



Universidade Federal de Goiás

Regional Catalão - Unidade Acadêmica Especial de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

APRENDIZAGEM ATIVA DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO

Carlos Henrique Moreira Sales

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física, da Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão. Como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antonio Andreatta.

CATALÃO

Fevereiro de 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese

2. Nome completo do autor

Carlos Henrique Moreira Sales

3. Título do trabalho

Aprendizagem Ativa de Física Quântica no Ensino Médio

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa.

Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por Mauro Antonio Andreatta, Professor do Magistério Superior, em 22/06/2020, às 16:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por CARLOS HENRIQUE MOREIRA SALES, Discente, em 24/06/2020, às 11:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 1395101 e o código CRC 13A84653.

APRENDIZAGEM ATIVA DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO

Carlos Henrique Moreira Sales

Orientador:
Prof. Dr. Mauro Antonio Andreata.

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), da Universidade Federal de Goiás – Regional de Catalão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dra. Marina Valentim Barros

Prof. Dr. Jalles Franco Ribeiro da Cunha

Prof. Dr. Alessandro de Souza Carneiro

Catalão
Fevereiro/2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Sales, Carlos Henrique Moreira, Carlos Henrique Moreira Sales de APRENDIZAGEM ATIVA DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO [manuscrito] / Carlos Henrique Moreira Sales de Sales, Carlos Henrique Moreira. - 2020.
f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antonio Andreata.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Física e Química, Catalão, Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Catalão, 2020.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.

Inclui siglas, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas, algoritmos.

1. Ensino ativo de física. 2. Princípio da incerteza de Heisenberg. 3. Decroly. 4. Centro de interesse. I. Andreata, Mauro Antonio, orient. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 1 da sessão de Defesa de Dissertação de **Carlos Henrique Moreira Sales**, que confere o título de Mestre em **Ensino de Física**, na área de concentração em **Física na Educação Básica**.

Ao/s **vinte e oito**, a partir das **quatorze horas**, no **miniauditório congadas**, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**APRENDIZAGEM ATIVA DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Mauro Antonio Andreata (UAEF - UFG/RC) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Alessandro de Souza Carneiro (UAEF - UFG/RC), membro titular interno; Professor Doutor Jalles Franco Ribeiro da Cunha (UAEF - UFG/RC), membro titular interno; Professora Doutora Marina Valentim Barros (UAEE - UFG/RC) membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Mauro Antonio Andreata**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos vinte e oito de fevereiro de dois mil e vinte.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Jalles Franco Ribeiro Da Cunha**, Professor do Magistério Superior, em 28/02/2020, às 18:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mauro Antonio Andreata**, Professor do Magistério Superior, em 28/02/2020, às 19:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alessandro De Souza Carneiro**, Coordenador de Curso, em 02/03/2020, às 15:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Rita Pereira**, Coordenadora de Pós-Graduação, em 02/03/2020, às 18:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marina Valentim Barros**, Professora do Magistério Superior, em 03/03/2020, às 15:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_organizacao=0, informando o código verificador **1191657** e o código CRC **221CF14B**.

Referência: Processo nº 23070.010035/2020-81

SEI nº 1191657

Dedico esse trabalho ao Único que é Digno de Louvor,
a Jesus Cristo, o autor da vida, a minha eterna gratidão.

E as três pessoas sem as quais não sei
viver, minha esposa Dayane Sales, a minha
filha Ana Karlla e ao meu filho Pedro Henrique.

AGRADECIMENTOS

Para cada sonho existe um equivalente físico, e hoje vivo a materialização de um. Se pensamentos se tornam realidade com uma boa dose de ação, eu sei que muitos sonharam e pensaram comigo para que esse dia chegasse. Se agora estou me sentindo vitorioso, é porque sempre acreditei que a vitória tem sabor incomparavelmente melhor quando é degustada junto daqueles de quem se gosta. A todos que de forma direta ou indireta me apoiaram, torceram por mim e se alegram com minhas conquistas, a vocês o meu imenso muito obrigado.

Agradeço ao professor Dr. Mauro Antonio Andreatta, pela impecável orientação, pelo cavalheirismo e disposição de ensinar, obrigado mestre.

Aos professores que compuseram a grade curricular das disciplinas, pelo compromisso com o bom andamento do curso, em particular os professores: Dr. Jalles F. R. Cunha, Dr. Marcionílio T. O. Silva, Dr. Domingos Lopes da Silva Jr, Dr. Denis R. de Jesus, Dra. Ana Rita Pereira, Dr. Paulo Eduardo G. de Assis, Dr. Julio Santiago E. Ortiz e o Dr. Paulo Alexandre de Castro.

Aos caríssimos amigos e colegas, sem os quais não teria vivido momentos ímpares na conquista desta etapa da minha jornada acadêmica. Em especial quero agradecer aos meus amigos, Cassio Ramos Pinto, José Francisco da Silva Junior e Júlio Fagner Alves De Almeida, durante um ano e meio, dividimos muitas alegrias, conhecimentos e até preocupações, gratidão amigos.

Ao Instituto de Física da Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Minha gratidão a CAPES.

“O homem erudito é um descobridor de fatos que já existem - mas o homem sábio é um criador de valores que não existem e que ele faz existir.”

Albert Einstein (1879 – 1955)

RESUMO

APRENDIZAGEM ATIVA DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO

Carlos Henrique Moreira Sales

Orientador:

Prof. Dr. Mauro Antonio Andreato.

Apresentamos nesta produção acadêmica uma proposta de aula em que o desenvolvimento desta seja dedicado ao uso do ensino ativo de Física Quântica através dos centros de interesse para discutir um assunto específico, a saber: o Princípio da Incerteza, estabelecido em 1927 pelo físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976). Os centros de interesse oferecem uma perspectiva de aprendizado diferente das aulas expositivas, numa dinâmica em que o conhecimento do aluno desenvolve como consequência de uma construção. Enquanto que, na maioria das vezes, no modelo expositivo prevalece à figura do professor, com “monólogos intermináveis”, tornando-o assim protagonista do processo educativo, do outro lado dessa estrutura educacional existe a figura do estudante, que na maior parte do tempo é apenas um ouvinte e tomador de notas. Os centros de interesse foram desenvolvidos pelo educador belga Ovide Decroly (1871-1932) e visam transformar a educação em autoeducação, colocar o aluno no centro do processo educacional. Em especial, sugerimos a realização de um experimento simples e módico que será o centro de interesse a partir do qual se poderá discutir a relação de incerteza de Heisenberg.

Palavras-chave: Ensino Ativo de Física; Princípio da Incerteza de Heisenberg; Decroly; Centro de Interesse.

ABSTRACT

Carlos Henrique Moreira Sales

Orientador:
Prof. Dr. Mauro Antonio Andreata.

We present in this academic production a class proposal in which its development is dedicated to the use of active teaching of Quantum Physics through centers of interest to discuss a specific subject, namely: the Uncertainty Principle, established in 1927 by the German physicist Werner Heisenberg (1901-1976). The centers of interest offer a learning perspective different from the expository classes, in a dynamic in which the student-knowledge relationship is the result of a construction. While, in most cases, in the expository model of the class, the figure of the teacher prevails, with “endless” monologues, thus making him the protagonist of the educational process, on the other side of this educational structure there is the figure of the student, who for the most part of time is just a listener and note taker. The centers of interest were developed by the Belgian educator Ovide Decroly (1871-1932) and aim to transform education into self-education, placing the student at the center of the educational process. In particular, we suggest carrying out a simple and modest experiment that will be the center of interest from which the Heisenberg uncertainty relationship can be discussed.

Keywords: Active Physics Teaching; Uncertainty Principle of Heisenberg; Decroly; Center of Interest.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	01
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	06
CAPÍTULO 3 - CENTRO DE INTERESSE.....	16
CAPÍTULO 4 - PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO SISTEMA DECROLY NO ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA.....	20
CAPÍTULO 5 - PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS DO CENTRO DE INTERESSE.....	28
5.1 - Primeira parte: observação.....	28
5.1.1 – Aplicação do Princípio da Incerteza	34
5.2 - Segunda parte: associação.....	38
5.3 – Terceira parte: expressão.....	40
5.4 – Leitura Fundamental.....	42
5.5 – Quadro Resumido das Aulas.....	42
CAPÍTULO 6 - VERIFICAÇÃO DA APRENDIZAGEM.....	45
CAPÍTULO 7 – O PRINCÍPIO DA INCERTEZA DE HEISENBERG.....	47
7.1 – Função de Onda.....	52
7.2 – Demonstração do Princípio da Incerteza Generalizado.....	53
CAPÍTULO 8 – CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIA	64

APÊNDICE 1: PRODUTO EDUCACIONAL70

ANEXO 187

ANEXO 288

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A presente proposta busca, estabelecer as diferenças entre os resultados que se obtém quando um professor de física usa como recurso didático apenas aulas expositivas em detrimento daquele que varia seus métodos e aplica como recurso didático os centros de interesse. Vários autores compartilham a compreensão de que o professor, para o exercício de suas competências, necessita ser uma autoridade, ter domínio dos conteúdos que vai ensinar. Essa é uma condição essencial para que se possa iniciar qualquer discussão sobre uma aula de qualidade. Os teóricos concordam que uma exposição de conteúdos enrijecida pela pobreza de técnicas de ensino terá uma incidência direta na capacidade dos discentes de apreender novos saberes . O próprio Decroly argumenta a respeito da invariabilidade das propostas pedagógicas e sugere variedades no cardápio educacional:

“Os alunos vão à escola em busca de alimento intelectual e moral: o professor é o encarregado de prepará-lo, de excitar o apetite com acepipes, de velar para que seja assimilado. Por que não tratar também de satisfazer sua clientela variando os pratos, tendo um cardápio diário bem sortido?
(DECROLY; BOON, 1946, p. 63)

A crítica a que expomos do modelo de ensino acroamático (ensino que se transmite oralmente) não decreta a falência dessa metodologia, pois o modelo de escola atual nas instituições de ensino é quase que na sua totalidade um modelo de implementação herdada dos nossos colonizadores europeus e consolidada ao longo da história por práticas pedagógicas que se fizeram presentes na ação dos docentes sem muitos questionamentos a respeito da metodologia predominante. Esse perfil de escola, onde a figura do professor e sua classe se relacionam com superficialidade, é o retrato da escola tradicional. Contar com o professor para o sucesso no final do processo é invariavelmente a única via. E assim, de aula em aula, de lição em lição, a técnica expositiva predomina com robustez na ação dos docentes. Não estamos decretando a falência da técnica, porém buscar alternativas para maximizar a capacidade de retenção dos discentes é indiscutivelmente o melhor caminho. Existe uma compreensão pré-

estabelecida entre os teóricos educacionais de que uma boa aula invariavelmente só é factível se esta for fruto da ação de um bom professor, e por mais que estejamos falando de um profissional extremamente preparado do ponto de vista da comunicação: boa dicção, excelência na condução da disciplina dos alunos, garante que seja ouvido, que desenvolve uma boa relação interpessoal com os discentes, etc, e ainda trás consigo uma ótima formação dentro da sua área de atuação, sendo assim uma “invejável” autoridade dentro dos assuntos pertinentes a sua disciplina.

Para que não fiquemos sem elucidação, concebamos a imagem de um excelente professor da disciplina de Física: profundo conhecedor dos ramos da Física, altamente qualificado do ponto de vista da habilidade matemática (condição essencial), muito bem preparado na tarefa de interpretar textos e enunciados, sabedor de como a Física gerou impacto na sociedade e no meio industrial, etc. Essa é sem dúvida, a descrição de um profissional muito bem preparado para estar à frente de uma sala de aula, no exercício da função de professor, mais especificamente um professor de física. Ainda assim, esse professor, com toda essa volumosa expertise docente, sofreria críticas e não alcançaria todo seu potencial, se tal profissional se apresentar ante aos seus alunos, todos os dias, aula após aula, com a mesma proposta em relação à maneira de ensinar os conteúdos de sua disciplina, fadar-se-ia a mesmice e a repetições quase que intermináveis. Cabe ao docente um comportamento de autocrítica em relação à sua prática pedagógica, sendo que o replanejar e o repensar são ações que de forma alguma podem ser descartadas da sua prática docente.

O professor ao planejar a sua estratégia, ao conduzir a aula e avaliar o processo de ensino-aprendizagem precisa refletir sobre a sua ação e se for necessário replanejar as atividades, buscando outras formas de conduzi-las ou avaliando de forma diferente. De modo geral professores e licenciandos não colocaram estes pontos como essenciais na caracterização do bom professor (PAIVA, GOMES e OLIVEIRA, 2005, p. 7).

A consideração que propomos aqui é: a figura de um professor bem qualificado é suficiente para que os objetivos do ensino sejam de fato alcançados? Ou aliar isso com metodologias concatenadas com a realidade dos discentes e com a ideia de não apenas

tentar transmitir conhecimentos, mas construir junto ao aluno condições para o aprendizado seriam ações que ajudariam o processo educativo alcançar êxito? A proposta de reflexão que, dentro do escopo da ação docente, norteará parte da análise que objetivamos aqui: será que assim – construindo junto ao aluno condições para o aprendizado – o educador não viabilizaria um processo educativo com maior assertividade? Paulo Freire, propõe reflexões dessa natureza:

A reflexão crítica sobre a prática se torna uma exigência da relação teoria/prática, sem a qual a teoria pode ir virando blá-blá-blá e a prática, ativismo. O que me interessa agora, é alinhar e discutir alguns saberes fundamentais à prática educativo-crítica e que, por isso mesmo, devem ser conteúdos obrigatórios à organização programática da formação docente. Conteúdos cuja compreensão, tão clara e tão lúcida quanto possível, deve ser elaborada na prática formadora. É preciso, sobretudo, e aí já vai um destes saberes indispensáveis, que o formando, desde o princípio mesmo de sua experiência formadora, assumindo-se como sujeito também da produção do saber, se convença definitivamente de que ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua produção ou a sua construção (FREIRE, 1996 p. 24).

Partindo do pressuposto de que existe um objetivo evidente no fazer educação, a saber: a aquisição de conhecimento e a formação de cidadãos críticos, onde tornar esse cidadão crítico implica que o discente se torne capaz de se posicionar perante a sociedade e dos desafios proporcionados ao longo de sua história pessoal. Essa formação perpassa pela interação do indivíduo em formação com vários aspectos circunstanciais e não apenas pela interação com conteúdos acadêmicos. O aluno interage com outros indivíduos, com problemas que o acometem, mormente no seu período escolar, com indagações do seu cotidiano, com conflitos emocionais etc. Fica bem sugestivo – quase que um indicativo – que o alcance desse objetivo pressuposto terá maior garantia se, durante o período de formação escolar, cada discente tiver acesso a todas essas interações como parte da metodologia de ensino adotada pelos seus docentes. Fazendo desta forma, os jovens terão o conhecimento construído e não apenas informações adquiridas com base numa memória superficial, ou um comportamento condicionado. O oposto disso seria: “Os estudantes ouvem e tomam notas – ou fazem

outra coisa, conforme ditarem suas naturezas” (THORNDIKE; GATES, 1936, pp. 293-294). As literaturas mais atuais sobre o processo educativo também indicam as desvantagens do método expositivo :

Nessa visão de ensino, a aula é o espaço em que o professor fala, diz, explica o conteúdo, cabendo ao aluno anotá-lo para depois memorizá-lo. Daí poder prescindir da presença do próprio aluno, pois, se há um colega que copia tudo, basta fotocopiar suas anotações e estudá-las, para dar conta dessa maneira de memorizar os conteúdos (ANASTASIOU, 2009, p. 17).

Para verificação qualitativa do método decroliano, propomos o desenvolvimento de aulas com o objetivo de entender um importante resultado da física quântica: o Princípio da Incerteza – do qual discorreremos em linhas posteriores – enunciado em 1927 pelo físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976). Para conduzir os discentes a um melhor entendimento do Princípio da Incerteza, fizemos uso de simuladores computacionais e vídeos, já que conduzir os discentes a reconhecer a realidade quântica, não é uma tarefa das mais simples, uma vez que se trata de uma realidade que desafia senso de lógica do “mundo macro”. Conforme afirma Torres:

... Entretanto, entre 1900 e 1930, foi desenvolvida uma “nova mecânica”, denominada Mecânica Quântica, que se mostrou plenamente apta a explicar o comportamento das moléculas, dos átomos e dos núcleos atômicos em inúmeras situações. Essa nova teoria, inicialmente denominada teoria dos Quanta de Max Planck, se reduz às teorias da Física Clássica quando aplicada a esses sistemas macroscópicos, assim como a teoria da relatividade se reduz às leis clássicas para os movimentos em baixas velocidades. Tal como as teorias da relatividade, a teoria quântica requer modificações de ideias, revisão de conceitos e no modo como percebemos o mundo físico real. (TORRES, 2013, p. 236).

E desenvolvemos ações pedagógicas de forma que tais conceitos fizessem parte das experimentações dos discentes e assim obtivessem consciência do quanto essa ciência incide sobre suas vidas e como que as descobertas da física moderna influenciam o surgimento de novas tecnologias. É imprescindível o auxílio das mídias

audiovisuais para ilustrar a construção de modelos físicos, movimentações de partículas subatômicas e imagens de objetos quânticos, etc. Afinal, a assiduidade dos recursos midiáticos capazes de influenciar nossas relações sociais está cada vez mais conquistando espaço nas unidades de ensino fundamental, ensino médio e ensino superior e são capazes de enriquecer determinados conteúdos de Física – bem como as outras áreas do currículo escolar – tornando a aula mais prazerosa e construtiva. Para a maioria das pessoas hoje,

o conhecimento que nós temos dos fatos que acontecem além do nosso meio social imediato é, em grande parte, derivado de nossa recepção das formas simbólicas mediadas pela mídia. O que só enriquece e fortalece nossa práxis veiculada aos conhecimentos obtidos através das tecnologias disponíveis ao processo de construção do conhecimento, pois as mesmas despertam o interesse e a curiosidade quando bem exploradas, além de enriquecerem a transmissão, a construção e a reconstrução dos saberes curriculares associados aos da vida cotidiana (SILVA, 2016, p. 12).

Proporcionar aos alunos que reflitam, desenvolvam ideias, criem texto a partir de informações adquiridas com as mídias é converter instrumentos de entretenimento em fonte de conhecimento e ferramenta educacional. Moran afirma que:

A televisão, o cinema e o vídeo - os meios de comunicação audiovisuais - desempenham, indiretamente, um papel educacional relevante. Passam-nos continuamente informações interpretadas; mostram-nos modelos de comportamento, ensinam-nos linguagens coloquiais e multimídia e privilegiam alguns valores em detrimento de outros (Moran, 2007, p. 2).

