podem nunca estar fazendo a mesma coisa, por isso só se pode ter apenas um em cada estado. O princípio se aplica a férmions de todo tipo, mas não a bósons".

Interferência didática 9: Neste ponto, o professor pode elucidar mais características de férmions e bósons, para melhor compreensão dos alunos e ajuda no entendimento da comparação do autor do livro de Alice com um comportamento "individualista". Assim, o docente poderia deixar claro que férmions possuem spins fracionários (como por exemplo, o elétron, que apresenta número quântico de spin igual a meio), enquanto bósons apresentam spins com valores inteiros (por exemplo, o fóton, que apresenta spin igual a 1).

Entretanto, esta explicação ainda não responde à pergunta sobre o "comportamento individualista", pois esta característica é uma consequência do Princípio da exclusão de Pauli, citada em sequência no trecho destacado, pelo personagem "Mecânico Quântico". De acordo com a definição de Atkins (2003):

"Somente dois elétrons podem ocupar um único orbital e, se dois ocupam um único orbital, então seus spins devem estar emparelhados. 'Emparelhado' significa que o spin de um elétron deve ser \uparrow e o do outro \downarrow ; o par é simbolizado por $\uparrow\downarrow$. Outra forma de expressar o princípio é observar que, pelo fato de um elétron num átomo ser descrito por quatro números quânticos variáveis, dois elétrons não podem ter os mesmos quatro números quânticos. O princípio de Pauli foi originalmente introduzido para esclarecer a ausência de certas transições no espectro atômico do hélio." (Atkins, 2003, p. 33)

Novamente, o trecho acima faz uso do modelo de Bohr para descrever a "ocupação de orbitais" por elétrons. Sabe-se que a diferenciação do número quântico de spin na mecânica quântica se dá na função de onda descrita para cada elétron.

Assim, retomando as características de férmions e bósons, o professor pode orientar que apenas os férmions obedecem ao princípio de exclusão de Pauli, enquanto os bósons apresentam comportamento distinto, ou seja, não há restrição quanto ao número de espécies em um mesmo nível de energia. Portanto, quando Gilmore cita

"comportamento individualista" dos férmions, em que "dois deles nunca farão exatamente a mesma coisa, enquanto os bósons são sociáveis", o autor está simbolizando de forma lúdica a relação entre essas partículas subatômicas e a associação com o princípio da exclusão de Pauli. Os bósons são "sociáveis", pois podem ser acumulados em um determinado nível de energia, enquanto o mesmo não ocorre com os férmions, pois estes obedecem a uma hierarquia nos níveis de energia. A tabela abaixo pode ser utilizada em sala de aula para resumir o conteúdo abordado:

	Bósons	Férmions
Características básicas	Partículas idênticas de spin zero ou inteiro Ex: Fótons (spin = 1) Ex: Partícula alfa (spin = 0)	Possuem spins fracionários. Ex: elétrons, prótons, nêutrons, pósitrons. (todos com spin = 1/2)
Obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli?	Não	Sim
Autoações das partículas	Simétricas numa troca de índices das partículas	Anti-simétricas numa troca dos índices das partículas

Tabela 1: Conteúdo adaptado de EISBERG e RESNICK. Física Quântica - Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas GEN LTC; 1ª edição (30 julho 1979). Cap. 11: Estatística Quântica.

Em relação ao Princípio da Exclusão de Pauli, o docente pode ainda promover a discussão sobre: "Como dois elétrons podem coexistir num mesmo orbital se, por terem cargas de mesmo sinal, eles se repelem?" Discussões dessa natureza fazem com que os alunos participem mais ativamente da aula, e possam refletir criticamente sobre os conteúdos aprendidos. Nesse caso, seguindo o princípio da exclusão de Pauli, os elétrons que coexistem no orbital devem conter spins emparelhados. Logo, spins contrários apresentam a repulsão da carga negativa, entretanto, como giram em sentidos opostos (um gira no sentido horário, e o outro gira em sentido anti-horário), a consequência é que são gerados campos magnéticos invertidos, que irão se atrair; e a atração entre os campos magnéticos compensa a repulsão entre as cargas.

Um outro exemplo interessante de ser abordado, com relação ao cotidiano dos estudantes, é o laser. O Professor do IFRJ, Antonio Florencio, em sua vídeo-aula denominada "Quarks, Férmions, Bósons, Mésons, etc - Uma grande família de subpartículas", publicada em agosto de 2017, cita que "a própria existência do laser é uma consequência dos fótons serem bósons, e portanto, é possível acumular fótons em um determinado nível de energia". Assim, a luz do laser é uma forma particular de luz produzida através de um processo chamado de emissão estimulada. Uma característica importante do laser a ser ressaltada em sala de aula é que todas as pequenas porções de luz produzidas apresentam comportamento idêntico. Isso ocorre porque a

emissão estimulada faz com que os elétrons decaiam de maneira ordenada e sincronizada, gerando uma onda de luz com todos os fótons com a mesma direção.

CONCLUSÃO

A partir de toda a estrutura apresentada neste trabalho, foi demonstrado que é viável introduzir conceitos de Química Quântica no ensino médio, e que o paradigma de aulas estritamente conceituais e teóricas pode ser rompido através da ludicidade. O livro "Alice do País do Quantum" configura-se como uma importante aquisição pedagógica neste sentido, em que o professor consegue conduzir o aluno em uma jornada científica rumo às fronteiras do mundo subatômico, utilizando referenciais teóricos que sustentam essa prática teórico-metodológica.

Acredita-se que os trechos e capítulos selecionados da obra literária de Robert Gilmore, que englobam conceitos da mecânica quântica, possibilitam a compreensão do jovem estudante em sua última etapa da educação básica de ensino no Brasil. O papel do professor desencadeia-se como sendo fundamental neste processo, uma vez que, através das interferências didáticas apresentadas, o docente realiza a mediação entre os conhecimentos, e desmistifica a concepção comumente popularizada, de que a química em si seria árdua, dificultosa, e sem correlação com a realidade do estudante. Este trabalho evidenciou que, mesmo não utilizando a formalização matemática de Cálculo Diferencial e Integral, foi possível discutir sobre conceitos como o princípio da incerteza de Heisenberg, dualidade, distribuições de probabilidade, entre outros que compõem o universo quântico. Mesmo de forma qualitativa, esses conteúdos podem ser assimilados com uma aprendizagem estimuladora.

É extremamente importante que o aluno se aproprie de conhecimentos científicos para a sua formação como cidadão crítico e atuante na sociedade. Os avanços da pesquisa quântica em relação à tecnologia são incontestáveis, e este é um tema cada vez mais presente no cotidiano dos estudantes, como por exemplo no desenvolvimento da computação quântica e da nanotecnologia.

Em face do exposto, a educação científica na escola precisa ajudar o jovem a construir uma base sólida em relação a fenômenos químicos, para que ele consiga não apenas se posicionar frente a situações do cotidiano, com uma visão holística, mas também identificar inconsistências em pseudo-ciências, como teorias de "cura quântica", que podem até mesmo gerar consequências graves em termos de saúde pública. Para este trabalho, foi utilizada uma obra literária como ferramenta para o lúdico, e destaca-se que é essencial que o lúdico seja aplicado com planejamento de conteúdo e de forma proposital, a