Acreditamos que o sistema Decroly, originalmente desenvolvido para a educação infantil, pode ser aplicado com sucesso nas aulas de física do ensino médio, pois há registros de que as notas obtidas nas turmas em que foram usados os centros de interesse são superiores em relação às obtidas nas tradicionais aulas expositivas (ANDREATA; BARROS, 2017, p. 10).

Por que escolhemos o método Decroly? “O método Decroly, interpretado inteligentemente, é um método de aplicação universal” (LUZURIAGA, 1952, p. 84). Além disso, pensamos na flexibilidade e fluidez do método Decroly. Outrossim, levamos em conta a atualidade da obra decroliana (DUBREUCQ, 2010; ELIAS, 2007, p. 63-104; ZABALA, 1998, p. 146-148; ZABALA, 2002, p. 201-203).

Uma importante observação para aqueles que tem acesso à leitura desse trabalho é que as ideias de experiências aqui relatadas, a didática proposta e os fundamentos teóricos aqui reunidos foram apresentados em artigo submetido a simpósios e eventos educacionais realizados pela Universidade Federal de Goiás, sendo tal artigo selecionado pela instituição para se tornar capítulo de um livro que está em fase de produção e será publicado nos anais da IES (Instituição de Ensino Superior) no ano de 2020. Uma versão foi apresentada no VI SPPGI (Sexto Seminário de Pesquisa Pós-Graduação e Inovação) em 12 a 14 de setembro de 2018, com o título: **MECÂNICA QUÂNTICA SOB A ÓTICA DO ENSINO ATIVO** disponível em anais da própria IES.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A perspicácia de Ovide Decroly (a forma aportuguesada é Ovídio Decroly) foi que, em função de seu conhecimento proporcionado pela medicina, principalmente na neuropsiquiatria, e de seu acúmulo de conhecimento devido sua lida com crianças especiais – nos textos da época, chamados de *retardados ou anormais*¹ – veio a entender que existe um caminho natural para a aquisição de conhecimentos por parte dessas crianças especiais. Decroly não sistematizou seu método de ensino registrando tudo em um livro, exatamente por que não queria que esta metodologia fosse engessada, mas deu o nome de globalização ao conjunto de ideias e aplicações dessa nova proposta educacional que, posteriormente, vários autores da literatura educacional contemporânea chamaram de sincretismo. Entretanto, o próprio Decroly veio a perceber que esse caminho natural para agregar os novos saberes não é uma

¹ A nomenclatura para os transtornos mentais e transtornos de aprendizagem mudou ao longo dos anos. Mantivemos, em itálico, os termos usados naquela época.

característica própria das crianças com disfunções neurológicas e sim uma condição inerente de todas as crianças, especiais ou não.

Em posse dessa compreensão, Decroly resolve explorar esses potenciais de aprendizado desenvolvendo um novo conceito de escola, inseminando técnicas de ensino que rompem com o modelo tradicional de fazer escola e de promover o ensino. Nessa inovadora proposta, o professor é retirado do centro do processo de ensino-aprendizagem, pois, nessa concepção de educação, o professor não é aquela figura falante que a cada aula transfere por narrativas teorias desconexas da vivência do aluno e o aluno, por sua vez, não é um mero escutador e tomador de notas.

Na proposta decroliana, o aluno é o centro do processo e aprender é uma continuidade das observâncias que a criança faz de si e do mundo a sua volta. Essa forma de entender a educação e o aluno – que são os objetos de reflexão que nos atribui justificativa para pensar ou pesquisar metodologias de ensino-aprendizagem – combina em alguns notórios aspectos, com as aplicações do processo de crescimento educacional do discente, proposto por vários outros pesquisadores com o objetivo de compreender como ocorre o desenvolvimento da inteligência humana, tal compreensão perpassa por uma abordagem voltada para as fases de maturação ou evolução cognitiva da criança, ou fases dos estágios do desenvolvimento infantil. É importante salientarmos que os estágios de desenvolvimento é uma compreensão sobre a inteligência humana, sendo que a partir desta compreensão surgem propostas pedagógicas para formular as metodologias de ensino, ou seja, quando compreendemos como ocorrem as fases de maturação cognitiva da criança, temos então a percepção com bases na psicologia de como o aprendizado acontece, sendo que tal percepção vai proporcionar “luz” para se elaborar uma proposta com métodos de finalidade pedagógica.

Decroly, desenvolve uma proposta pedagógica, que não ficou apenas no campo das ideias e teorias, mas experimentada e aplicada pelo próprio Decroly, e mais, a proposta pedagógica de Decroly foi testada na sua própria instituição de ensino, a *École de l'Ermitage - Une école pour la vie et pour la vie*², no subúrbio de Bruxelas e depois que o método foi aprovado e se tornou o modelo de ensino adotado em todo o

² Escola Decroly: a escola para a vida e pela vida (tradução nossa)

sistema educacional das escolas públicas da Bélgica, como expõe Regina Célia Cazaux Haydt.

O sistema pedagógico de Decroly foi submetido à experimentação na rede pública e, após ter sido aprovado com resultados satisfatórios, foi adotado e oficializado nas escolas públicas belgas. Assim, o sistema pedagógico de Decroly difundiu-se rapidamente por toda a Bélgica, expandindo-se também por outros países, como a Espanha e os Estados Unidos. Na América Latina, as ideias educacionais de Decroly tiveram grande repercussão, tendo sido divulgadas principalmente na Argentina, Uruguai e Bolívia (HAYDT, 2003, P. 167).

Os estágios de desenvolvimento, estágios (no plural) – indicando, como podemos compreender algo muito relevante do processo de crescimento intelectual da criança: a construção do conhecimento ocorre de forma continuada. O desenvolvimento cognitivo perpassa por estágios bem definidos, cuja consolidação dos mesmos só se torna possível, por meio de quatro processos: assimilação, acomodação, equilíbrio e adaptação (PREUSSLER, 2012, p.8), embora não nos ateremos com maior rigor sobre cada um desses processos em nossa exposição, mas, é fácil perceber, pelos nomes que recebem o que significam para o educando no processo ensino-aprendizagem. Assim, tais processos concatenados com a relação que o indivíduo tem com o contexto social, ou processo de socialização, cada estágio vai se manifestando nesse indivíduo com o passar do tempo e à medida que se expõe aos contextos sociais.

O ensino tradicional não considera a importância do processo de assimilação (conhecimento prévio) para atingir a acomodação (aprendizagem de um novo conhecimento). Assim, segundo Moreira (2000), só há aumento de conhecimento quando o esquema de assimilação sofre acomodação. O professor deve proporcionar momentos desafiadores que façam surgir os desequilíbrios cognitivos (desequilíbrios adequados ao nível de desenvolvimento) para que o aluno atinja novamente o equilíbrio, que se trata do aprendizado de um novo conceito que antes não era dominado, ou seja, integrando o processo de acomodação, desenvolvendo-se cognitivamente.

A transmissão social pela linguagem, contatos educacionais ou sociais é um fator necessário, na medida em que a criança pode receber uma grande quantidade de informações. Entretanto, não é suficiente, pois ela só assimilará as informações que estiverem de acordo com o conjunto de estruturas relativas ao seu nível de pensamento. (FERRACIOLI, 1999, p. 185).

Um dos principais equívocos da escola tradicional é imaginar que a criança tenha apenas de incorporar as informações já digeridas, como se a transmissão não exigisse uma atividade interna de assimilação acomodação do indivíduo, no sentido de haver uma reestruturação e daí uma correta compreensão do que foi transmitido. Além disso, precisaremos levar em conta os resultados das estimulações e meio no qual a criança e o adolescente vive terá influencia direta nos resultados acadêmicos. Ou seja, a qualidade das estimulações intelectuais a que o jovem é submetido, pelos adultos e pelo meio no qual está inserido, e ainda, a frequência com que tal estímulo acontece, vai incidir diretamente sobre o tempo de resposta desse sujeito em formação. Pois, todos os indivíduos, em situação mental normal, são capazes de atingir o nível das estruturas formais sob condição do meio social e da experiência adquirida fornecerem ao sujeito os recursos cognitivos e a estimulação intelectual necessária para tal construção (Piaget, 1972, p. 8)

Uma característica que ganha realce nessa análise é inerente do conjunto de habilidades e competências que cada indivíduo acumulou ao longo da sua existência, somadas às reações particulares do novo nível intelectual no qual se adere. Por exemplo, ao chegar a um determinado momento, o jovem estudante adquire a capacidade de refletir sobre determinadas situações ou ideias que lhe permeiam. Essa nova capacidade, é uma reação particular desse novo nível. A pessoa que agora reconhece estar munida dessa nova condição – a reflexão – começa então a compreender que além de refletir sobre assuntos que lhe sobrevém, ela pode se posicionar de maneira crítica diante dos mesmos, pois é natural que a capacidade de refletir a conduza a elaboração das suas próprias ideias dos fatos e argumentos ante aos argumentos de outrem, evidenciando assim, a evolução da estrutura cognitiva desse jovem aprendiz.

Fica evidente, nessa análise, o apontamento para um processo, de integração, ou seja, novas estruturas são integradas ao conjunto. Não é um processo de substituição da estrutura cognitiva do indivíduo por uma nova. Essa evolução cognitiva dos alunos se tornam argumentos que fortalecem a motivação da proposta de ensino-aprendizagem decroliana.

Isso ocorre devido ao fato de que o aluno vai evoluir de um nível intelectual para outro, devido às observâncias que faz de si e do mundo a sua volta, assimilando conteúdos, acomodando os novos saberes e os adaptando na sua vida cotidiana quando estes agora são conhecimentos a disposição deste sujeito. Ou seja, tudo isso é um processo de observação, de percepção e de estabelecimento de relação (associação) entre o novo saber e o conhecimento que já era parte da sua estrutura cognitiva. A observação é o nome da primeira fase da metodologia de ensino da proposta decroliana, e a associação é a segunda fase da proposta, que serão amplamente analisadas no tópico intitulado Centro de Interesses.

A vivência do aluno, o conhecimento propiciado pela sua experiência de vida, são importantes e apreciados, na elaboração dos centros de interesse, conforme explica HAYDT (2003) ao direcionar a Decroly em seu texto:

... porque seu sistema pedagógico estava baseado em princípios e não em formulas rígidas. Ele deu algumas sugestões de procedimentos educativos, mas insistia no fato de que havia necessidade de adaptá-los às reais condições e características da clientela escolar. O mestre não queria que seu sistema educativo se cristalizasse nos procedimentos que recomendava. (HAYDT, 2003, P. 167)

Outro importante aspecto do Ensino Ativo dentro dos moldes de Decroly, é que este deve ser promovido em um ambiente preparado para isso, assim sendo, a escola que se propõe aperfeiçoar progressivamente a adaptação do aluno deve partir das suas atividades espontâneas. Não é o aluno que é feito para a escola; é esta que deve ser adaptada ao aluno. Avançar no sentido oposto a isso seria uma imposição, conforme argumenta Planchard:

Isto quer dizer que o ensino deve ser um desenvolvimento do interior para o exterior, sustentado pelo interesse, e não uma imposição do meio externo sobre o meio interno, a qual, praticada exclusivamente, não teria mais que o valor de um adestramento de animais (PLANCHARD, 1982, p. 480).

A carga de experiências que faz parte da vida pessoal do aluno deve ser considerada no interior da sala de aula, segundo FREIRE não faria nenhum sentido pensar em educação se esse não for o ponto de partida:

Por isso mesmo pensar certo coloca ao professor ou, mais amplamente, à escola, o dever de não só respeitar os saberes com que os educandos, chegam a ela – saberes socialmente construídos na prática comunitária – mas também, discutir com os alunos a razão de ser de alguns desses saberes em relação com o ensino dos conteúdos. (FREIRE, 1996 p. 33)

Usar apenas o modelo tradicional na prática docente, corresponde a uma ação de auto alienação enquanto educador, isto seria deixar-se levar por uma prática metodológica de repetições intermináveis esperando resultados diferentes. Albert Einstein chama tal comportamento de insanidade, segundo ele “insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa, e esperar resultados diferentes”. Em busca da autonomia na educação, o professor poderá encontrar êxito em sua ação pedagógica se propor ações reflexivas, utilizando como ferramentas o estímulo à curiosidade, à postura ativa e à experimentação do aluno. Há uma crítica ao modelo de ensino acroamático: “Há uma quase enfermidade da narração. A tônica da Educação é preponderantemente esta – narrar, sempre narrar”. “A narração, de que o educador é o sujeito, conduz os educandos à memorização mecânica do conteúdo narrado” (FREIRE, 1996, P. 57). Nesse modelo, o educador reduz a sua ação de comunicar-se a fazer comunicados e acúmulos de informações, enquanto os educandos recebem, tentam memorizar para em seguida tentarem repetir, é dessa sequência de equivocadas ações, que surge a ideia de que decorando conteúdos e mecanizando os processos educacionais pode-se chegar ao aprendido.

Um fato inegável da condição do sistema de ensino é que, predominantemente, a educação que se oferece na maioria das unidades de ensino público ou privado, de ensino básico ou superior, é uma educação conteudista, pautada apenas na transmissão do conhecimento. Essa educação de transmissão do conhecimento é uma educação acumulativa, cuja proposta, fundamentalmente é transmitir conteúdos que ficarão retidos no aluno, somente numa situação de reprodução. E assim, os conteúdos são colocados para dentro do aluno, não como uma ação reflexiva, e sim como acúmulo de conhecimento, não como construção de conhecimento, mas conhecimentos que vão se sobrepondo sem serem refletidos.

A luz do que já compreendemos até aqui sobre: a eficácia do desenvolvimento do educando, e das estruturas que envolvem o processo educativo (desde as estruturas físicas, a aquelas que são intangíveis) e os agentes envolvidos nos processos, ou seja, ao sistema educacional, consideramos necessário endereçar o seguinte questionamento: como fazer então, para que a Educação deixe de ser, simplesmente, um processo de acumulação de conteúdos – um atrás do outro – sobre o aluno e passar da ação sem reflexão para ação reflexiva, do aluno sobre o conhecimento? Em Decroly encontramos resposta para essa questão. Decroly quer que a escola, para ser uma preparação para a vida, seja uma vida (CHANEL, 1977 p.273), isto é, proporcione ao aluno o que sua vida de adulto lhe proporcionará, uma atividade livre, motivada pelas necessidades de sua natureza e fonte de alegria.

Vejamos uma afirmação de Piaget, quando faz menção a pedagogia de Decroly:

Podemos ver, nas pequenas classes da escola, alunos que criam coelhos e pesam o animalzinho toda semana para ver se engordou. Essa pesagem se faz por meio de castanhas ou de pedras e de uma balança bastante rudimentar para lembra as pranchas colocadas sobre um tronco e sobre as quais as crianças se balançam, tomando consciência das leis do equilíbrio. Portanto, nada mais instrutivo do que essa pesagem de coelhos: o problema é concreto e vincula-se a um interesse poderoso no aluno já que o amor de seu coelho vai leva-la a conhecer exatamente o resultado. Enfim, ele obriga o espírito do indivíduo a estabelecer uma relação e a contar as castanhas em função de uma lei. Pode-se imaginar como as regras da aritmética aprendidas dessa maneira, num contexto de experiência contínua, tornam-se claras para o

aluno e como, no futuro, os mais abstratos problemas poderão se inserir numa subestrutura prática estável (PIAGET apud CHANEL, 1977, P. 275).

De maneira alguma, as linhas dessa descrição de Piaget fornecem, nem de longe, uma ideia de acúmulo de conteúdos, na verdade é o oposto disso: uma aprendizagem que parte do concreto, onde tudo que se desenvolve, faz muito sentido para o aluno e o prazer deste pelo aprendido é fruto de um ensino vívido e pertinente.

Em Decroly, não existe educação com base em memória superficial. Na forma de pensar a educação, Decroly propõe reflexões em todos os momentos do desenvolvimento dessa pedagogia (observar, associar e expressar). Assim, mais uma vez, vemos as ideias de um ensino ativo, da proposta decroliana, direcionando sempre para um mesmo ponto do processo ensino-aprendizagem, ao pensar em uma educação reflexiva como o verdadeiro meio de conduzir o aluno a obter uma estrutura cognitiva mais complexa.

A educação nesses moldes, pensada para conduzir a reflexão, direciona o aluno a uma condição de questionar a realidade que vive, na verdade é mais que isso, além de questionar a sua realidade o aluno interfere sobre ela. Acontece que para que isso se torne viável, o aluno, independente da sua faixa etária – criança, adolescente ou adulto – precisa tomar consciência de si. Isso só se torna possível no âmbito educacional quando a relação aluno-professor desenvolve um processo dialógico, ou seja, é um crescimento que se inicia a partir do diálogo, objetivando o pensar sobre a realidade em se que vive a partir de conversas livres, mas também a partir de palavra e temas provocadores.

No modelo pedagógico decroliano, os temas provocadores são chamados de centro de interesses, que são especificadamente os temas e palavras usadas pelos educandos no cotidiano. São esses centros de interesses que auxiliarão o processo de tomada de consciência, ou seja, a partir dessas palavras e temas, os alunos são conduzidos a pensar sua realidade, e o mundo que o cerca.

A partir dos centros de interesses, Decroly propõe um olhar com mais notoriedade e percepção das coisas ou acontecimentos em torno de si (do aluno), depois disso uma associação dos novos fatos e novos saberes com aqueles que já eram parte da

rede de conhecimento desse aluno, o elevará a uma estrutura intelectual mais complexa e mais robusta.

Assim, os centros de interesses da proposta decroliana são provenientes da ação coletiva da sala de aula, que não precisa ser uma sala de aula formal, que, aliás, quanto mais os alunos estiverem inseridos na sua realidade, mais fácil é para ele se sentir livre para discutir temas tão diferentes da sala de aula formal.

Portanto, para conduzir a aprendizagem dos novos conhecimentos, Decroly entende os centros de interesse como a “espinha dorsal” de seu modelo. Estratégia em que a criança passa por três etapas, (que serão bem exploradas em linhas subsequentes deste texto) cujos nomes são: observação, associação e expressão. As experiências de Decroly, e de outros estudiosos que aplicaram os centros de interesse, mostram que durante esse processo as crianças são despertadas para o aprendizado com um nível mais elevado de interesse e motivação e que ao final do processo é perceptível o crescimento intelectual e o acúmulo de novos saberes, porém sem que os discentes demonstrem estresses, desgaste mental ou antipatia pela escola, pelos estudos ou pela a figura do professor.