fim de que não seja apenas uma “aula divertida”, mas também um espaço de aprendizagem significativa.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. P. Sequência Didática para o ensino de Quântica. Universidade Federal do Tocantis, 2018.
- ATKINS, P.W. Química Inorgânica. Editora Bookman, São Paulo, 2003.
- CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. Química. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- COSTA, S.D.F. Física e Realidade. Escola de Ciências Exatas e da Computação. Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO). Junho de 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1904/1/TCC_F%C3%ADsica%20e%20Realidade_Solu%C3%A1%20Daniele%20Freireira%20da%20Costa%20_21junho2021.pdf>. Último acesso em 26/02/2023.
- EISBERG, R.; RESNICK, R. Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos Partículas. Editora Campus, Rio de Janeiro, 1994.
- FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. The Feynman lectures on Physics. 3.ed. v.1. São Paulo: Bookman, 2008.
- FLORENCIO, A. Anotações de aula. Professor do IFRJ Maracanã., Vídeo-aula denominada “Quarks, Férmions, Bósons, Mésons, etc - Uma grande família de subpartículas”, publicada em agosto de 2017.
- GILMORE, R. Alice no País do Quantum: A física quântica ao alcance de todos. Editora Zahar, Rio de Janeiro, 1998.
- GOMES, G.G., e PIETROCOLA, M. O experimento de Stern-Gerlach e o spin do elétron: Um exemplo de quasi-história. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 2, 2604 (2011).
- HOULLAUER, E. Química Quântica. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2007.
- KRAUSE, D. “O gato de Schrödinger não está vivo e morto antes da medição: sobre a interpretação dos resultados quânticos”. Disponível em: <http://lna.umb.br/lna_n01_08_dkrause.pdf>. Último acesso em 18/12/2022. DOI:10.21452/LnA_serie_n_v01_book_seminario-logica-no-aviao-2013-2018_decio-krause_p.104-122.
- MACHADO, S.S.L. Implicações culturais da teoria quântica: Caminhos metafóricos e as apropriações indêbitas. Universidade Federal de Santa Catarina. 2017. Disponível online através do link: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/186995/PECT0344-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>. Último acesso em 06/11/2022.
- MELLO, M. M. O Lúdico e o Processo de Humanização. In: MARCELLINO, N. C. Lúdico, Educação e Educação Física. Ijuí: Editora Unijui, 2003.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2011.
- NEVES, L.A.S. e ; SOUZA, A.R O livro paradidático no ensino de Física: Uma análise fabular, científica e metafórica da obra Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 3, p. 1145-1160, dez. 2016.
- OLIVEIRA, A. Universidade Federal de São Carlos. “O spin que move o mundo”. Publicação na Revista online “Ciência Hoje”. Disponível em: <[https://cienciahoje.org.br/columa/o-spin-que-move-o-mundo/#:~:text=O%20spin%20%C3%A9%20uma%20propriedade,down%E2%80%9D%20\(para%20baixo\)>](https://cienciahoje.org.br/columa/o-spin-que-move-o-mundo/#:~:text=O%20spin%20%C3%A9%20uma%20propriedade,down%E2%80%9D%20(para%20baixo)>)>. Último acesso em 21/12/2022.
- SAKURAI, JJ; NAPOLITANO, Jim. Mecânica quântica moderna. Tradução técnica: Silvio Renato Dahmen. Porto Alegre: 2. ed. Bookman, 2013. 548 p.
- SANTOS, K.B., MOREIRA, M.C.A.. A utilização das histórias do Homem Forniga como contexto para o Ensino de Física. Olhar de professor, Ponta Grossa, v. 25, p. 1-25, e-20055.037, 2022. Disponível online através do link: <<https://revistas.uepg.br/index.php/olhardeprofessor/article/view/20055/209209216880>>. Último acesso em 23/03/2023.
- STENGER, V. The Unconscious Quantum: Metaphysics in modern physics and cosmology. Editora Prometheus Books, Michigan, 1995.
- SOUZA, J.R., GUSMÃO, L.A. Transições eletrônicas do átomo de Hidrogênio descritas por sequências. Sociedade Brasileira de Matemática. XXXI Colóquio Nacional de Matemática Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada. 2013.
- SUSSUCHI, E. M. e SANTOS, D.O. Anotações de aula. Professor da Universidade Federal do Sergipe (UFS). Aula sobre Orbitais atômicos e transições eletrônicas.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - AFIRMATIVAS PARA A DINÂMICA:

- O efeito fotoelétrico é contrário aos princípios da Teoria Quântica (*Falso*).
- O elétron também apresenta a dualidade onda-partícula (*Verdadeiro*).
- As ondas são capazes de contornar obstáculos através da difração. Um exemplo prático disso em nosso cotidiano seria o sinal de *wi-fi*. (*Verdadeiro*) *Comentário: O sinal de wi-fi é uma onda eletromagnética.*
- A dualidade onda-partícula se aplica principalmente a partículas subatômicas, como elétrons e fótons (*Verdadeiro*).
- Em qualquer circunstância, a luz apresenta apenas características de onda (*Falso*).
- A dualidade onda-partícula pode ser verificada tanto no mundo microscópico quanto no mundo macroscópico cotidiano (*Falso*).
- O comprimento de onda λ das ondas de De Broglie e a quantidade de movimento p das partículas são diretamente proporcionais (*Falso*).
- Não agimos como ondas ou partículas quânticas porque vivemos em um mundo onde as leis da física clássica são adequadas para descrever nossas experiências. (*Verdadeiro*).
- A luz se assemelha a uma onda OU a um corpúsculo, dependendo do experimento a que seja submetida, e nunca a uma onda E a um corpúsculo, de maneira simultânea (*Verdadeiro*).
- De acordo com a equação de De Broglie quanto maior for a massa, menor será o comprimento de onda (*Verdadeiro*).
- A dualidade onda-partícula está relacionada ao Princípio da Incerteza de Heisenberg. Na prática, não podemos determinar uma posição exata e uma velocidade precisa ao mesmo tempo para um elétron, por exemplo. (*Verdadeiro*).
- Uma característica importante do efeito fotoelétrico é que a emissão de elétrons depende da frequência da luz incidente. Assim, são necessários fótons de **baixa** frequência para que seja possível ejetar elétrons da superfície do material (*Falso*).