O método Decroly foi bem sucedido e, depois de constatado como satisfatório, foi implementado no sistema de ensino público da Bélgica. Ovide Decroly compreendeu, devido a sua perícia na neurociência, que o ser humano, na condição de um ser biológico, está propenso ao aprendizado e a desenvolver suas inteligências, a partir dessa condição, isto é, a própria natureza tem um curso, através do qual essa desenvoltura – que tanto buscamos enquanto pessoas – vai fluir. Sendo assim, o que Decroly fez foi explorar um pouco mais dessa fluidez ao estabelecer uma metodologia de ensino que a utilize mais. Decroly não está, contudo, negando o homem como ser social, ocorre, entretanto, que as necessidades dessa condição humana (de ser social), na visão de Decroly, não são primárias em detrimento da condição biológica, ou seja, antes do aluno ser um ser social, ele é um ser biológico:

Decroly tinha um ponto em comum com Maria Montessori³: sua concepção educativa, assim como a da educadora italiana, tinha uma fundamentação

³ Maria Montessori foi a primeira mulher italiana a doutorar-se em medicina pela Universidade de Roma em 1894. Dedicou-se ao estudo e tratamento de crianças deficientes, criando procedimentos de ensino para

predominantemente biológica. Ele não negava que o homem era um ser social. Mas antes de ser um ente social, o homem era um ser biológico. A vida social seria, assim, a projeção de necessidades vitais. (HAYDT, 2003, P. 167)

Com isso, Decroly demonstra ter certeza que a própria natureza, de antemão, estabeleceu uma maneira para aquisição dos novos saberes e que nós precisamos apenas segui-la, sendo que, no devido tempo, depois de uma certa maturidade intelectual e autogoverno, as necessidades inerentes da condição humana, por ser um ser social, serão naturalmente alinhadas com as fases posteriores do aluno, uma vez que a resposta a passividade na educação já foi dada: é justamente o ensino ativo ou, como o próprio Decroly nomeia, a autoeducação, proveniente da ação concreta.

Ovide Decroly nasceu na cidade de Renaix, na Bélgica, em 23 de julho 1871, e veio a falecer na cidade de Bruxelas em 12 de setembro de 1932. A exemplo de vários pioneiros da Educação Nova, não se deu bem com os métodos da Escola Tradicional e, quando era aluno, teve que mudar várias vezes de estabelecimento (CHANEL, 1977, p. 265). Decroly cursou medicina na Universidade de Gand, na Bélgica, e aprofundou seus conhecimentos no estudo do sistema nervoso (neuropsiquiatria) e de doenças mentais (idem, p. 266).

Em 1901, Decroly fundou em Uccle (nos arredores de Bruxelas) um instituto de ensino especial para crianças *retardadas e anormais*, dedicando todas as suas atividades ao melhoramento dessas crianças. O contato com elas lhe preparou para formular as grandes leis de Educação Nova que mais tarde iria defender em todos os continentes: educação individual dos alunos do ponto de vista físico e psicológico; adaptação da escola aos alunos; colocar em contato, sempre que seja possível, o aluno com a natureza; método dos centros de interesse; participação ativa do aluno em sua própria educação (SARTO, 1936, p. 835, tradução nossa). Os resultados do tratamento educativo das crianças *anormais* foram tais que, em 1907, um grupo de pais pediu ao

facilitar a aprendizagem dessas crianças. Posteriormente, esses procedimentos didáticos foram adaptados às crianças de desenvolvimento normal, surgindo, assim, o método Montessori. O sistema didático elaborado por Maria Montessori difundiu-se primeiramente pela Itália, e depois em vários outros países, contribuindo para a expansão dos ideais da educação renovada.

doutor Decroly que aplicasse seu método ao ensino das crianças *normais* (idem, p. 836). Ou seja, através da observação de crianças consideradas *anormais* criou seu sistema de ensino e, depois, aplicou suas descobertas psicológicas à educação de crianças *normais*.

O sistema Decroly foi e ainda é utilizado em vários países. Inclusive em países da América do Sul foram feitos ensaios de aplicação dos centros de interesse. Por exemplo, na Argentina (AMATO, 1971; GUILLÉN DE REZZANO, 1954), no Uruguai (OLAIZOLA, 1928) e no Brasil (MOURA, 1931). Na cidade de Ijuí, no Rio Grande do Sul, no período de 1982 a 1988, foi desenvolvido o Projeto de Integração do Ensino Superior com o 1º Grau, no qual se estudou e praticou o método dos centros de interesse (FEIL, 1989a; FEIL, 1989b). Os professores do Projeto de Integração do Ensino Superior com o 1º Grau foram orientados a trabalhar com centros de interesse, pois “acredita-se ser esta a maneira mais adequada para provocar o desenvolvimento do espírito cooperativo, científico, indagador e inovador do aluno” (FEIL, 1989b, p. 13).

CAPÍTULO 3 – CENTROS DE INTERESSE

A aplicação dos centros de interesse, como base do desenrolar das atividades escolares, elucida algo muito particular da vida do mestre Ovide Decroly, e que, até justifica, sua paixão e dedicação pelo seu trabalho como educador, e pela vontade que tinha de produzir transformação no sistema educacional no qual estava inserido. A Aplicação dos centros de interesse revelam como ele entendia a vida. “Para Decroly o fim último da educação é o desenvolvimento e a conservação da vida” (Lourenço FILHO, 1993 p. 187). Não devemos pensar que o lema *uma escola para a vida e pela vida*, adotado pela instituição de ensino de Decroly, tenha sido fruto do acaso. O pedagogo desejava que aqueles que recorressem aos seus ensinamentos, com a finalidade de fazer educação, entendessem que seu legado não deve ser reduzido a fórmulas enrijecidas e aplicações mecânicas, mas que se trata de princípios, e como tal, poderiam ser ajustados para aplicações em diferentes realidades escolares. Decroly se manteve sob a firme convicção de que o fundamento mais importante, como ponto de partida,

para desenvolvimento dos alunos era o caráter biológico da condição humana e, como tal, a educação deve ter como fins:

- a) Manter a vida;
- b) Colocar o indivíduo em tais condições que ele possa alcançar, com a maior economia de energia e de tempo, o grau de desenvolvimento que a sua constituição e as solicitações do meio lhe estejam exigindo. (DECROLY apud LOURENÇO FILHO, 1974 p. 187)

Para decroly, o máximo rendimento do ensino exige previa classificação baseada na estatística e no exame físico e psíquico de cada aluno, e que tal rendimento tornar-se-á alcançável, de forma mais objetiva, quando se planeja e aplica a atividade pedagógica interessada dos educandos, de forma que a educação deve transformar-se em autoeducação (LOURENÇO FILHO, 1974 p. 187).

Para completar o pano de fundo sobre o qual colamos as principais figuras que resumem os princípios canônicos do sistema educacional concebido por Decroly, diríamos que ele é:

Um sistema pragmatista no encarar os fins da educação e ativista nos procedimentos que recomenda. Mais particularmente assenta sobre uma concepção biológica da evolução da criança, razão por que exige o ensino individualizado pelos tipos de educando; globalizador, enfim, ou admitindo a educação como integração de atividades, nem sempre como ponto de partida, mas, ao menos como recurso didático. (LOURENÇO FILHO, 1993, p. 187).

Qual a essência do sistema Decroly? A ideia essencial em que Decroly baseou seu método é a globalização (ou sincretismo) do conhecimento. Para Decroly, “os conhecimentos não surgem de questões desconexas, mas sim de coisas e de fenômenos percebidos como unidades, na sua relação vivencial e significativa” (AMATO, 1971, p. 13). Em sua globalização do ensino, o doutor Decroly

elimina as fronteiras rígidas entre as disciplinas para construir unidades que, de forma flexível, concentrem em torno de si aprendizagens diversas, globalizadas, mas em harmonia com a forma de aprender da criança e com

seus interesses. Tais unidades ele chamou de centros de interesse. Centro: porque é dali que partem todos os aprendizados. De interesse: porque surge das coisas e atividades que estão em volta da criança (AMATO, 1971, p. 14).

Como se desenvolvem as atividades nos centros de interesse? “Todas as atividades escolares giram em torno dos temas definidos como centros. Ao redor de cada tema, são ministrados conhecimentos acerca da natureza, da sociedade, da linguagem, da expressão estética, dos trabalhos manuais, da ginástica, da matemática, etc.” (idem, p. 24). Além disso, “as atividades dentro de cada centro de interesse devem levar em conta as três fases do pensamento: a observação, a associação e a expressão” (idem, p. 25).

Atualmente, o sistema Decroly recebe um novo enfoque e um novo nome: centros de interesse renovados. Os centros de interesse renovados são uma adaptação dos centros de interesse clássicos para levar em conta a Didática atual, os progressos feitos em Educação. A seguir descrevemos o procedimento didático dos centros de interesse renovados, segundo Laura Castro de Amato.

A observação. A observação pode ser direta ou indireta. A observação direta se efetua sobre a realidade: os objetos, as pessoas, a escola, o bairro, as plantas, os animais, etc. Embora o aluno já conheça tudo isso, a sua observação da realidade não é analítica, metódica e dirigida. Mas agora será guiado pelo seu professor que lhe fará notar, comparar, descrever, relacionar, etc., apresentando oportunamente o vocabulário. A observação indireta se realiza quando a observação direta foi feita ou quando esta não é possível. Consiste em observar transparências, desenhos, gráficos, em recordar coisas e fatos ou imaginá-los. A etapa da observação deve também ser guiada pelo professor. Observam-se transparências, nomeiam-se seus elementos, descrevem-se as situações, cultiva-se a memória e a imaginação.

A observação indireta complementa e enriquece a observação direta, ampliando o campo do conhecimento.

A associação. Nesta segunda fase do método, o tema é expandido em diversos conteúdos, sistematizando-os. Por meio de associações, os alunos conseguem uma apreensão integral, vital e significativa de cada um dos temas e realizam diversos tipos de aprendizagem. As associações surgem dos

interesses dos alunos, de suas curiosidades, de suas experiências, de suas necessidades de atuar e compreender e de localização no espaço e no tempo.

As associações têm por finalidade analisar, relacionar e organizar a realidade que foi observada; aperfeiçoar e ampliar as estruturas mentais dos alunos e seu círculo cultural.

A expressão. Constitui a terceira fase do método. Isto não significa necessariamente que ela deva realizar-se por último: enquanto se observa ou se realizam associações continuamente se estimula a expressão. Realiza-se por meio da linguagem oral e escrita; pelo próprio corpo (gesto, mímica, dramatização, jogo); por meios indiretos (marionetes, teatros de sombras); pela expressão plástica (desenho, pintura, montagem, modelagem, etc.); pelas construções e pelos trabalhos manuais (AMATO, 1971, pp. 93-95, tradução nossa).

Para aclarar como podemos colher benefícios extraordinários da técnica do ensino que Decroly preconiza, e como há uma natural fluidez do ensino ao aplicá-la, lançamos mão dos registros proveniente da Escola Experimental Rio Branco, que em determinado ano letivo inicia seu trabalho, em uma turma, com o centro *A Chuva*, (aproveitando assim o período chuvoso que coincidira com o início das aulas). Os jovens foram conduzidos a observar o que era a chuva, de onde vinha (nuvens), como despenca do céu, porque cai em gotas, como fica o céu em períodos de chuva, como as pessoas se abrigam, como os animais se defendem da chuva. Esses questionamentos se tornaram motivos a exercícios de observação.

A segunda fase do método surgiu naturalmente, a associação não foi senão o encaminhamento e a solução de muitas perguntas elaboradas pelos próprios alunos. Por que chove? O que causa as trovoadas quando chove? Por que às vezes ocorrem chuvas de pedras de gelo? Por que alguns meses atrás não havia chuva e neste mês chove quase todos os dias? Por que a maioria das plantas ficam mais vistosas com a chuva e outras como os cactos, por exemplo, parecem não se alterar com a chuva ou com a falta dela?

Para globalizar a leitura, os alunos tiveram acesso ao livro “João Pergunta” do autor Newton Craveiro que trás reflexões sobre as secas do Nordeste. Conta nos registros da unidade escolar, que o interesse dos jovens pelo tema foi enorme, e houve tanta

repercussão que os alunos, naturalmente, associaram a ideia de outras regiões, de outros Estados. Desenharam esquemas que os ajudaram a compreender o mapa do Brasil para localizarem o Ceará. Ao desenrolar das aulas, descobriram que na classe haviam dois garotos de estados diferentes, um do Mato Grosso e outro do Paraná. Isso os motivou a estudar esses Estados e, na sequência, os Estados vizinhos sem demandar maiores esforços para isso acontecer. A diversidade na expressão foi altíssima: desenhos de um dia de chuva, narração de histórias de fatos que lhes acometeram, textos relatando experiências reais com eles e suas famílias, etc. Nessa ocasião um dos responsáveis do projeto expõem parte do relato com as seguintes linhas:

Interessaram-se os alunos vivamente pela aprendizagem de duas poesias referentes à chuva, para recitação. Como os jornais reproduzissem clichês de aspectos de inundações, grande número de crianças levou à professora recortes desses jornais. Com esse material foi organizado, pelas próprias crianças, um quadro de inundações, com o mapa do Estado em que se indicavam os lugares onde os rios haviam transbordado. Isso provocou o centro seguinte, *Rios*, que teve desenvolvimento mais extenso, com exercícios de mais amplas associações e de expressão, numerosos e variados. (LOURENÇO FILHO, 1974, p. 195)

CAPÍTULO 4 – PROPOSTA DE APLICAÇÃO DO SISTEMA DECROLY NO ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA

Propomos o uso dos centros de interesse no ensino-aprendizagem do princípio da incerteza de Heisenberg. A intenção é fomentar a participação ativa dos alunos do 3º ano do Ensino Médio. Antes de entrarmos no ensino ativo, com a finalidade de entender o princípio da incerteza, procuramos envolver os alunos em uma atmosfera de curiosidade sobre a Física Moderna, sobre os principais ícones da Física Clássica e Moderna (com o propósito de entender o limiar entre essas duas físicas, bem como os físicos que mais colaboraram para o desenvolvimento da área que investigaram), e, por conseguinte, um dos nossos alvos, era também conduzir os alunos a assimilar quais foram às circunstâncias do nascedouro da Física Quântica. Para alcançar esse primeiro

objetivo, uma das estratégias foi realizarmos com a classe a leitura do texto em *itálico* (páginas 22-24) a seguir (TORRES, FERRARO, et al., 2013). durante a qual fazíamos, propositalmente, interrupções e encaixes de perguntas pertinentes ao objetivo a ser alcançado. Sabíamos previamente que muitas das perguntas os alunos não seriam capazes de responder, mas como o objetivo nesse momento não era de avaliação, direcionamos esse momento da aula, para criar condições para que conseguissem obter a resposta para cada pergunta. Ou seja, desde o início dos assuntos, ainda na introdução do conteúdo junto aos discentes, já aplicávamos aquilo que acreditamos ser uma opção a mais no arcabouço das metodologias disponíveis ao docente, no sentido de não apenas nos posicionarmos como agentes transmissores do conhecimento, mas fabricar as condições para que os educandos produzam ou construam seu próprio entendimento.

Assim, quando o aluno não sabia dar uma dessas respostas ou estava com dúvida, podia no momento em que realizamos a pergunta fazer uma pesquisa na internet – pois as aulas foram realizadas no laboratório de informática – ou pesquisar em algum livro (de antemão, foram levados para a sala de informática livros em que eles poderiam acessar facilmente esse conteúdo) e encontrar a resposta que buscavam.

Avisamos aos leitores deste que, a partir desse tópico do nosso texto, objetivamos não apenas oferecer sustentação teórico-didática para corroborar com a prática pedagógica, mas também relatar como foi o nosso proceder pedagógico para alcançar o propósito de um ensino ativo.

Texto aplicado como ponto de partida para introdução da Física Quântica:

Na tarde de 14 de dezembro de 1900, na sede da Sociedade Alemã de Física, o físico alemão Max Planck descortinava ao mundo da ciência que havia chegado a resultados tão importantes para a Física quanto àqueles alcançados pelo aclamado Físico Inglês Sir Isaac Newton dois séculos antes. Brotava ali, em uma terra que ninguém havia explorado ainda, uma nova Física, a Física Quântica (TORRES, FERRARO, et al., 2013).

Quem foi Newton, o que significa dizer que a nova Física que surgia tinha tanta importância quanto à de Newton?

Essa teoria estabeleceu uma linha divisória na Física. Tudo que o que existiu antes dela é denominado Física Clássica. Tudo o que se fez depois dela, em que se lançava mão das ideias de Planck como base para algum novo conceito, é chamado de Física Moderna.

Quais é a abrangência da Física Moderna?

A teoria de Planck, também conhecida como Teoria dos Quanta, era, ao mesmo tempo, simples e revolucionária na natureza, a energia é emitida ou absorvida em quantidades mínimas e discretas denominadas quanta (plural de quantum).

O que é um quantum ?

Essa hipótese, hoje já plenamente confirmada, rompia de uma maneira permanente com a ideia do senso comum segundo a qual a energia “fluiu” continuamente de um corpo para outro ou de um sistema para outro sem nenhuma limitação de quantidade. Os avanços tecnológicos do último centenário, que revolucionaram a vida e os costumes da humanidade no século XX foram, em grande parte, frutos das aplicações dos conceitos da nova Física do mundo das partículas subatômicas. A nanotecnologia, por exemplo, em rápido desenvolvimento no mundo todo, aponta para uma nova revolução tecnológica no século XXI, revolução esta que já presenciamos.

Quais produtos ou tecnologias você poderia citar que surgiu a partir do desenvolvimento da Física Moderna?

No final do século XIX e início do século XX, havia muitas perguntas sem resposta no campo da Física, fato que gerava um grande mal estar até nas mentes mais brilhantes da época. Fenômenos como a emissão de radiação pelos corpos aquecidos, o efeito fotoelétrico e a emissão de radiação por descargas elétricas em gases rarefeitos não podiam ser explicados pelos princípios da Física Clássica. Até que: eureka! Uma ideia incrivelmente brilhante e ao mesmo tempo incrivelmente simples, surge como respostas nesse cenário de desagradável ausência de compreensão de alguns fenômenos dentro da academia de ciências, a ideia do quantum, proposta por Max Planck (1858-1947). Com essa proposta, entra em cena uma “nova mecânica”, a

chamada Mecânica Quântica, que se mostrou absolutamente apta a explicar o comportamento das minúsculas partículas que compõem as moléculas e os núcleos dos átomos em variadas situações. Essa nova teoria, inicialmente denominada Teoria dos Quanta, se reduz às teorias da Física Clássica quando aplicada a sistemas macroscópicos. A Teoria Quântica impõe que aquele que se propõe a estudá-la desenvolva uma forma de raciocínio que é, em muitos aspectos, contrária ao senso de lógica que o mundo macroscópico nos habitua a ter.

Quais perguntas a Física Clássica não pôde responder?

Poucos meses antes de Planck revelar seus resultados e descoberta na sede da Sociedade Alemã de Física, William Thomson, mais conhecido como Lord Kelvin, discursava na Royal Society. Neste discurso, o físico desencorajava os jovens pretensos ingressantes ao estudo da Física a seguir essa carreira, pois esta ciência já havia se tornado um “céu azul e cristalino”, com apenas duas pequeninas nuvens cinzentas pairando sob ele. Uma dessas nuvens era a suposta existência do éter, com todas as suas propriedades “fantásticas”. E a segunda nuvem referia-se às discrepâncias entre os dados experimentais e as teorias clássicas, na tentativa de explicar a emissão de radiação pela matéria, fato que ficou conhecido como catástrofe ultravioleta.

Explique a ideia desse suposto éter.

De maneira incrivelmente surpreendente, em períodos de tempos muito curtos, os físicos de toda comunidade científica da época, puderam ver essas duas nuvenzinhas desabar na forma de “gigantescos temporais” sobre suas cabeças, e provocaram radicais mudanças na direção da Ciência Moderna. Uma dessas tempestades foi a teoria especial da relatividade, apresentada por Einstein em 1905. A outra foi a Física Quântica, proposta por Planck em 1900, poucos meses depois do discurso de Lord Kelvin.

O nosso objetivo é que o aluno compreenda os conceitos físicos envolvidos num enunciado da física quântica chamado de Princípio da Incerteza de Heisenberg, ou seja, que compreenda que a descrição do comportamento de um objeto quântico não é

determinística como a de um objeto macroscópico, que quanto maior for a precisão obtida na medida simultânea da posição de um objeto quântico menor será a precisão de seu momento. Isso equivale dizer que ao medir essas grandezas, simultaneamente, qualquer resultado terá uma incerteza associada.

Os discentes nesse momento precisarão desenvolver competências a respeito de duas entidades bastante representativas da Física, a saber, as ondas e as partículas. Falar dessas entidades, ou melhor, definir essas duas entidades, implica em relacionar suas propriedades. Podemos pensar como exemplo, quando nos referimos às partículas, já é sabido que elas têm tamanho definido, sofrem colisões entre si, transferem energias e trocam quantidade de movimento umas com as outras. Consequentemente, se tivermos em mente o mundo macro, é absolutamente natural associarmos as partículas como sendo as unidades que constituem esse mundo. É dessa linha de raciocínio que extraímos a concepção de átomo, embora já seja do nosso conhecimento que seus constituintes sejam partículas ainda menores. A priori não entendemos a matéria, ou não imaginamos a matéria, formada por ondas. Tal concepção é gerada porque o que as ondas fazem são coisas do tipo: contornar objetos – fenômeno da difração – sofrer reflexão, sofrer interferência, etc, esses são fenômenos que não conseguimos estabelecer relação com a matéria, nem dotados com extrema capacidade de imaginação fazemos tal associação. As ondas não têm localização espacial, isto é, ondas não tem posição definida por um referencial. Propor aos alunos um pouco de imaginação e cultura pop no aprendizado de Física é algo que faz parte do nosso “arsenal” de artifícios lúdicos – em nome de uma boa abstração com finalidades educacionais – propomos fazermos isso, aqui e agora: vamos imaginar que fossemos Mestres no Tempo, como nas ficções científicas do “Universo DC Comics” ou do “Universo Marvel” e então somos dotados da capacidade de nos encontrarmos com quem quiséssemos do passado. Nessa “viagem no tempo”, vamos nos encontrar com “enormes crânios” como Michael Faraday (1791 - 1867), James Clerk Maxwell (1831 - 1879), Heinrich Rudolf Hertz (1857 - 1894), etc, todos eles notáveis cientistas, muito espertos e únicos. Ao direcionar a qualquer um deles nossas indagações sobre ondas e partículas, a resposta seria uma só: “onda é onda e partícula é partícula”. E por que temos tanta certeza que essa seria a resposta de todos eles? É óbvio e muito simples: todos esses grandes nomes da Física que acabamos de citar, e todos os outros, até o final do século XIX e início do século XX, operaram sob

as leis da Física Clássica. Acontece que muito ainda faltava para os físicos aprenderem sobre a matéria em escala microscópica, e no início do século XX, quando estavam diante de fenômenos de ordem atômica e subatômica, toda a certeza que tinham a respeito das distinções entre fenômenos ondulatórios e materiais estavam sendo colocados em estado de ameaça.

Notemos que esse é o momento que começa a fazer sentido para o aluno, falar em “Princípio da Incerteza”, pois uma compreensão que até então era canônica, agora estava sendo diluída em virtude de discrepâncias de resultados experimentais com a teoria.

Durante a nossa aula, foi-nos dirigida a seguinte pergunta por parte de um aluno: “Mas professor o que isso significa, você esta querendo dizer que partícula pode ser onda e onda partícula?” É claro que não respondi de forma direta, mas essa pergunta tornou-se um “gancho” muito apropriado para o estilo de aula que nos propomos a desenvolver em sala de aula. Essa pergunta rendeu uma semana de reflexões, debates, outros centros de interesse, pesquisas por partes dos alunos e muito conhecimento novo agregado a mente desses jovens acadêmicos. Foi extremamente gratificante ver os alunos motivados para aprender algo novo, e na construção desse aprendizado, conversando com seus pares, propondo reflexões e definindo entre as duplas ou trios o que iriam falar no momento que lhes fosse dada a oportunidade para tal, quais os termos usar, e ver que boa parte deles estavam querendo esse momento. Até que finalmente a pergunta, que ajudou a gerar esses momentos de crescimento mútuo pôde ser respondida com toda segurança, fundamentação teórica, e o melhor – pois no devido tempo, após todas as ações pedagógicas com a finalidade de promover a maturação dos conceitos em torno do assunto – nos permitimos devolver ao aluno a pergunta e, para nossa imensa satisfação, não só ele respondeu, mas toda a classe participou da resposta. Que foi, em suma, algo parecido com o que se segue: “Professor, é algo muito bizarro, mas depois de tudo que estudamos e aprendemos nas pesquisas, a resposta para a pergunta – “se partícula pode ser onda e onda partícula?”– a resposta é sim! Por mais, estranho que isso possa parecer, pelo menos no mundo das partículas atômicas e subatômicas, partículas podem ser ondas e ondas podem ser partículas ”.

O nosso objetivo específico era a realização de um ensaio no qual os alunos pudessem aprender, através do ensino ativo o que é o Princípio da Incerteza, porém, quando finalmente chegamos ao momento de entrar nos conteúdos da física quântica, haja vista, que devemos proceder com base em um planejamento anual e subsequentemente bimestral, no qual existe um cronograma com as ramificações da disciplina dispostas dentro desse planejamento, de tal forma que a física quântica, é o último conteúdo do último ano letivo do Ensino Médio a ser ministrada. E se analisarmos as disposição em que os livros didáticos trazem o nosso tema “O Princípio da Incerteza”, veremos que é o ultimo assunto da Física Quântica tratado nos livros didáticos do terceiro ano do ensino médio. Tudo isso, nos convenceu duas coisas: primeiro, teríamos um tempo muito curto no final do ano letivo para ministrarmos sobre Física Quântica; segundo, antes de falarmos do Princípio da Incerteza, consideramos prudente desenvolver todos os outros assuntos dessa ramificação primeiro, conforme as disposições apresentadas nos livros didáticos e isso foi assertivo pois garantiu uma base de conhecimento que nos permitiu posteriormente fluir muito bem no assunto principal. Assim, a percepção que tivemos para aquele momento é que não seria interessante “irmos diretos ao ponto”. Realizarmos a nossa proposta de ensaio, de forma a tornar tudo isso uma experiência que resultasse em bons frutos colhidos pelos alunos em forma de aprendizado e por nós em forma de vivência educacional produtiva, não seria possível sem antes trilhar com os alunos um caminho, cujo ponto de partida é saber responder a pergunta: o que é Física Quântica? E o ponto de chegada, o que é o Princípio da Incerteza? Oferecer uma base na qual os educandos pudessem navegar, a ponto de poderem responder tais perguntas, com todas as prerrogativas por trás do que elas significam, definitivamente foi uma construção de saberes vívido e gratificante, como já relatamos acima, que demandou planejamento e replanejamento e mudança de paradigma na forma dos alunos aprenderem e na forma do professor propor o ensino.

Principalmente no início das aulas, mas depois desse momento inicial de inseguranças (insegurança devido à falta de costume do aluno com o ensino ativo), o que é perfeitamente compreensível uma vez que estava sendo retirado de uma zona de conforto na qual viveu durante toda a sua vida escolar, estava sendo solicitado a expor o que conseguiu aprender, a falar em publico (fato que percebemos ser um grande desafio para grande parte dos alunos), a não ficar mais no anonimato, a contribuir com ideias

para novos centros de interesse, a ser um pesquisador, a não receber o conhecimento novo “em uma bandeja” preparada por outra pessoa, mas chegar a sala de aula portando uma parte do conhecimento e compartilhar esse conhecimento. foi desafiador para a maioria? Com certeza! Mas foi também um dos momentos de maior crescimento dos alunos em que presenciar autonomia e espírito colaborativo nas suas atitudes. A medida que os alunos começaram a ficar mais seguros, as aulas ficaram extremamente produtivas, agradáveis e de muito fácil manejo.

Antes dos alunos aprenderem sobre o Princípio da Incerteza, propriamente dito, tiveram que aprender os conteúdos relacionados abaixo:

- História da Física Moderna;
- teoria dos quanta;
- radiação proveniente dos corpos aquecidos;
- o quantum de energia – descoberta de Planck;
- o efeito fotoelétrico;
- a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico;
- a dualidade onda-partícula;
- comprimento de onda de de Broglie;

Ao passar por todas as etapas anteriores, chegamos ao momento do ensaio de aplicação dos Centros de Interesse envolvendo do Princípio da incerteza de Heisenberg.

Os materiais utilizados no experimento foram:

- Uma caixa de papel e nela uma estatueta do formato de algum objeto ou animal feita com um material ou combinação de materiais que, seja extremamente sensível ao toque (isto é, qualquer toque, por mínimo que seja, fará a estatueta se desmanchar).
- Data show e computador para exibir simulação do *Phet* simulador (software de simulação de situações da física, química, matemática e biologia) da tentativa de “observação” de um elétron ou projeção de um vídeo com tal simulação processada.

- Programa *Modellus* (software de simulação) para representar uma formiguinha de massa $m = 10^{-3}$ kg que corre certa distância em linha reta com velocidade de 1m/s com imprecisão de 10%.

CAPÍTULO 5 – PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS DO CENTRO DE INTERESSE

5.1 - Primeira parte: observação

É de extrema importância que as finalidades desse momento do ensaio fiquem imersas em meio da maior clareza possível, em exercícios de observação, assim compreendidos, intervêm necessariamente a linguagem e o cálculo.

Observar leva a comparar, a medir, a pesar, a contar; são exercícios satélites, como lhes chama Decroly, e de que o professor deve saber utilizar-se com proveito. Os exercícios de observação – esclarecia o pedagogo - consistem em fazer trabalhar a inteligência com material recolhido em primeira mão, isto é, pelos sentidos da criança, tendo em conta os interesses nele já existentes, e associando, ao mesmo tempo, a esse trabalho a aquisição de vocabulário e, por conseguinte, os elementos básicos da leitura e da escrita, assim como exercícios de comparação, dos quais, boa parte, servirá para o cálculo; e, finalmente, exercícios de crítica, que fornecerão à memória maior bagagem de ideias. (LOURENÇO FILHO, 1974 pp. 193-194)

Com base nessa clareza, iniciamos nossa aula experimental, junto aos alunos, direcionando uma das turmas do terceiro ano do ensino médio do Colégio Estadual Robinho Martins de Azevedo, em Goiânia, para que descobrissem qual o formato da estatueta dentro da caixa, usando a estratégia que quisessem adotar para esse fim, inclusive o tato (Esperávamos que durante essa tarefa descobrissem que pelo toque não seria possível saber qual o formato da estatueta no interior da caixa). E foi exatamente o que aconteceu, a estratégia que usaram para iniciar a tarefa foi de apalpar o objeto dentro da caixa. Isso era bem sugestivo para os alunos, uma vez que havia, na lateral da

caixa uma abertura tampada apenas com um tecido (como uma cortina), que impedia de ver o conteúdo da caixa, mas não impedia que se pusesse a mão dentro da caixa. A turma elegeu uma colega para colocar a mão dentro da caixa. Ao fazê-lo, a moça, com toda delicadeza e muito lentamente, introduziu a mão dentro da caixa – havia silêncio e expectativa nos demais – e quando, finalmente, a aluna encosta na forma dentro da caixa, a pequena estátua desabou completamente. A estatueta era feita de bloquinhos posicionados um em cima do outro, sem firmeza alguma. O silêncio e a expectativa de outrora, agora se convertia em risos levemente maldosos em ver a colega “falhar” em sua missão e “provocar” o efeito cascata nos bloquinhos que formavam a imagem dentro da caixa.

Esse é o momento em que o professor precisou posicionar-se como mediador. Para isso endereçamos a toda a turma algumas perguntas, através das quais eles poderiam aprender o que aquele momento de observação estava propondo. Segue abaixo as perguntas a eles direcionadas, bem como as respostas que obtivemos:

- Faz algum sentido vocês continuarem a tentar descobrir qual o formato da estatueta usando o tato?

Todo unânimes responderam que não.

- Se não, o que a turma deve fazer para continuar a tarefa de descobrir a forma dentro da caixa?

Depois de um tempo, houve variadas respostas, mas todas sugerindo algo em torno de parar para pensar, por alguns instantes, em uma nova estratégia para alcançar o objetivo.

- A forma de abordar o experimento pode interferir na experiência?

Isso ficou muito claro para todos, não houve nenhum aluno sequer, que não tivesse entendido isso. E a resposta deles foi que sim.

Na sequência, o tempo solicitado foi dado e os alunos foram conduzidos a discutir entre si e levantarem hipóteses de como, num próximo momento conseguirão descobrir o formato de uma estatueta dentro de uma caixa de papel (foram incentivados

a usar todo conhecimento de física de aulas anteriores relacionado, direta ou indiretamente, a isso). Os estudantes, a essa altura do curso, já aprenderam sobre, óptica (incidência de luz, opacidade, translucidez, transparência, deflexão da luz, etc), raios catódicos, raios x, emissão de radiação α , β e γ e seus poderes de penetração.

Fizeram essa etapa em grupo, mas os comentários e hipóteses sobre o que aconteceu na parte experimental e as hipóteses de como podiam enxergar o objeto na caixa, foi redigida individualmente em suas anotações pessoais.

Na aula subsequente, os estudantes foram conduzidos ao laboratório, e lá estava preparado o mesmo experimento da aula anterior (esperávamos que utilizassem uma solução física plausível, tais como: incidência de luz e explorar a possibilidade de translucidez da caixa, emissão de raios x para impressionar uma chapa etc.). Antes, porém, de começar as tentativas para descobrir o formato do objeto dentro da caixa, pedimos para que elencassem a relação de procedimentos que conseguiram pensar como opção para a descoberta que intentavam, e ainda que considerassem, como forma de exercício mental, que tínhamos ao nosso dispor, todos os recursos que precisassem, assim como se estivéssemos dentro de um laboratório munido com todos os equipamentos que suas mentes conseguissem imaginar. E assim o fizeram. Eis as possíveis soluções que relacionaram:

- Submeter a caixa a um aparelho de ultrassom;
- Extrair a imagem do objeto através da impressão em uma chapa de um emissor de raios X;
- Jogar luz na caixa, já que a caixa é de papel e tentar ver a silhueta do objeto projetada na parede oposta da caixa.

Então os questionamos: sabendo que não temos todos esses recursos. Como sugerem que descobramos o que se tem na caixa? Por motivos óbvios, a sugestão foi de iluminar o interior da caixa para ver a silhueta do objeto projetada na parede da caixa.

O resultado foi de 100% de sucesso. Havia algumas lanternas a disposição deles, emitiram luz na caixa por uma pequena abertura e puderam ver a sombra do objeto projetada em uma das paredes da caixa, como se fosse um anteparo. Mas a primeira parte do experimento ainda não havia sido concluída.

Na aula seguinte, propomos uma analogia, na forma de experimento mental, que consistiu no seguinte: usar uma caixa semelhante a anterior e imaginar que agora a estatueta dentro da caixa seja feita de elétrons. A proposta, novamente é: Como fariam para descobrir o formato da estatueta dentro da caixa? (Essa analogia é o “gancho” para explicar a impossibilidade de se usar as mesmas possíveis soluções de antes (aquelas que envolvem emissão de luz, raios x, etc), para resolução do atual problema e mostrar quais as consequências da interação de um fóton com um elétron.

Como resultado dessa experiência mental, tivemos, por parte dos alunos, o seguinte retorno: eles se lembraram das aulas do efeito fotoelétrico, nas quais viram que quando um elétron absorve um fóton surge um fotoelétron proveniente dessa absorção. Relataram que o elétron fica excitado por causa da energia do fóton, sendo que o elétron, que antes estava na superfície de um metal, agora salta deste com uma energia cinética definida e calculável. E que por esse motivo, a interação de um elétron com um fóton resulta no mínimo em deslocamento aleatório do – agora – fotoelétron.

Acreditamos que esse “cenário” é o pano de fundo perfeito para mostrar a simulação ou o vídeo da tentativa de “observar” um elétron e mostrar como o ato de “observar” interfere no experimento e dar significado para a frase “colapsou a função de onda”.

Lembramos que estamos relatando a primeira fase do método Decroly que se chama observação, chamamos a atenção para esse fato, porque o que propomos fazer com os alunos nessa “altura” do experimento é justamente provocá-los, através de um vídeo a “observar”, ou melhor, a procurar entender o que aconteceu com os elétrons quando o personagem do referido vídeo tenta “observar” os elétrons.

Assim, após assistirmos o vídeo – “do personagem chamado O Senhor Quântico” cujo título do mesmo é “Mecânica Quântica o Experimento da Fenda Dupla!” AVERDADELIBERADA (2014) – ao final deste, os comentários foram dos mais variados, algo do tipo: “como pode uma coisa ser outra coisa?” ou “que negócio bizarro é esse professor, se a gente não olha, o elétron é onda, só porque estamos olhando, ele agora é partícula?”, outro comentário, foi: “nossa professor, foi muito legal, mas é difícil de acreditar em tudo isso!”. Perguntei se algum deles já havia

assistido aquele vídeo ou outro similar, ou lido algum texto sobre o comportamento dual de um elétron, mas todos responderam que não.