APÊNDICE 2.a - ATIVIDADE SOBRE TRANSIÇÕES ELETRÔNICAS

1- Para o elétron passar de sua órbita original (_____) para uma órbita superior (_____), há (_____) de energia.

2- O retorno de um elétron de uma órbita superior (_____), para a órbita original (_____), se dá com _____ de energia.

3- Uma consequência da hipótese da _____ é a de que quando o elétron absorve energia e muda de órbita, ocorre mudança completa de nível (por exemplo, da primeira órbita para a terceira órbita), sem nunca ter passado no espaço entre as órbitas, pois essa _____ não existiria. Essa transição entre as órbitas é conhecida na literatura como “ _____ ”.

4- Todas as cores que são visualizadas quando os fogos de artifício estouram são resultado da _____ de energia por elétrons que retornam do _____ para o _____. Os tons e colorações são diferentes, pois cada elemento apresenta um valor diferente para que ocorra a _____ dos elétrons;

5- _____ desenvolveu um tratamento matemático que se configurou em uma evolução da teoria de Rutherford para o problema do modelo atômico, postulando que existiam órbitas circulares _____ ao redor do núcleo.

6- O 1º Postulado de Bohr descreve que: Aos elétrons em órbita são permitidos apenas alguns determinados valores de energia, chamados de _____

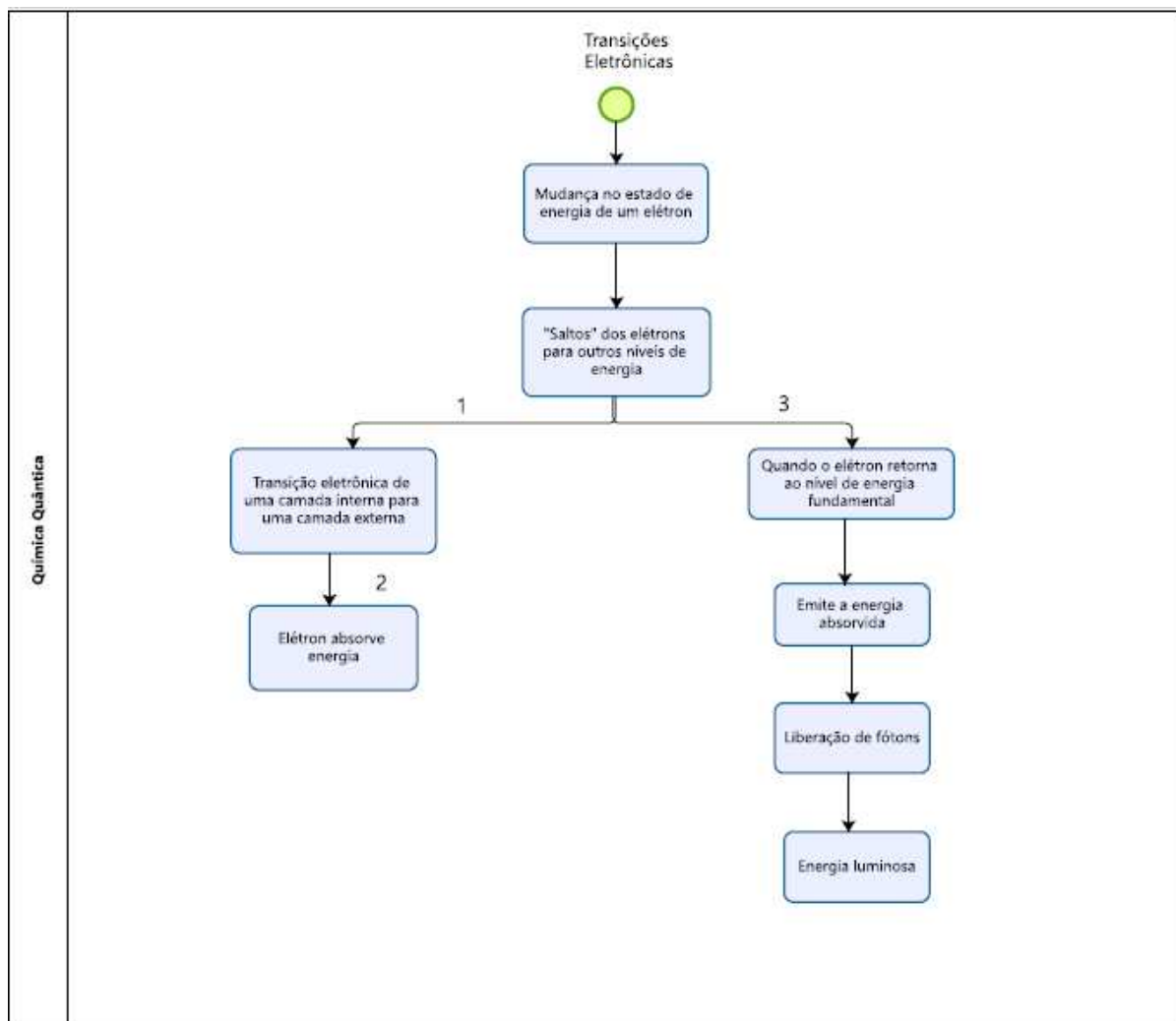
7- O 2º Postulado de Bohr descreve que: Para que ocorra o processo de emissão ou absorção de energia, é necessário que haja uma _____ que provoque uma transição entre estados estacionários. Para tal _____, é preciso fornecer energia, na forma de _____, por exemplo. A quantidade de energia absorvida ou emitida é exatamente igual à _____ envolvidos na transição.

**APÊNDICE 2.b - PALAVRAS-CHAVE PARA ATIVIDADE SOBRE TRANSIÇÕES
ELETRÔNICAS**

Salto quântico	Perturbação externa
Bohr	Estados estacionários
Luz ou calor	Diferença de energia entre os estados estacionários
Estado fundamental	Emissão
Quantização da energia	Estado excitado
Absorção	Fundamental
Excitação	Região intermediária
Quantizadas	

APÊNDICE 2.c - GABARITO SOBRE ATIVIDADE DE TRANSIÇÕES ELETRÔNICAS

- Para o elétron passar de sua órbita original (estado fundamental) para uma órbita superior (estado excitado), há absorção de energia
- O retorno de um elétron de uma órbita superior (estado excitado) para a órbita original (estado fundamental) se dá com emissão de energia
- Uma consequência da hipótese da quantização da energia é a de que quando o elétron absorve energia e muda de órbita, ocorre mudança completa de nível (por exemplo, da primeira órbita para a terceira órbita), sem nunca ter passado no espaço entre as órbitas, pois essa região intermediária não existiria. Essa transição entre as órbitas é conhecida na literatura como “salto quântico”.
- Todas as cores que são visualizadas quando os fogos estouram são resultado da emissão de energia por elétrons que retornam do estado excitado para o fundamental. Os tons e colorações são diferentes, pois cada elemento apresenta um valor diferente para que ocorra a excitação dos elétrons;
- Bohr desenvolveu um tratamento matemático que se configurou em uma evolução da teoria de Rutherford para o problema do modelo atômico, postulando que existiam órbitas circulares quantizadas ao redor do núcleo.
- 1º Postulado de Bohr: Aos elétrons em órbita são permitidos apenas alguns determinados valores de energia, chamados de estados estacionários;
- 2º Postulado de Bohr: Para que ocorra o processo de emissão ou absorção de energia, é necessário que haja uma perturbação externa que provoque uma transição entre estados estacionários. Para tal perturbação externa, é preciso fornecer energia, na forma de luz ou calor, por exemplo. A quantidade de energia absorvida ou emitida é exatamente igual à diferença de energia entre os estados estacionários envolvidos na transição.