É inevitável que adolescentes de 17 anos não façam tais questionamentos ao serem expostos a algo com tanta desconexão com a realidade cotidiana. Nesse momento, percebemos que o conceito de *colapso da função de onda*, já era intrínseco da condição que agora ocupavam como conhecedores (parciais) da Física Quântica e que só precisariam de uma pequena mediação para que consolidassem tal compreensão. Então ao questionarmos: o que acontece se “olharmos” para o elétron? Responderam: se comporta como partícula. Devolvi: e se não olharmos? Responderam: se comporta como onda. Em tom de riso, perguntamos novamente: e se olharmos para o elétron? Eles responderam com suave apelação: já dissemos que se comporta como partícula! Então, todos vocês estão muito próximos de entender o que é colapsar a função de onda! Saibam que a função de onda não pode dizer com certeza o que você vai descobrir sobre um objeto quântico, como ocorre com uma função horária do movimento uniformemente variado a respeito de uma partícula móvel macroscópica. Em vez disso, ela lhe dá probabilidades atualizadas e completamente confiáveis sobre qual das muitas possibilidades você verá se você faz muitas medições de objetos idênticos. Ela diz que o estado de uma partícula – inerente da condição quântica – antes da observação é fundamentalmente incerto. Se a função de onda diz que uma partícula pode estar na região A e na região B, então ela realmente pode estar na região A e na região B, por mais difícil que seja aprofundar em termos de vivências da realidade habitual. Só o ato de olhar para um objeto quântico “colapsa” sua função de onda, se tal objeto for um elétron, por exemplo, significa que não se fala mais de onda associada a esse elétron, e sim de partícula, tirando-o de uma “realidade paralela”, ou das “sombras” e o trazendo definitivamente para a realidade. A palavra colapsar significa falência de um sistema vital, assim sendo, colapsar a função de onda, implica que já não existe uma função matemática que descreva a suposta onda, portanto não tem onda mais. Significando que agora, o ente físico fruto da nossa observação é uma partícula e não mais um ente ondulatório.

Esse é aquele momento em que o leitor pode estar fazendo as seguintes perguntas: Mas afinal, o que é uma função de onda? E por que ela é importante na

Física Quântica? Existe um objetivo muito claro quando temos que resolver uma equação, o objetivo é encontrar a solução daquela equação, ou seja, há um valor, (ou valores), desconhecidos e queremos encontrar esse valor (ou esses valores). No caso de ondas provenientes de um sistema representado pelas leis da Física Clássicas, a função de onda é a solução de uma equação em derivadas parciais conhecida como equação da onda. Então, é inteligente supor que a função de onda de uma partícula quântica existe também com o propósito de satisfazer a uma equação de onda. Mas então, que equação seria esta? A resposta é a equação de Schrödinger⁴! Essa equação determina como a função de onda se comporta ao longo do tempo, ou seja, a função de onda é a solução da equação de Schrödinger. A função de onda se comporta qualitativamente como as outras ondas (por exemplo, como as ondas de água que se formam sobre a superfície de um lago parado por causa de uma perturbação em um ponto dessa superfície), isso porque a equação de Schrödinger é matematicamente um tipo de equação de onda. Fato que explica o nome "função de onda". Se fosse para resumir toda essa explicação em uma frase, poderíamos fazê-lo assim: o estado quântico de uma partícula é descrito por sua função de onda, que satisfaz à Equação de Schrödinger. O módulo ao quadrado da função de onda nos dá a amplitude de probabilidade de encontrarmos a partícula numa certa posição.

Finalizamos essa aula instigando os alunos a levantarem questionamentos, criar hipóteses, ou descrever sobre as diferenças entre a interação entre objetos macroscópicos e a interação entre objetos quânticos – como um elétron e um fóton – por exemplo. Diante de tudo que construímos junto a eles, já percebíamos certa maturidade nas respostas da maioria. Praticamente a classe toda descreveu que a interação de objetos macros com a luz, ou com outros objetos macros não os altera, não altera o que são e não altera como se comportam, mas objetos quânticos como o elétron têm comportamento circunstancial e que hora é partícula e hora é onda.

⁴ Em uma dimensão, a equação de Schrödinger independente do tempo para uma partícula escreve-se:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} \psi(x) + V(x)\psi(x) = E\psi(x)$$

Em que $\Psi(x)$ é a função de onda independente do tempo em função da coordenada x ; \hbar é a constante de Planck, (podendo também ser representada por $\hbar = h/2\pi$), m a massa da partícula, $V(x)$ a energia potencial e E é a energia do sistema. E que a constante vale $\hbar = h/2\pi = 1,054572 \cdot 10^{-34}$ Js. (NOVAIS, STUDART, 2016, PP. 43-44)

Quando descreveram que a interação entre corpos macros não altera o que são ou como se comportam, aproveitamos para lembrá-los que, além disso, é preciso considerar que, uma vez sabidas as condições iniciais, como localização, velocidade e força, que agem sobre o objeto macro, podemos prever com exatidão a posição e momento desse objeto em relação a tempo que queiramos estudá-lo. Como esses conteúdos eram do primeiro ano do Ensino Médio, não tiveram maiores dificuldades para relembrem os conceitos de velocidade, força e aceleração.

É importante salientarmos que, mesmo em um momento como esse, “de abrir parêntese” para rever conteúdos que foram estudados em séries anteriores, não o fazíamos pelo método tradicional. Por exemplo, ao lembrar uma função horária da mecânica pedíamos que alguém fosse ao quadro e colocasse o que se lembrava daquele assunto, isso gerava uma atividade muito motivada e produtiva, pois uma parte dos alunos ficava sempre na expectativa de demonstrar que sabiam alguma coisa, que tinham algum conhecimento e que poderiam contribuir também. E cada vez que alguém se dispunha a falar, fazer, ou participar para o desenvolvimento do assunto que estava em pauta, o aluno recebia muitos elogios e encorajamentos, da parte do professor e da parte dos colegas também. Isso se tornou uma marca nas nossas aulas e gerou muita confiança até para aqueles mais tímidos ou que se achavam inferiores em conteúdos de exatas, a ponto de faltar tempo em certos momentos para a participação de todos.

5.1.1 – Aplicação do Princípio da Incerteza

Na aula seguinte, os alunos conheceram a expressão matemática do Princípio da Incerteza de Heisenberg, bem como o contexto histórico em que esse princípio surgiu, a construção do raciocínio do autor até chegar nesse princípio e a aplicação matemática do mesmo.

Uma das particularidades canônicas da Física Clássica é sua condição de prever acontecimentos futuros – posição, momento linear, aceleração etc. – de um móvel em qualquer instante a partir de uma marcação cronometrada, isso, se conhecidas forem, sua posição e sua velocidade iniciais e as forças envolvidas. Esse é o motivo pelo qual dizemos que a mecânica newtoniana é determinística. Entretanto, com o advento dos

experimentos em escalas atômicas e subatômicas, essa linha de raciocínio demonstrou-se sem aplicabilidade para essa particularidade da Física. É importante entendermos que nosso comportamento, nossa visão de mundo e nossa interação com objetos macros foram moldados pelo determinismo que a Física Clássica impôs na nossa forma de pensar. Ao imprimir força para segurar um objeto sensível e este não vir a quebrar, ou antes, de chutar uma bola em uma partida de futebol, ao calcular distâncias antes de atravessar uma rua para decidirmos com qual velocidade que o faremos, a fim de que não sejamos vítimas de um acidente, são exemplos de como aplicamos essa maneira de pensar e o quão nossa intuição está nela imersa.

Para deixar bem evidente como a intuição é aniquilada, e aproveitando que nosso objetivo nessa etapa da descrição do Ensino Ativo através do método de Decroly é a observação, imaginemos uma situação em que uma pessoa precise ver, ou seja, observar a posição de um objeto qualquer, suponha que esteja em uma sala completamente escura, e essa pessoa precise encontrar um objeto, por exemplo, um copo para beber água, ora, ela sabe que não conseguirá observar a posição do objeto no escuro. Para alcançar o copo vai precisar acender uma luz e assim iluminar todos os objetos da sala, inclusive o copo. A reflexão da luz no copo aciona a visão, permitindo que essa pessoa determine, com precisão, a posição do copo.

Um dos primeiros assuntos que vimos em sala de aula dentro dos conteúdos da Física Quântica foi o estudo do efeito fotoelétrico, neste, entendemos que a luz tem uma natureza corpuscular, capaz de transferir quantidade de movimento para um elétron localizado na superfície de uma placa metálica fazendo-o saltar do metal. Imagine agora que queremos determinar com precisão a posição de um objeto quântico, como um elétron ao invés de um copo. Isso seria completamente inviável, uma vez que, ao jogar luz no elétron, sua posição seria imediatamente modificada devido à absorção do fóton proveniente da luz.

Isso deixa claro que a observação do mundo atômico e subatômico o afeta, modificando-o e dificultando a retenção de informações a respeito das características originais do fenômeno ou sistema estudado. Mais que isso, o fato de observar afeta o comportamento de objetos quânticos e nos obriga a obter apenas valores prováveis de

suas grandezas. No caso do elétron, poderíamos somente dizer onde seria mais provável encontra-lo, sem jamais afirmar com precisão onde ele está.

Essa nossa incapacidade de determinar com absoluta certeza as grandezas físicas de um sistema atômico ou subatômico foi proposta pelo físico alemão Werner Heisenberg⁵ que mostrou não se tratar de um problema tecnológico de melhoria dos instrumentos de medição: ela é uma limitação física do universo das partículas atômicas e subatômicas.

Heisenberg enunciou o Princípio da Incerteza assim: “Quanto maior a precisão na determinação da posição do elétron, menor é a precisão na determinação de sua velocidade ou de sua quantidade de movimento e vice-versa”. Para deixar muito explícito o que isso significa para nosso aluno, que foi alvo de nosso ensaio, e também para que assim seja para nosso leitor, explicamos em sala e o fazemos agora, que esse enunciado demonstra que no universo das partículas subatômicas os valores instantâneos de certos pares de grandezas físicas, denominadas variáveis conjugadas, não podem ser conhecidos, simultaneamente com precisão ilimitada. Mais uma vez, só pra ficar muito claro, porém com outras palavras: é importante sabermos que a precisão dessas grandezas é inversamente proporcional somente se fizermos medições ao mesmo tempo, ou seja, se as medirmos separadamente encontraremos valores precisos para essas grandezas o tanto quanto queiramos.

Analisando-se o movimento de uma partícula atômica ou subatômica ao longo de um eixo x , a relação de incertezas entre posição e quantidade de movimento é dada pela inequação a seguir que é o equivalente matemático desse enunciado:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi \text{ (descrição matemática do Princípio da Incerteza)}^6$$

Onde x é a posição dada em metros (no S.I.) e Δx a incerteza na posição da partícula ao longo do eixo x , enquanto que p é a quantidade de movimento. Quantidade

⁵ Werner Heisenberg (1901- 1976), físico alemão, estabeleceu a teoria da chamada Mecânica Quântica de Heisenberg. Foi diretor do Instituto de Física Max Planck, em Berlim.

⁶ Usa-se às vezes o símbolo \approx em lugar de \geq , a fim de levar em conta que, na prática, nunca se pode atingir o limite quântico. Também em algumas formulações do princípio, se utiliza $h/2\pi$ em lugar de $h/4\pi$. Estas pequenas diferenças não consideramos dignas de maiores preocupações aqui nesta exposição. (HALLIDAY, RESNICK, WALKER. 1996, P.185)

de movimento é uma grandeza física que normalmente aquele que não está familiarizado com esse conceito necessita de um pouco de elucidação para entender o significado, então vamos lá: considere uma motocicleta e também uma carreta de transporte de carga pesadas completamente carregada, se esses dois veículos estiverem em movimento com a mesma velocidade, digamos 60 km/h, mesmo sendo a velocidade de ambos iguais, não é complicado entender que será muito mais “difícil”, ou gastará bem mais energia, para fazer a carreta parar do que para a motocicleta. Isso ocorre devido à carreta com a sua carga formar um sistema de maior massa que a da motocicleta, ou seja, a quantidade de movimento da carreta é maior do que a quantidade de movimento da motocicleta. Assim, essa grandeza que também pode ser chamada de momento linear, ou simplesmente, momento, não depende apenas da velocidade, mas, do produto da massa pela velocidade com que esse corpo se desloca. De uma forma mais simples e numa linguagem matemática, dizemos que $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$, a unidade de medida no S.I. é dada por kg.m/s. As setas indicam grandeza vetorial e como as grandezas vetoriais, vêm carregada com três características, para a quantidade de movimento temos:

- Módulo: $p = m \cdot v$
- Direção: a mesma da velocidade.
- Sentido: a mesma da velocidade.

Δp é, portanto a incerteza na quantidade de movimento da partícula ao longo do eixo x.

Conduzimos os discentes pelo mesmo arranjo experimental imaginário que Werner Heisenberg usou para explicar o Princípio da Incerteza (que tem muita similaridade com a situação hipotética da pessoa encontrando o copo, situação desenvolvida em linhas anteriores) o arranjo consiste no seguinte: “para evidenciar o fato, descrito no enunciado acima, Heisenberg utilizou a seguinte experiência mental: com um poderosíssimo microscópio ótico, analisou o movimento de um elétron, iluminando com um raio de luz. Como o raio de luz é constituído de fótons, houve a colisão entre um fóton e o elétron, o qual recebeu certa quantidade de movimento. Nessas condições, alteram-se a velocidade e a posição do elétron”.

Na última aula da fase da observação, os alunos viram uma simulação através do programa *Modellus* (software de simulação) de uma formiguinha de massa $m = 10^{-3}$ kg

que corre certa distância em linha reta com velocidade de 1m/s com imprecisão de 10%. Com os dados apresentados foram solicitados a aplicar o Princípio da Incerteza e determinar a incerteza da posição.

5.2 - Segunda parte: associação

A associação, que organiza, embora de forma elementar, o ambiente que o aluno observou na direção do espaço e do tempo, dando lugar aos conhecimentos fundamentais da geográfica e da história. Uma vez que, as associações têm por finalidade analisar, relacionar e organizar a realidade que foi observada; aperfeiçoar e ampliar as estruturas mentais dos alunos e seu círculo cultural (AMATO, 1971, p. 93-95).

Para garantir que tais finalidades fossem alcançadas, os discentes foram conduzidos a explicar, por escrito, a causa da incerteza, ou da imprecisão entre as grandezas físicas posição e momento de um elétron e utilizar a forma matemática do Princípio da Incerteza para responder questões envolvendo algoritmos, tais como: “Uma bola de futebol tem massa de 0,45 kg e move-se com velocidade de 30 m/s. Supondo que a quantidade de movimento seja determinada com uma incerteza de 2,0%, de acordo com o Princípio da Incerteza. Qual é a incerteza ao medir a posição dessa bola”.

Ao resolverem o problema proposto, chegaram a resultados com valores da ordem de 10^{-34} . Então, foram questionados sobre o que significava tal resultado. Não souberam responder instantaneamente, porém, com um pouco de reflexão e conversa entre eles entenderam que se trata de um valor extremamente pequeno.

Como nosso objetivo junto aos alunos (nessa etapa) era que estabelecessem associação entre o valor obtido e o objeto estudado, não foi difícil para eles entenderem que esse resultado mostra que a incerteza na posição da bola é infinitesimal, isto é, a bola pode ser localizada com grande facilidade e precisão, como esperávamos que fosse. Como o valor da constante de Planck ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s) é muito pequeno, para corpos macroscópicos as incertezas também são muito pequenas como mostra o resultado. Isso significa que corpos "muito grandes" são facilmente localizáveis, independente da

precisão associada ao valor da sua velocidade. Como resultado dessa aplicação, nossos alunos, compreenderam que não faz nenhum sentido pensar em Princípio da Incerteza para objetos em nível macroscópico. Os alunos fizeram comparações com o que aprenderam em aulas anteriores, buscando compreender e explicar o experimento que visava descobrir o formato da pequena estátua dentro de uma caixa e como que a abordagem ao objeto interfere nos resultados, e ainda qual a relação desse experimento com o experimento mental proposto por Heisenberg. Ocorreu uma espécie de redescoberta do Princípio da Incerteza.

E, para finalizar, essa etapa do nosso ensaio, mostramos para os discentes que produzir novos pensamentos, romper com velhos e introduzir novos paradigmas, significa que não basta ter uma mente brilhante, é necessário ter perseverança às vezes, significa navegar em águas desconhecidas, ter que se posicionar com firmeza e defender suas convicções. Esse conceito, proposto pelo físico Heisenberg, teve apoiadores brilhantes, como o seu mentor Niels Bohr, mas também sofreu com ataques e foi alvo de duríssimas críticas de mentes igualmente brilhantes como foi o caso de Albert Einstein. Mesmo sendo Einstein um desses cientistas que rompeu com antigos conceitos e que trouxe novos paradigmas, ele foi um dos mais duros opositores da Mecânica Quântica. Uma das conversas que Einstein e Bohr tiveram, e que nossos alunos intitularam carinhosamente – por reconhecer a grandeza desses dois ícones da ciência – de “Duelo de Titãs” retrata como Einstein não “engolia” a interpretação de Copenhague⁷. Einstein pergunta a Bohr algo parecido o que se segue: “Bohr você realmente acredita que a Lua só está lá quando você olha para ela? Eu estou completamente convicto de que Ele (Deus) não joga dados com o universo”. A essas provocações Bohr respondeu algo mais ou menos assim: “Albert, não seja ousado de dizer a Deus o que Ele deve ou não deve fazer” PAIS (1996). Assim, acreditamos que, para os discentes, ficou subentendido, que não se trata apenas de compreender o significado do Princípio da Incerteza, mas crescer com as lições e que acontecimentos

⁷ Forma de interpretar a Mecânica Quântica. Com forte influência de Niels Bohr, interpretação que historicamente permeia a comunidade científica há aproximadamente 100 anos, uma vez que estabelece os elementos básicos dos procedimentos metodológicos e desdobramentos conceituais. (BAKER. 2015 p.68)

históricos como esse podem agregar (a todos que entendem o valor da educação, melhor ainda, da autoeducação), durante o percurso do aprendizado.

Em seus comentários informais ou na participação ativa das aulas, nossos alunos associaram, não somente como a Física é importante para as tecnologias, mas também como as que culturas e países que têm acesso ao desenvolvimento proporcionado pelas descobertas dessa ciência, se diferenciam, daqueles que não as têm. Ao se localizarem, seus contextos, geograficamente e historicamente, perceberam que, de certa forma, são produtos desse avanço científico.

5.3 - Terceira parte: expressão

Embora essa seja a última fase da metodologia decrolyana, não significa que tenha que acontecer por último. Durante as fases precedentes, os alunos podem, se assim o quiserem (e é bom que queiram), expressarem-se em momentos de evolução do conhecimento. A expressão possibilitaria ao educando externar aquilo que aprendeu, através da linguagem gráfica ou outra qualquer, integrando, assim, diversos conhecimentos adquiridos (NICOLAU. 1997 P. 35).

Para expressar o conhecimento adquirido nas duas etapas anteriores, os alunos foram requisitados a responder algumas pergunta. Segue as perguntas com um resumo em torno das ideias do que responderam:

- O Princípio da Incerteza é válido para a formiguinha?

Embora a formiguinha seja extremamente pequena (do ponto de vista macroscópico), ainda assim não é um ente quântico. Portanto o Princípio de Heisenberg não é valido para o animalzinho.

- Por quê?

Em virtude do fato mencionado na resposta anterior, o resultado para a incerteza da posição é extremamente pequeno (da ordem de 10^{-32}), ou seja, é uma imprecisão que praticamente não existe.

- Tendo como base a experiência da estatueta dentro da caixa (extremamente sensível ao toque), como você faria para medir o diâmetro de uma bola de sorvete? (Sabemos que medidas diretas seriam impossíveis, pois deformariam o sorvete. É possível medir esse diâmetro indiretamente por fotografia, por exemplo. Neste caso não haveria a interferência direta nas dimensões, mas certamente haveria a necessidade de correções ou ajustes no processo de medida. Como no exemplo da estatueta, processos que utilizam a luz, portanto, fótons, não interferem nos corpos no plano macroscópico.)

Mas, houve uma resposta, por parte de um aluno que todos na sala a consideraram extremamente criativa, ele disse: “que tal medirmos o diâmetro da bola de sorvete a partir da concha (colher), pois o sorvete assume a forma da mesma. Poderíamos, por exemplo, usar uma massa que a princípio fosse modelável, mas que endurece após algum tempo. Estaríamos medindo o diâmetro da bola de sorvete sem nem se quer tocar nele.”

- Um elétron move-se na direção do eixo x com velocidade de $3,0 \cdot 10^6$ m/s. Supondo que se possa medir essa velocidade com uma incerteza de 2,0%, qual é a incerteza na medida da posição desse elétron? considerando: $h/2\pi = 1,1 \cdot 10^{-34}$ J.s; massa do elétron: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg. (como nesse caso trata-se de desenvolvimento de contas com aplicação de algoritmos, consideramos desnecessário fazer o desenvolvimento da mesma aqui, nos dando por satisfeitos em relatar que a maioria dos alunos o fez sem apresentar maiores dificuldades e aqueles que não conseguiram de imediato, com um pouco de mediação do professor ou de um colega mais experiente, também conseguiram).

Durante todas as aulas, o professor foi discreto orientador/facilitador da aprendizagem.

5.4 - Leitura fundamental

Ao final das aulas de ensino ativo com o uso dos centros de interesse, recomendamos aos alunos a leitura do capítulo 14 (intitulado, A Nova Física) do livro “Compreendendo a Física, volume 3, do Eletromagnetismo a Física Moderna”, 2ª edição São Paulo, ano 2013, Alberto Gaspar. Recomendamos também o livro “50 Ideias de Física Quântica Que Você Precisa Conhecer”, 1ª edição, ano 2015, autor Joanne Baker, editora Planeta, São Paulo, tradução de Rafaela Garcia.

5.5 - Quadro Resumido das Aulas

Todas as etapas da aplicação de nosso ensaio, foram sintetizadas em um quadro em que além de resumir a didática aplicada em cada aula, produz maior clareza quanto à ordem cronológica dos fatos narrados.

São propostos oito encontros, cada um deles com duração de uma hora/aula. A tabela a seguir descreve resumidamente as atividades, qualificação dos momentos bem como o tempo destinado à realização das mesmas. E ainda a fase do processo do ensino ativo, baseado no método dos Centros de Interesses.

Tabela: Quadro Resumido das Aulas

Atividades	Momentos	Tempo
<p>Fase: Observação</p> <p>1- Professor solicitará aos alunos a descobrirem qual o formato de uma estatueta dentro de uma caixa de papel feita de material extremamente sensível ao toque. A caixa terá uma abertura, tampada apenas com tecido, porém por toque não conseguirão descobrir o formato da pequena estátua.</p>	<p>No laboratório de Ciências ou em sala de aula, Os alunos devem conversar entre si para decidirem como fazer.</p> <p>A estatueta pode ser feita de bloquinhos posicionados um em cima do outro, sem firmeza alguma.</p>	<p>Uma aula</p>

<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>2- Repetir o mesmo experimento da aula anterior. O esperado é que agora utilizem uma solução física plausível. O professor deve ouvir as possíveis soluções que os alunos vierem a sugerir e aplica-las</p>	<p>No laboratório de Ciências ou em sala de aula, jogar luz na caixa, já que a caixa é de papel e tentar ver a silhueta do objeto projetada na parede oposta da caixa é uma solução bem viável.</p>	<p>Uma aula</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>3- Propor uma analogia, na forma de experimento mental: mostrar quais as consequências da interação de um fóton com um elétron. Mostrar a simulação ou o vídeo da tentativa de “observar” um elétron e explicar significado de “colapso da função de onda”.</p>	<p>Na sala de vídeo, o professor deverá conduzir para que os alunos se lembrem das aulas do efeito fotoelétrico. O vídeo em questão é do personagem chamado “O Senhor Quântico” cujo título é “Mecânica Quântica o Experimento da Fenda Dupla!” Disponível em : <https://www.youtube.com/watch?v=GXYW4a3OZY></p>	<p>Uma aula</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>4- Nesta aula os alunos conhecerão a expressão matemática do Princípio da Incerteza de Heisenberg. Mostrar que Heisenberg provou que a incerteza da posição e a incerteza do momento são inversamente proporcionais quando medidos simultaneamente em partículas atômicas e subatômicas.</p> <p style="text-align: center;">$\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$ (descrição matemática do Princípio da Incerteza)</p>	<p>Conduzir os discentes pelo mesmo arranjo experimental imaginário que Heisenberg usou para explicar o Princípio da Incerteza. O Professor poderá incrementar o experimento com outras ideias ou ações que queira para ilustrar o Princípio da Incerteza.</p>	<p>Uma aula</p>

<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>5- Aplicação do programa <i>Modellus</i> (software de simulação) de uma formiguinha em movimento com massa e velocidade definidas e com os dados apresentados solicitar que os alunos apliquem o Princípio da Incerteza.</p>	<p>O professor deve mediar para que os alunos resolvam a questão, e auxilie aqueles que não conseguirem aplicar o Princípio da Incerteza na primeira tentativa.</p>	<p>Uma aula</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Associação</p> <p>6- Os discentes serão conduzidos a explicar e utilizar a forma matemática do Princípio da Incerteza para responder questões envolvendo algoritmos.</p>	<p>Ao resolverem o problema proposto, chegarão a um resultado com valores da ordem de 10^{-34}. Então, deverão ser questionados sobre o que significava tal resultado. O objetivo aqui é estabelecer associação entre o valor obtido e o objeto estudado.</p>	<p>Uma aula</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Expressão</p> <p>7- Para expressar o conhecimento adquirido nas etapas anteriores, os alunos serão requisitados a responder algumas pergunta de natureza dissertativa.</p>	<p>Na sala de aula, o professor direcionará quatro perguntas a turma a fim de fortalecer as diferenças entre as abordagens de objetos quânticos e objetos macroscópicos.</p>	<p>Uma aulas</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Expressão</p> <p>8- Os procedimentos de verificação da aprendizagem poderão ser formais ou informais. Todavia, para evitar dúvidas a respeito da eficácia do ensino ativo, sugerimos ao professor a realização da verificação da aprendizagem através de prova escrita tradicional.</p>	<p>O professor deverá aplicar a mesma prova em duas turmas. Em seguida estabelecer a distinção dos resultados em percentuais do número de acertos da turma em que foi usado o método Decroly comparando com o número de acerto da turma em que foi usado o tradicional método expositivo.</p>	<p>Uma aulas</p>

CAPÍTULO 6 – VERIFICAÇÃO DA APRENDIZAGEM

Os procedimentos de verificação da aprendizagem poderiam ser formais ou informais. Os formais são a prova oral e a prova escrita. Os informais são o interrogatório, a arguição, a consulta ou entrevista individual, a discussão socializada, os exercícios de classe, as tarefas, os relatórios e sumários escritos pelos alunos, às experiências e os trabalhos práticos. Procedemos com os dois tipos de avaliação, para que no final do processo pudéssemos comparar os resultados. Avaliamos, então, a participação ativa de cada aluno. O crescimento pessoal e acadêmico de cada um foi algo que ainda não havíamos experimentado ao longo de uma carreira de 20 anos na educação.

Crescimento pessoal: mudaram a responsabilidade, socializaram de maneira a contribuir com cada objetivo proposto, encontraram satisfação em assumir a autonomia da própria educação nas aulas de Física Quântica, posicionamentos, falas e emissão de opiniões pessoais e pensamentos com maior critério, diminuição considerável de gracejos, piadas tolas, sem a perda do bom humor, etc.

Crescimento acadêmico: houve resultados muito expressivos nas avaliações formais, cujas notas não implicaram em discrepâncias com aquelas que teriam se a avaliação fosse informal em relação à nota da avaliação formal.

Existe hoje um parâmetro nos sistema educacional vigente que, em se tratando de Ensino Médio, vai expor todo o processo ensino-aprendizagem, bem como, os agentes envolvidos: aluno, professor, coordenador, diretor, unidade escolar, metodologias aplicadas, pais e responsáveis. Referimo-nos ao Exame Nacional do Ensino Médio⁸ e como se trata de um exame quantitativo, não podemos, simplesmente, deixar de lado esse aspecto da educação, pelo contrário, estamos atrelados a ele. E como

⁸ Segundo o Ministério da Educação, o Exame Nacional do Ensino Médio, foi criado em 1998 com o objetivo de avaliar o estudante no fim da sua fase de escolaridade básica. Porém, atualmente, é utilizado por mais de 500 universidades como um critério para ingressar no ensino superior. O exame substitui o vestibular de algumas universidades públicas e privadas, além de oferecer vagas em alguns cursos técnicos através do PRONATEC (MEC. ENEM - Apresentação, Disponível em: <portal.mec.gov.br> acesso em: 24 nov. 2019).

tal as avaliações precisam cumprir um papel de extrema importância para o aluno, que é o de preparatório para esse momento. Sendo assim, não poderíamos optar unicamente pela a avaliação informal. Os alunos, da turma que aplicamos o Ensino Ativo de Física Quântica, foram submetidos às mesmas provas e simulados, com o mesmo critério de correção que as outras turmas, que seguiram com aprendizagem dos mesmos conteúdos de Física Quântica, porém pelo método acroamático.

Lembramos ainda, que conteúdos de Física Quântica têm sido cada vez, mais frequentes em questões do Enem, e como essa é a tendência, produzir conhecimento de qualidade de Física Quântica, no Ensino Médio, é uma necessidade.

A verificação ideal da aprendizagem, quando usamos os centros de interesse, é a auto avaliação, ou seja, a avaliação feita pelo próprio aluno (ANDREATA. BARROS. 2017 P.9). O professor encoraja o aluno a realizar sua autocrítica e a autocorreção dos erros que ocorrem durante a aprendizagem. Todavia, para evitar dúvidas a respeito da eficácia do método dos centros de interesse, optamos em realizar a verificação da aprendizagem através de prova escrita tradicional. Para melhor evidenciar os resultados, sugerimos que sejam comparados os desempenhos de duas turmas que estejam cursando o 3º ano do ensino médio, do Colégio Robinho Martins de Azevedo na cidade de Goiânia.

Na turma do 3º ano A, discutimos o Princípio da Incerteza usando o sistema Decroly, conforme descrito acima. Na turma do 3º ano B, discutimos o Princípio da Incerteza usando o método expositivo. Aplicamos a mesma prova nas duas turmas. Fizemos em seguida a distinção dos resultados em percentuais do número de acertos da turma em que usamos o método Decroly comparando com o número de acerto da turma em que usamos o tradicional método expositivo.

Os resultados foram os seguintes:

- No 3º ano A, que é composto por 31 alunos, cuja somatória das notas – considerando somente a prova escrita – totalizou 254,5 pontos que, dividindo pelo número de alunos, resultou na média: $M_{3^{\circ}A} = 8,2$. Equivale dizer que a turma obteve 82% de aproveitamento.

- No 3º ano B, que é composto por 30 alunos, cuja somatória das notas – considerando somente da prova escrita – totalizou 198 pontos que dividindo pelo número de alunos, resultou na média: $M_{3^oB} = 6,6$. Equivale dizer que a turma obteve 66% de aproveitamento.

Salientamos que, a nota das turmas estão lançadas no site oficial da Secretaria Estadual de Educação do Governo de Goiás, e que temos posse de uma cópia impressa no dia 07 de dezembro de 2019 para efeito de comprovação e outros fins que se fizerem necessários.

Finalizamos o ensaio com uma recapitulação: os alunos a fizeram com a ajuda do professor. Além disso, iniciamos a aula posterior ao ensaio com nova recapitulação, visando fixar a aprendizagem.

CAPÍTULO 7 – O PRINCÍPIO DA INCERTEZA DE HEISENBERG

A nossa intenção neste capítulo é falar especificamente sobre o Princípio da Incerteza de Heisenberg e tentar oferecer esclarecimentos, tanto quanto nos for possível, do seu significado, porém, em linhas mais adiante, ofereceremos ao leitor uma explicação descritiva, usando o rigor matemático que é característico e esperado em uma abordagem da Física Quântica.

Esse princípio quântico é uma das ideias mais intrigantes e discutidas – e provavelmente uma das mais incompreendidas – de toda a ciência. Esse princípio impõe que existe uma “linha de separação” para o que podemos ter de informação a respeito do comportamento das partículas atômicas e subatômicas e, por conseguinte, as mais diminutas escalas da natureza. Contrapondo a descrição do universo imaginado e proposto por Isaac Newton, no qual o comportamento de um objeto: sua posição, velocidade e momento podem facilmente ser previstos se conhecidas forem às condições iniciais desse objeto.

A compreensão dessa importante lei da Física surge em um contexto em que Heisenberg trabalhava com pressuposições resultantes da teoria quântica, uma

excêntrica e inovadora forma de compreender como objetos em nível atômico comportam-se, na visão de físicos que se debruçavam sobre o tema para desenvolver formalismos, postulados e explicações que oferecessem maior clareza desse universo quântico, entre eles Niels Bohr, Paul Dirac, Erwin Schroedinger, e outros. Uma das ideias que foi uma espécie de “start” para desencadear uma série de outras ideias, é a proposta de que a energia proveniente de um corpo negro em temperatura elevada, não era contínua, mas em vez de ser assim, emanava em forma de pacotes discretos que, posteriormente, esses pacotes foram denominados de quanta, e ainda, a compreensão de que a luz poderia ser explicada como um ente de natureza ondulatória e um fluxo desses quanta.

Ao desenvolver essa visão, por um lado bem subjetiva, mas por outro muito radical, Heisenberg percebe um problema na forma como as propriedades físicas básicas de uma partícula em uma escala quântica estavam propensas a serem medidas. Em meados de 1927, Heisenberg apresenta apontamentos de uma ideia que depois de concebida, viria à luz e se tornaria elemento fundamental da descrição do universo quântico. Mas que ideia seria essa então? A ideia de que nesse universo de partículas subatômicas os valores instantâneos de certos pares de grandezas físicas, denominadas variáveis conjugadas – como, por exemplo, energia e tempo ou velocidade e posição – não podem ser conhecidos, simultaneamente, com precisão ilimitada. Isto é, quanto mais precisamente estamos informados a respeito do valor de uma dessas grandezas, menos precisamente conhecemos o valor da outra.

O Princípio da Incerteza veio a se tornar o ponto central em torno do qual orbitam explicações de muitos fenômenos que já são alvo de nossa observação, mas que a Física Clássica não foi capaz de explicar. Para elucidar o que acabamos de dizer, vejamos o que acontece com o átomo, no qual elétrons, que são partículas carregadas negativamente, orbitam um núcleo positivamente carregado. Dentro da previsão da Física Clássica, essa seria uma combinação de um sistema físico insustentável, que só poderia ter um fim: colapso de partículas se aglomerando no núcleo devido a forças de atração entre os dois tipos de cargas. O Princípio da Incerteza é uma das formas de explicar porque a previsibilidade clássica falha nesse caso, uma vez que o colapso atômico não ocorre. Vejamos então uma explicação com base no Princípio da Incerteza,

considere o seguinte: se um elétron se aproximar muito do núcleo, teríamos informação – com alta precisão – da sua posição no espaço, assim, o erro em medir sua posição no espaço seria minúsculo. Isso implicaria que o erro na medição de seu momento, por ocasião da sua velocidade, seria enorme. Nesse caso, o elétron poderia estar se movendo rápido o suficiente para sair completamente do átomo.

Como este, vários outros fenômenos podem ser explicados a partir desse princípio, como a radiação nuclear conhecida como decaimento alfa, poderíamos entender também como o vácuo do espaço realmente não está vazio e até mesmo como o sol, a principal estrela da nossa galáxia, consegue brilhar.

De todos esses exemplos citados acima, talvez a ilação que mais causa estranheza relacionada ao Princípio da Incerteza seja aquele sobre os vácuos, isso porque vácuos são considerados como a ausência completa de matéria. Mas não é assim na teoria quântica. Existe uma incerteza inerente na quantidade de energia envolvida nos processos quânticos e no tempo gasto para que esses processos aconteçam. Em vez de posição e momento, a equação de Werner Heisenberg também pode ser expressa em termos de energia e tempo. Ou seja, quanto mais restrita for uma variável, menor será a restrição da outra. Portanto, é possível que, por períodos de tempo extremamente curtos a energia de um sistema quântico possa ser altamente incerta, de uma maneira tal que as partículas podem surgir no vácuo.

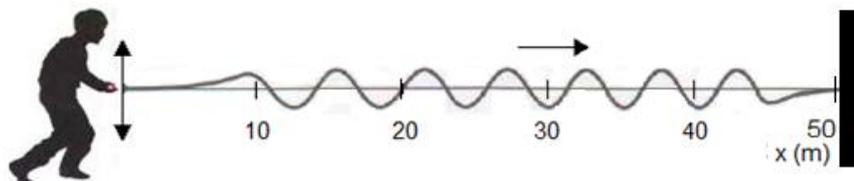
Portanto, quando tentamos medir a energia associada a uma partícula, num intervalo de tempo Δt , a sua medição terá uma incerteza ΔE dada por $h/\Delta t$. Se queremos melhorar a precisão da medida de energia, precisaremos dispor de um maior intervalo de tempo para esse fim.