APÊNDICE 3 - FLUXOGRAMA SOBRE TRANSIÇÕES ELETRÔNICAS

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

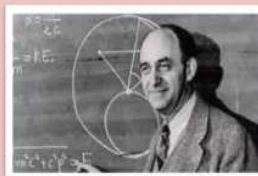
APÊNDICE 4 - SLIDES PARA EXPOSIÇÃO EM AULA (QUARTO ENCONTRO)

ACADEMIA FERMI-BOSE

Homenagem a dois renomados físicos, cujos trabalhos trouxeram grandes avanços no desenvolvimento das estatísticas quânticas.



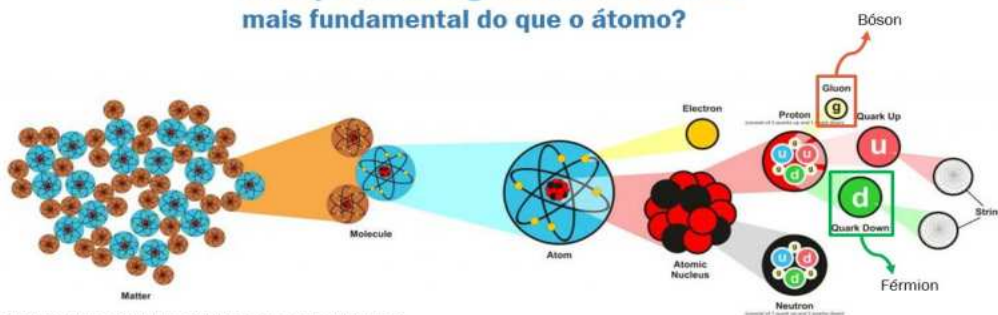
Enrico Fermi



Satyendra Nath Bose



Será que existe alguma estrutura ainda mais fundamental do que o átomo?

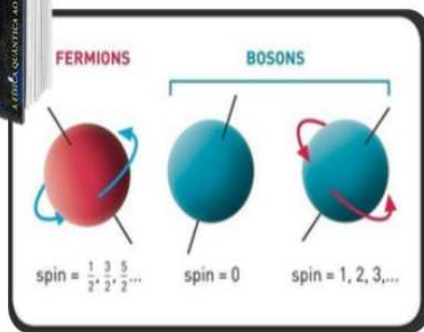


Fonte: <https://www.espaçotempo.com.br/modelo-padro-particulas-fundamentais/>

Considerando o universo das partículas, existem ainda outras subpartículas elementares que compõem os prótons, elétrons e nêutrons, que são os **férmions** e **bósons**.



"Férmions são individualistas. Dois deles nunca farão exatamente a mesma coisa, enquanto os bósons são sociáveis. Adoram andar em gangues, onde cada um se comporta da mesmíssima maneira que os outros."



Princípio de Exclusão de Pauli

APÊNDICE 4.a - CONTINUAÇÃO SLIDES PARA EXPOSIÇÃO EM AULA (QUARTO ENCONTRO)

PRINCÍPIO DA EXCLUSÃO DE PAULI

"Somente dois elétrons podem ocupar um único orbital e, se dois ocupam um único orbital, então seus spins devem estar emparelhados. (ATKINS, P. W.)"

Incorreto

↑↑

✗

↓↓

✗

Incorreto

↑↓

Representação correta dos spins emparelhados ✓

(...) o Mecânico Quântico levou Alice para fora da sala de aula. "Aí está", ele disse. "Este é o Princípio de Pauli. Ele diz que dois férmions do mesmo tipo não podem nunca estar fazendo a mesma coisa, por isso só se pode ter apenas um em cada estado. **O princípio se aplica a férmions** de todo tipo, **mas não a bósons**".

	Bósons	Férmions
Características básicas	Partículas idênticas de spin zero ou inteiro Ex: Fótons (spin =1) Ex: Partícula alfa (spin = 0)	Possuem spins fracionários . Ex: elétrons, prótons, nêutrons, pósitrons; (todos com spin = 1/2)
Obedece ao Princípio de Exclusão de Pauli?	Não	Sim
Autofunções das partículas	Simétricas numa troca de índices das partículas	Anti-simétricas numa troca dos índices das partículas

Conteúdo adaptado de EISBERG e RESNICK. Física Quântica - Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas GEN LTC; 1ª edição (1979). Cap. 11: Estatística Quântica.