Até aqui, abordamos o Princípio da Incerteza considerando a sua importância em explicar, como, este princípio justifica fenômenos que a Física Clássica se mostrou ineficiente para tal. Mas agora queremos entender como esse princípio surgiu e qual a motivação do seu criador ao fazê-lo.

Para compreendermos o que ele significa, imaginemos uma corda de 50 m, com uma de suas extremidades presa em uma haste e a outra, segurada por uma pessoa

fazendo movimentos sucessivos de sobe-desce, gerando pulsos que percorrem toda a corda, como ilustra a figura abaixo.

Figura 1-Uma onda com um comprimento (razoavelmente) bem definido, porém uma posição mal definida.

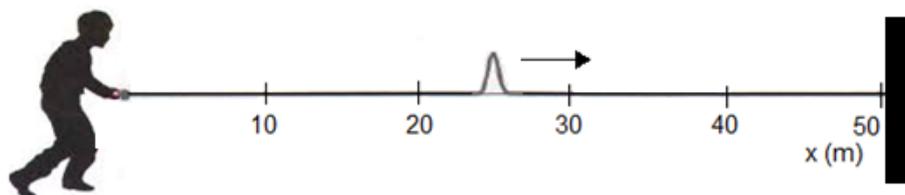


Fonte: GRIFFITHS (2011).

Se uma segunda pessoa, vendo a cena, perguntar à primeira, onde precisamente está essa onda? Provavelmente, a pessoa a quem foi direcionada esse questionamento, receberia tal pergunta como sendo algo que não faz sentido. E por que não faz sentido? A resposta é simples: porque a onda não se encontra precisamente em nenhum lugar, pois ela está espalhada ao longo dos 50 m de corda. Contudo se a pergunta fosse: qual é o comprimento de onda? Nesse caso seria uma pergunta pertinente, cuja resposta não seria difícil: basta medir a distância entre dois vales consecutivos e então obteria o valor do comprimento de onda. É importante, ressaltar que o valor do comprimento de onda dependerá do ritmo do movimento que gera os sucessivos pulsos na extremidade oposta a haste, assim, quanto mais rápido for o movimento de sobe-desce na extremidade segurada pela pessoa, menor será o comprimento de onda.

Porém, se imaginarmos outra situação, em que a pessoa ilustrada na figura 2, produza apenas um único pulso repentino que percorre a corda, e se uma segunda pessoa fizer a primeira pergunta (onde precisamente está a onda?), tal questionamento é bem razoável, pois é plenamente possível saber a posição X (m) desse pulso em um instante t (s) antes do pulso colidir com a haste.

Figura 2-Uma onda com posição (razoavelmente) bem definida, porém um comprimento mal definido.



Fonte: GRIFFITHS (2011).

Por outro lado, não faz sentido, perguntar qual é o comprimento de onda, uma vez que esse pulso não é sequer periódico.

Há uma situação, no mínimo de impasse aqui, da qual não temos como escapar: quanto mais precisa é a posição da onda, menos preciso é o comprimento de onda e vice-versa. Isso é uma regra que se confirma para qualquer fenômeno ondulatório, o que nos assegura que isso também é válido para a função de onda $\psi(x,t)$ da mecânica quântica. Acontece que existe um comprimento de onda relacionado à $\psi(x,t)$ que por sua vez está associado ao momento da partícula quântica estudada, e tal associação é perceptível na equação de de Broglie:

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{2\pi\hbar}{\lambda} \quad [7.1]$$

Onde p é o momento da partícula e λ representa o comprimento de onda.

Assim, podemos impor que falar de espalhamento do comprimento de onda, é o mesmo que falar de espalhamento do momento da partícula. No parágrafo anterior, ao mencionar o impasse quântico, dissemos a seguinte frase “quanto mais precisa é a posição da onda, menos preciso é o comprimento de onda e vice-versa”, agora podemos generalizar essa compreensão levando em conta o momento ao invés do comprimento de onda. Generalizando, podemos então evoluir essa frase para, “quanto mais precisa for à determinação da posição da partícula, menos precisa será a determinação do seu momento”. Numa linguagem matemática podemos expressar assim:

$$\sigma_x \cdot \sigma_p \geq \frac{\hbar}{2} \quad [7.2]$$

Onde, σ_x é o desvio padrão da posição da partícula, e σ_p é o desvio padrão do momento da partícula. E esta é a belíssima relação do **Princípio da Incerteza de Heisenberg**.

7.1 – Função de Onda

Mencionamos ao longo do nosso texto as palavras “função de onda”, mas o que seria esse objeto matemático aqui no contexto da Física Quântica? Para responder, queremos lembrar algo, que de uma forma ou de outra, já mencionamos aqui neste texto: objetos quânticos são representados por densidades de probabilidade. Uma função de densidade $f(x,t)$ indica o quão provável é que o objeto seja detectado na posição x no instante de tempo t .

A densidade de Probabilidade é o quadrado do módulo da função representada pela letra grega ψ :

$$f(x, t) = |\psi(x, t)|^2 \quad [7.3]$$

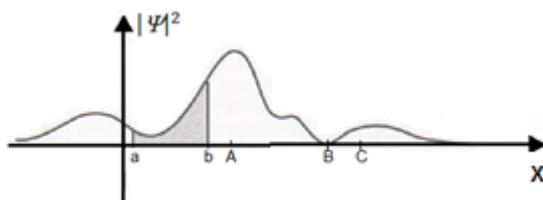
É necessário fazermos aqui uma ressalva, em virtude da matemática que envolve os números complexo: a função de onda é complexa, mas $|\psi|^2 = \psi^* \psi$ (onde ψ^* é o complexo conjugado de ψ) é real e não negativo, como toda probabilidade que se presa deve ser.

A função $\psi(x, t)$ é conhecida como a função de onda do sistema ou como o estado do sistema. O valor médio da posição, por exemplo, pode ser escrito como:

$$\langle x \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x |\psi(x, t)|^2 dx \quad [7.4]$$

Essa probabilidade é a área (figura 3) sob o gráfico de $|\psi|^2$, quando os limites da integral acima são a e b .

Figura 3 - Função de onda característica. A área marcada nos da à probabilidade da partícula ser encontrada dentro dos limites impostos por a e b . Nesse caso, a probabilidade indica uma chance maior de que a partícula seja encontrada próxima a A , e, muito improvável, próximo a B .



Fonte: GRIFFITHS (2011).

7.2 – Demonstração do Princípio da Incerteza Generalizado

Utilizamos o Princípio da Incerteza em várias situações durante o desenvolvimento deste trabalho, fizemos aplicações diretas e procuramos explorar a sua utilidade na Física Quântica. Porém nunca desenvolvemos uma sequência de equações em que, no final das mesmas, ficasse provado o Princípio de Heisenberg. Propomos agora uma sequência de argumentos matemáticos com a finalidade de estabelecermos uma descrição comprobatória, de uma versão mais generalizada, desse princípio.

De acordo com GRIFFITHS (2011) a teoria quântica está fundamentada em duas construções: funções de onda e operadores. O estado de um sistema é representado por sua função de onda, e as observáveis são representadas por operadores. Matematicamente, as funções de onda satisfazem as condições que definem os vetores abstratos e os operadores agem sobre eles como transformações lineares.

Entretanto, se formos lidar com o espaço vetorial proveniente do conjunto de todas as funções de x teríamos um espaço muito amplo. Assim, para representar um estado físico possível, a função de onda ψ deve ser normalizada, ou seja:

$$\int |\psi|^2 dx = 1 \quad [7.5]$$

O conjunto de todas as funções quadrado-integráveis, em um intervalo específico $f(x)$ tais que;

$$\int_a^b x |f(x)|^2 dx < \infty, \quad [7.6]$$

impõe um espaço vetorial, que é bem mais restrito. E que os físicos o denominam de espaço de Hilbert. Há uma necessidade de ressaltar isso, porque na mecânica quântica, as funções de onda existem no espaço de Hilbert.

Temos que, o produto interno de duas funções, $f(x)$ e $g(x)$, ocorre da seguinte forma:

$$\langle f|g \rangle \equiv \int_a^b f(x)^* g(x) dx. \quad [7.7]$$

É importante que saibamos que, se f e g forem quadrado-integráveis, é o mesmo que dizer que ambas estão no espaço de Hilbert, e isso significa que o produto interno de ambas indubitavelmente existe.

A origem disso está na desigualdade integral de Schwarz.

$$\left| \int_a^b f(x)^* g(x) dx \right| \leq \sqrt{\int_a^b |f(x)|^2 dx} \sqrt{\int_a^b |g(x)|^2 dx}. \quad [7.8]$$

Para provar o Princípio da Incerteza de forma generalizada, devemos lembrar que, para qualquer observável A , temos a equação,

$$\sigma^2 = \langle (\hat{Q} - \langle Q \rangle)^2 \rangle = \langle \psi | (\hat{Q} - q)^2 \psi \rangle = \langle (\hat{Q} - q) \psi | (\hat{Q} - q) \psi \rangle = 0 \quad [7.9]$$

daí que,

$$\sigma_A^2 = \langle (\hat{A} - \langle A \rangle) \psi | (\hat{A} - \langle A \rangle) \psi \rangle = \langle f | f \rangle, \quad [7.10]$$

em que $f \equiv (\hat{A} - \langle A \rangle) \psi$. E de maneira análoga, ocorre o mesmo para qualquer observável, B ,

$$\sigma_B^2 = \langle g | g \rangle, \text{ em que } g \equiv (\hat{B} - \langle B \rangle) \psi. \quad [7.11]$$

Dessa forma, quando usamos a inequação de Schwarz (Equação 7.8), temos,

$$\sigma_A^2 \sigma_B^2 = \langle f | f \rangle \langle g | g \rangle \geq |\langle f | g \rangle|^2 \quad [7.12]$$

Segue que, para todo complexo z teremos,

$$|z|^2 = [\text{Re}(z)]^2 + [\text{Im}(z)]^2 \geq [\text{Im}(z)]^2 = \left[\frac{1}{2i} (z - z^*) \right]^2. \quad [7.13]$$

Portanto, seja $z = \langle f | g \rangle$,

$$\sigma_A^2 \sigma_B^2 \geq \left(\frac{1}{2i} [\langle f | g \rangle - \langle g | f \rangle] \right)^2. \quad [7.13]$$

Entretanto,

$$\begin{aligned}
\langle f|g\rangle &= \langle (\hat{A} - \langle A \rangle) \psi | (\hat{B} - \langle B \rangle) \psi \rangle = \langle \psi | (\hat{A} - \langle A \rangle) (\hat{B} - \langle B \rangle) \psi \rangle \\
&= \langle \psi | (\hat{A}\hat{B} - \hat{A}\langle B \rangle - \hat{B}\langle A \rangle + \langle A \rangle\langle B \rangle) \psi \rangle \\
&= \langle \psi | \hat{A}\hat{B} \psi \rangle - \langle B \rangle \langle \psi | \hat{A} \psi \rangle - \langle A \rangle \langle \psi | \hat{B} \psi \rangle + \langle A \rangle \langle B \rangle \langle \psi | \psi \rangle \\
&= \langle \hat{A}\hat{B} \rangle - \langle B \rangle \langle A \rangle - \langle A \rangle \langle B \rangle + \langle A \rangle \langle B \rangle \\
&= \langle \hat{A}\hat{B} \rangle - \langle A \rangle \langle B \rangle .
\end{aligned}$$

De modo análogo,

$$\langle g|f\rangle = \langle \hat{B}\hat{A} \rangle - \langle A \rangle \langle B \rangle,$$

assim,

$$\langle f|g\rangle - \langle g|f\rangle = \langle \hat{A}\hat{B} \rangle - \langle \hat{B}\hat{A} \rangle = \langle [\hat{A}, \hat{B}] \rangle,$$

em que

$$[\hat{A}, \hat{B}] \equiv \hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A}$$

é o comutador de dois operadores, de forma que combinando-o com a equação [7.13], podemos concluir que:

$$\sigma_A^2 \sigma_B^2 \geq \left(\frac{1}{2i} \langle [\hat{A}, \hat{B}] \rangle \right)^2. \quad [7.13]$$

E finalmente, este é o famoso Princípio da Incerteza de Heisenberg em sua versão generalizada. Acredito que ao lê-lo, esteja se perguntando da aparente inconsistência gerada pela presença i , em tornar o lado direito negativo, porém não há inconsistência alguma, e para romper com qualquer dúvida quanto a isso, basta lembrarmos que o comutador de dois operadores hermitianos leva seu próprio fator de i , condição que gera os seus cancelamentos.

Façamos o seguinte, vamos comprovar isso na prática, suponhamos que o primeiro observável seja a posição, ou seja, $\hat{A} = x$ e o segundo seja o momento, que seria então expresso por $\hat{B} = \left(\frac{\hbar}{i}\right) \frac{d}{dx}$. E seu comutado é $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$.

Desta forma

$$\sigma_x^2 \sigma_p^2 \geq \left(\frac{1}{2i}\hbar\right)^2 \Rightarrow \sigma_x \sigma_p \geq \left(\frac{\hbar}{2}\right)$$

É-nos conveniente lembrarmos do fato de que os desvios-padrão são medidores estatísticos cujas medidas expressam o grau de dispersão de um conjunto de dados. Ou seja, o desvio padrão indica o quanto um conjunto de dados é uniforme. Quanto mais próximo de zero for o desvio padrão, mais homogêneos são os dados, sendo assim, são positivos por natureza, fato que podemos perceber ao eliminarmos os expoentes da última inequação acima,

$$\sigma_x \sigma_p \geq \frac{\hbar}{2} \quad [7.14]$$

A equação 7.14 é o Princípio da Incerteza, o original, porém, após ser demonstrado matematicamente, compreendemos que esta versão é apenas uma aplicação restrita de uma proposição comprovada logicamente e de maior abrangência geral.

CAPÍTULO 8 – CONCLUSÃO

Ainda nos primeiros tópicos desse texto, propomos reflexões sobre o que seriam as condições sobre as quais um docente poderia desenvolver junto as suas turmas, aulas que poderiam alcançar os alunos de maneira que os conteúdos ficassem retidos numa estrutura mental mais profunda e não fosse apenas uma retenção com base em uma memória superficial. Defendemos, assim como vários teóricos que apresentamos no desenvolvimento deste, que este fim se torna mais viável quando as interações dos alunos com os conteúdos que precisam assimilar ocorrem de uma maneira tal que sejam partícipes do processo educativo, que a sala de aula seja um lugar de fala para este aluno, e não apenas na condição de ouvinte passivo, que seja ativo na construção dos saberes, de forma que do ponto onde se inicia qualquer assunto até o desfecho do mesmo, em uma sala de aula, seja para esse discente um processo de produção e construção.

A pedagogia do Dr. Ovide Decroly, cuja aplicação se principia a partir de assuntos elencados pelos próprios alunos, que são os centros de interesse, assuntos esses que convergirão, através da ação do professor, para os conteúdos programáticos. Essa pedagogia contempla todo o processo educativo e seus atores de maneira a induzir alunos à saída da passividade – tão presente nas salas de aulas – e entrada dos mesmos em um conjunto de ações dirigidas, com objetividade e muita produtividade no sentido de gerar e reter conhecimentos. Isto porque, esses novos saberes não foram despejados sobre o aluno pelo professor, mas foram desenvolvidos e consolidados por professor e aluno por meio de uma relação dialógica.

Mostramos neste texto que em Decroly, não existe educação com base em memória superficial. Na forma de pensar a educação, Decroly, propõe reflexões em todos os momentos do desenvolvimento dessa pedagogia (observar, associar e expressar). Assim, mais uma vez, vemos as ideias de um ensino ativo, da proposta decroliana, direcionando sempre para um mesmo ponto do processo ensino-aprendizagem, ao pensar em uma educação reflexiva como um meio mais eficaz de conduzir o aluno a obter uma estrutura cognitiva mais complexa, e em consequência disso ser capaz de se posicionar de forma crítica diante de outros contextos que o acomete. E isso, sem dúvida, é o “fruto” que se espera colher da ação docente e o fim que justifica toda estrutura educacional de uma nação.

Na nossa proposta de ensaio, objetivamos demonstrar essa ideia e alcançamos êxito quando propomos o ensino ativo nos moldes de Decroly. Usamos os centros de interesse para desenvolvermos um conceito específico da Física Quântica, o famoso Princípio da Incerteza do Físico alemão Werner Heisenberg.

Porém, procuramos abordar toda a Física Moderna que antecede o Princípio da Incerteza dando prioridade ao ensino ativo, assim quando chegamos à matéria em que aplicaríamos o nosso plano de ensaio, praticamente não usávamos mais o ensino tradicional. Isso foi interessante e assertivo para que os discentes desenvolvessem o hábito de buscarem para si os conhecimentos que precisavam desenvolver nas matérias que diante deles eram trazidas.

A nossa proposta de ensaio foi muito bem recebida pelos alunos, a partir do momento que entenderam que não se tratava de momentos vazios e sem propósitos, e sim de uma proposta que eles se enxergaram dentro de um contexto de ensino em que suas opiniões sobre o assunto eram valorizadas, o conhecimento que conseguiam adquirir, por mínimo que fosse, dentro do processo, era de imenso valor que compartilhassem. Quando perceberam que o crescimento pessoal que aqueles momentos estavam proporcionando a eles não se devia somente ao fato de agora estar aprendendo um pouco mais de Física, definitivamente não se tratava apenas disso, perceberam algo mais! Deram-se conta de que a insegurança de se expor, de falar em público, de ir ao quadro para resolver uma equação, ou de explicar o que entenderam de um texto que leram, são inseguranças que existem somente para serem superadas. E o mais interessante, é que até alunos que eram declaradamente “inimigos” de disciplinas do campo das exatas, mudaram muito os seus conceitos, gostaram, elogiaram e o principal: melhoraram seus resultados na avaliação, aliás, foram vários os elogios por parte da turma. Conclusivamente, foi uma construção muito gratificante! Claro que no início não foi tão simples devido às inseguranças. Exigiu gasto de energia, planejamento e replanejamento e mudança de mentalidade na forma dos alunos absorverem o conhecimento e na forma do professor propor o ensino.

Entretanto, ao chegarmos ao momento em que os alunos deveriam entender o princípio de Heisenberg, já havia maturidade, curiosidade e bastante participação por parte da turma que aplicamos os centros de interesse.