APÊNDICE 5 - SLIDES PARA EXPOSIÇÃO EM AULA (QUINTO ENCONTRO)



“Produtos Quânticos”

em Modalidades de Cursos Online e Presenciais

MEDITAÇÕES ONLINE
CURA QUÂNTICA

7, 14, 21 e 28
de Julho às 20h

Valor: R\$ 75,00 Plataforma: Zoom

Facilitador:

CURA QUÂNTICA - VIVÊNCIAS METAFÍSICAS Nome do instrutor Visitar >

CONEXÃO QUÂNTICA
CURA QUÂNTICA
Curso Básico

**A Mecânica Quântica e a
Realidade Última.**

Nesta nova fase do seu trabalho, o Prof. Hélio Couto vai explicar como juntar a Consciência com a Mecânica Quântica.

Twitter Curtir 378

SOBRE O CURSO PÚBLICO-ALVO O PROFESSOR(A)

A teoria mais comprovada da história é a Mecânica Quântica, nunca apresentou uma falha! Nunca!

É apenas uma questão de expansão de consciência para aceitar os avanços lógicos.

Postagens em redes sociais



Livros publicados

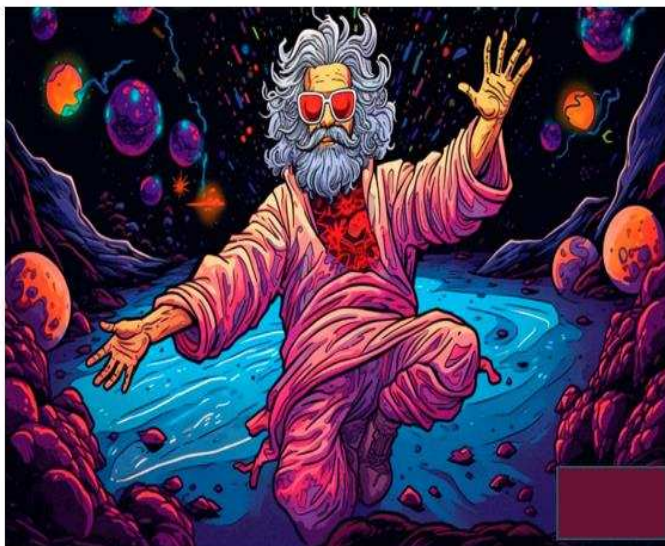


Sentimentos e frequências vibracionais



Dada a equação e os conhecimentos de quântica, faz sentido aplicar uma frequência, em Hertz, para sentimentos?





Fonte: <https://futurorelativo.com.br/fisica-quantica-e-filosofia-se-encontram/>

blico

**O COACH
QUÂNTICO
ALERTA:**

**SE VOCÊ NÃO
ALCANÇOU OS
SEUS OBJETIVOS, É
PORQUE NÃO
VIBROU NA
FREQUÊNCIA
CORRETA!**

(CONTÉM IRONIA)

APÊNDICE 6 - PALAVRAS PARA O RECIPIENTE 1

Sinta	Aumente sua percepção sobre
Desvendando	Expandindo
Desbloqueie o poder	Desperte
Acelere	O poder de...
Os benefícios de dominar...	Venha progredir energeticamente com...
Reprograme sua mente e alcance...	Transforme sua realidade com...
Descubra a força de...	Como o Coaching Quântico contribui para...
Resolva suas angústias mais profundas com...	Siga os passos da reprogramação de DNA para alcançar...

APÊNDICE 7 - MARCADORES PARA O RECIPIENTE 2

Mundo quântico	Vibração quântica dos pensamentos
Energia quântica	Dualidade da alma
Cura quântica	Conexões quânticas
Universo autoconsciente	Frequência das emoções
Psicologia quântica	Prosperidade profissional e pessoal
Intuição quântica	Liderança quântica
Desdobramento quântico do tempo	O "Eu" Ondulatório
Imersão do Salto Quântico	O colapso consciente das funções de onda