Ao chegar até aqui na leitura desse texto, acreditamos que o leitor esteja interessado em saber algo do qual ainda não fizemos nenhuma menção, mas o faremos nas próximas linhas, que é justamente trazer um pouco de perspectiva a respeito do público alvo do nosso ensaio, dar um pouco da noção de que turma foi essa com a qual desenvolvemos nossa pesquisa, assim poderemos descrever um pouco das condições de trabalho e da qualidade de ensino que o corpo docente busca oferecer, bem como do perfil social, econômico e educacional dos alunos que foram submetidos ao nosso ensaio, aspectos esses que não poderíamos deixar de abordar nesta conclusão.

Desenvolvemos este ensaio com uma turma de terceiro ano do Colégio Estadual Robinho Martins de Azevedo situada na Avenida Sol Nascente Qd 50 Lote 16 no setor

Jardim Nova Esperança em Goiânia – GO. Sob a Direção do professor Dolor Tavares. Vale ressaltar que se trata de uma escola de periferia e que a maioria dos alunos, (em uma estimativa otimista), em torno de 90% são alunos de classe econômica de baixo poder aquisitivo. É uma escola muito grande no aspecto quantitativo, uma confirmação disso é que no ano letivo de 2019 trabalhamos com mais de mil e trezentos alunos nos três turnos, sendo que no período vespertino as turmas foram do Ensino Fundamental 2 e ainda havia uma turma de primeiro ano do Ensino Médio nesse turno. Enquanto que nos turnos matutino e noturno as turmas foram todas de Ensino Médio. Nos anos letivos de 2016, 2017, 2018 e 2019, o colégio, formou uma média de 248 alunos por ano no Ensino Médio (concluintes do terceiro ano). Dados extraídos da secretaria do próprio colégio.

O Colégio Estadual Robinho Martins de Azevedo, se destaca na região pelo quadro de professores e coordenadores que realizam um trabalho com muita objetividade na preparação, para o ENEM, para o mercado de trabalho (obviamente dentro das limitações de escola pública) e propostas de incrementos educacionais, como encontros com palestrantes (palestrantes esses fora das vivências diárias da escola local), de áreas diversas como: profissionais da área de coaching, psicólogos, psicopedagogos, professores e/ou coordenadores de cursos universitários etc., a fim de oferecer motivação para os estudos, para o crescimento pessoal e um conhecimento extraclasse que ajude na tomada de decisão dos nossos discentes no momento de suas escolhas quanto a seu ingresso ao Ensino Superior e/ou entrada no mercado de trabalho.

Tais ações têm feito à diferença na comunidade e é daí que surge o reconhecimento das famílias e dos jovens da região noroeste de Goiânia que culmina, todos os anos, na busca por uma vaga em uma de nossas turmas, e nem sempre, todos os que buscam as consegue. E é devido a essa pró-atividade por qualidade de ensino proporcionada pelos docentes que a escola tem hoje mais de mil e trezentos alunos matriculados em todos os turnos.

Uma grande parte dos nossos alunos concluintes do terceiro ano do Ensino Médio chega ao fim dessa etapa, já inseridos no mercado de trabalho, em empregos, como: caixa de supermercado, atendentes das lanchonetes do tipo “fast food”,

repositores de supermercados, etc., muitos conseguem o ingresso em programas de inserção no mercado de trabalho, tais como o programa “Jovem Aprendiz”.

Temos também uma parcela de alunos, cujas famílias têm uma estrutura financeira um pouco melhor e que conseguem manter seus filhos até o término do Ensino Médio sem que estes precisem contribuir com a renda familiar. Porém, é importante salientarmos que essa condição nem sempre implica diretamente em uma melhor pontuação ou colocação no exame ENEM ou em vestibulares. Não são poucos os alunos que mesmo trabalhando em outros turnos, conseguem colocação superior em relação a outros que não trabalham.

Este relato é apenas uma descrição – sem maior profundidade – mas que oferece a compreensão do perfil do trabalho que a equipe de educadores desenvolve na escola e dos alunos nela matriculados e também da justificativa do número elevado de alunos que ingressam nesse colégio.

O relato que fazemos no capítulo seis (Verificação de Aprendizagem), esclarecemos que o mesmo conteúdo foi ministrado em outra turma, o 3º Ano B, porém seguimos nesta turma com as aulas tradicionais, ou seja, com o método expositivo. Aí surge a pergunta: como seriam essas aulas tradicionais? Resumiremos aqui, a maneira como aplicamos essas aulas, para efeito de comparação com a classe que desenvolvemos os centros de interesse.

Nas nossas aulas “tradicionais” procedemos assim: em um momento inicial introduzimos o assunto e fazemos uma contextualização afim de que os alunos tenham uma visão geral do que se trata e também de uma ou duas aplicabilidade no cotidiano. Essa primeira abordagem, é apenas uma introdução, e, portanto não nos aprofundamos muito, apenas deixamos a entender do que se trata para que o estudante não se sinta perdido e sem compreensão dos motivos que justifique estudar aquele assunto.

Na sequência, procuramos estabelecer um conceito físico que será o fundamento sobre o qual se desenvolverá a compreensão do princípio da Física que pretendemos ensinar. Então, no quadro passamos um resumo com esquemas ilustrativo previamente preparado (curto, porém eficiente no sentido de esclarecer o conceito que nos propomos ensinar). Em grande parte das matérias da Física, os conceitos e princípios, que

expressamos com frases, podem também serem expressos com uma frase matemática: uma equação, uma inequação, uma expressão algébrica, uma razão entre valores, etc. Então, após esse resumo, sempre que possível, o traduzimos com essa linguagem matemática, que normalmente chamamos de fórmula. Uma ação pedagógica que usamos em grande parte das nossas aulas é a proposta de uma leitura ou vídeo antes de introduzirmos o assunto, os resultados dessa ação são bem interessantes, pois ao iniciarmos o assunto em sala, àqueles que puderam realizar a leitura ou assistir o vídeo previamente indicados, conseguem desenvolverem-se na matéria com uma melhor compreensão em relação aqueles que não o fizeram.

Feito isso, realizamos uma aplicação em que envolva as seguintes etapas:

- ✓ Leitura de um texto (ou enunciado de uma questão);
- ✓ Interpretação do texto (ou enunciado);
- ✓ Coleta de dados;
- ✓ Aplicação dos dados em uma fórmula matemática;
- ✓ Conclusão da aplicação com uma resposta para o que se pediu no texto (ou enunciado).

Finalmente concluímos a aula, impondo uma pequena avaliação que seria a resolução de um exercício ou uma lista de exercícios que será verificada e registrada, a fim de compor uma nota ao final de cada bimestre. Lembrando que existe, pré-estabelecido nos Parâmetros Curriculares Nacionais da Educação Brasileira, que no ensino básico, parte das avaliações seja de forma contínua, esse é o momento em que procuramos cumprir com essa exigência, de forma que a aula subsequente se iniciará com a verificação de quem fez essa avaliação. Em seguida corrigimos no quadro os exercícios que foram propostos.

Note que, nessa forma de propor o conhecimento, o professor é que faz praticamente tudo durante o processo educativo: é o professor quem pesquisa, é o professor que faz o resumo (o aluno apenas o copia), é o professor quem chega às conclusões, e o aluno é um receptor cuja função é anotar o máximo que for possível durante a explicação do professor, para depois tentar reproduzir em casa. Enquanto que nos centros de interesses, todas as etapas do processo educativo os alunos, participam,

constroem o aprendizado sob a orientação do professor, chegam às conclusões através de pesquisas, e no momento das aplicações (exercícios propostos) o fazem de forma muita mais natural, pois é apenas uma forma de expressar o conhecimento que obtiveram durante o processo.

Tanto o 3º Ano A como o 3º Ano B, fizeram a mesma avaliação sobre o tema Princípio da Incerteza e a prova que consta de cinco questões e está disponibilizada no anexo 2 deste texto que realizaram no mesmo dia e tiveram o mesmo tempo (uma aula de 50 min) para realização.

Com base nas literaturas usadas para desenvolvimento deste texto, nos depoimentos de educadores que estudaram o método, nas experiências que vivenciamos e principalmente nos resultados que obtivemos – relacionados nos capítulos que descrevem nosso ensaio – resultados mensuráveis e aqueles que compõem valores intangíveis e não mensuráveis, como aquisição de responsabilidade, prazer no desenvolvimento pessoal, compreensão de conteúdos que antes não havia, se quer, interesse em aprender, temos fundamentos para acreditar que o sistema Decroly, originalmente desenvolvido para a educação infantil, pode ser aplicado com sucesso nas aulas de Física do Ensino Médio, pois nos pautamos em várias experiências que já foram elucidadas. Recordamos uma delas para exemplificar: o feliz comentário do professor Abner de Moura sobre a experiência realizada (uso do sistema Decroly), sob sua direção, no Ensino Fundamental, no Grupo Escolar de Angatuba, na cidade de Angatuba, no estado de São Paulo:

Ultimado o estudo do centro, [os alunos] sentiam-se ufanos da obra. Com vaidade incontida examinavam os cartazes-mostruários, repondo-lhes as peças ressequidas que iam caindo. Jamais o trabalho os enfadou, elevou-se o padrão moral dos alunos, influenciando o ensino até nos mais peraltas, agora dispostos a colaborar e privar de perto com os professores. Assumiram compromisso de entrar e sair em liberdade, dispensando vigilância, como gente grande. A frequência melhorou sensivelmente. Não foi febre momentânea: os resultados duram até hoje, após oito meses de contraprova. E são ótimos os resultados (MOURA, 1931, p. 38).

Ao final de uma das etapas do nosso ensaio, em que os alunos aprenderam sobre a experiência mental conhecida como “O Gato de Schrödinger”⁹, proposta por Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger¹⁰, um aluno, que até então vinha se arrastando na Física, e com problemas de notas baixas, dirigiu-se a nós dizendo: “professor, estou entendendo tudo que estamos estudando depois que o senhor mudou o estilo da sua aula para esse em que agente participa mais, e finalizou, em tom de exclamação e entusiasmo: agora eu consigo aprender professor!”

Outro aluno, que já havia se decidido por pleitear uma vaga na universidade no curso de Engenharia Mecânica, perguntou: “professor, em Engenharia Mecânica a gente estuda Física Quântica também?” Esse aluno, em particular, está vivendo um dilema muito sério, pois, após o seu contato conosco, usando o Ensino Ativo através do método Decroly para desenvolver os conteúdos de Física, está vivendo um momento de incerteza grande, porque pensava estar convicto de que queria ingressar no curso de Engenharia Mecânica, mas agora está inclinado a mudar de direção a sua vida profissional futura para profissões relacionadas à física pura.

Devido a declarações como essas, e tantas outras, cremos que a aprendizagem é mais completa e duradoura quando resulta da participação ativa do aluno, e não do seu silêncio e de sua imobilidade. Como disse a educadora russa Helena Antipoff (1892-1974): “Ainda mais triste que ver meninos sem escolas, é vê-los imóveis em carteiras enfileiradas, em escolas sem ar, perdendo tempo em exercícios estéreis e sem valor para a formação do homem” (ANTIPOFF *apud* FÁVERO; BRITTO, 2002, p. 454).

Esperamos que nosso ensaio venha estimular os professores de física a usar, ao menos de vez em quando, os Centros de Interesse em suas aulas.

⁹ Um dos paradoxos mais famosos da física quântica é o do Gato de Schrödinger, desenvolvido pelo físico austríaco Erwin Schrödinger em 1935 e usado até hoje para ilustrar o conceito de superposição, que seria a capacidade de dois estados opostos existirem ao mesmo tempo.

¹⁰ Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887 - 1961). Foi um dos criadores da interpretação probabilística da Mecânica Quântica, que, por seu trabalho de 1926, no qual propôs a equação que ganhou seu nome para a descrição da dinâmica das partículas quânticas, foi agraciado, juntamente com o físico inglês Paul Dirac, com o Prêmio Nobel de Física de 1933. Propôs o experimento mental conhecido como *o Gato de Schrödinger*.

REFERÊNCIAS

AMATO, Laura de Castro. **Centros de interés renovados: ¿qué son? ¿cómo se planifican?** Buenos Aires: Kapelusz, 1971. 125 p.

ANASTASIOU, Léa das Graças Camargos. Ensinar, aprender, apreender e processos de ensinagem. In: _____.; ALVES, L. P. (orgs.). **Processos de ensinagem na universidade: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula**. 8. ed. Joinville: Univille, 2009. 155 p.

ANDREATA, Mauro Antonio; BARROS, Fernanda. Centros de interesse nas aulas de física do ensino superior. In: FALEIRO, Wender; ASSIS, Maria Paulina de (orgs.). **Ciências da natureza e formação de professores: entre desafios e perspectivas** apresentados no CECIFOP 2017. Jundiaí/SP: Paco, 2017. 384 p. Disponível em: <http://docs.wixstatic.com/ugd/898a9f_b09cebdda4614e148a31318d9792fcac.pdf>. Acesso em: 13 set. 2019.

ARENDT, Ronald João Jacques. **A concepção Piagetiana da relação sujeito-objeto e suas implicações para a análise da interação social**. UERJ, 1993. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-389X1993000300015. acesso em: 01 dez. 2019

AVERDADELIBERADA. Canal. **Mecânica Quântica O experimento da fenda dupla!**, 2014. Disponível em < <https://www.youtube.com/watch?v=GXAYW4a3OZY>>. Acesso em: 21 set. 2019.

BAKER, Joanne. **50 Ideias de Física Quântica Que Você Precisa Conhecer**. Tradução de Rafael Garcia. São Paulo: Planeta, 2015. 216 p.

CHANEL, Émile. **Grandes temas da Pedagogia**. Tradução de Maria José Gonçalves de Almeida. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977. 328 p.

DECROLY, Ovide; BOON, Gerardo. **Iniciación general al método Decroly**: y ensayo de aplicación a la escuela primaria. Tradução em espanhol de María Luisa Navarro de Luzuriaga. 3. ed. Buenos Aires: Losada, 1946. 160 p. [Título original (em francês): *Initiation générale aux idées decrolyennes et essai d'application dans l'enseignement primaire*, 1937.]

DUBREUCQ, Francine. **Jean-Ovide Decroly**. Tradução de Carlos Alberto Vieira Coelho, Jason Ferreira Mafra, Lutgardes Costa Freire e Denise Henrique Mafra. Recife: Massangana, 2010. 154 p.

ELIAS, Marisa del Cioppo. **De Emílio a Emília**: a trajetória da alfabetização. São Paulo: Scipione, 2007. 203 p.

FÁVERO, Maria de Lourdes de Albuquerque; BRITTO, Jader de Medeiros (orgs.). **Dicionário de educadores no Brasil**: da colônia aos dias atuais. 2. ed. aumentada. Rio de Janeiro: UFRJ / MEC-Inep-Comped, 2002. 1007 p.

FEIL, Iselda Terezinha Sausen. **Alfabetização**: Um desafio novo para um novo tempo. 11. ed. Petrópolis: Vozes, 1989a. 167 p.

FEIL, Iselda Terezinha Sausen. **Nosso mundo interessante**: O centro de interesse no currículo por atividades. 3. ed. Ijuí: Unijuí, 1989b. 141 p.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 35. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2007. 146 p. [A primeira edição é de 1996.]

_____. **Pedagogia do oprimido**. São Paulo: Paz e Terra, 2010. 213 p. [A primeira edição, publicada em inglês, é de 1970.]

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física: Eletromagnetismo e Física Moderna**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2013. 320 p. v. 3.

GRIBBIN, John. **A Procura do Gato de Schrodinger**. Tradução de Mário Berberan Santos. Lisboa: Editora Presença, 1988. 198 p.

GRIFFITHS, David J. **Mecânica Quântica**. E. ed. São Paulo: Pearson, 2011. 351 p.

GUILLÉN DE REZZANO, Clotilde. **Los centros de interés em la escuela**. 5. ed. Buenos Aires: Losada, 1954. 177 p.

HAYDT, Regina Célia Cazaux. **Curso de Didática Geral**. 2. ed. Editora Ática, 2003. 214 p.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física Ótica e Física Moderna**. 4 ed. Rio de Janeiro. Ed. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996. 355p.

LOURENÇO FILHO, Manuel Bergstrom. **Introdução ao estudo da Escola Nova: bases, sistemas e diretrizes da pedagogia contemporânea**. 11. ed. São Paulo: Melhoramentos, [Rio de Janeiro]: Fundação Nacional de Material Escolar, 1978. 391p.

LUZURIAGA, Lorenzo. **La Educación Nueva**. 4. ed. Buenos Aires: Losada, 1952. 162 p.

MARTINI, Glorinha; *et al.* **Conexões com a Física**. 3 ed. São Paulo: Moderna, 2016. 280 p. v. 3.

Ministério da Educação. Portal do Mec: site do ENEM. Disponível em: <portal.mec.gov.br> acesso em: 24 nov. 2019.

MORAN, José. **Desafios na Comunicação Pessoal**. 3ª Ed. São Paulo: Paulinas, 2007, p. 162-166.

MOREIRA, Marco Antonio. Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n. 1, p.94-99, mar. 2000.

MOREIRA, Marco Antonio. Unidades de enseñanza potencialmentesignificativas – UEPS. **Aprendizagem significativa em revista**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

MOURA, Abner de. **Os centros de interesse na escola**: sugestões para lições globalizadas, segundo o sistema Decroly, como contribuição a uma escola brasileira renovada. São Paulo: Melhoramentos, [1931]. 96 p.

NICOLAU, Marieta Lúcia Machado. **A educação pré-escolar. Fundamentos e Didática**. 9. ed. São Paulo: Ática, 1997. 320 p.

NOVAES, Marcelo. NELSON, Studart. **Mecânica Quântica Básica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016. 157 p.

NÓVOA, Antônio. **Para uma formação de professores construída dentro da profissão**. Universidade de Lisboa. Lisboa. Portugal, (2009). Disponível em: <www.Revistaeducacion.mec.es/re350/re350_09por.pdf. > acessado em: 20 nov. 2018

OLAIZOLA, Sabas. **La pedagogía decroliana**: informe elevado al ministerio de instrucción pública. Montevideú: Arduino Hnos, 1928. 144 p.

Pais A. Sutil é o Senhor... **A Ciência e a Vida de Albert Einstein**. Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1995. 637 p.

PAIVA, Alfonso Gómez. GOMES, Ana Carolina Ribeiro. OLIVEIRA, Luiz Fernando C. de. **Visão de Professores e Licenciandos em Química Sobre ‘Ser Bom Professor**. Associação Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências Atas Do V Enpec - Nº 5. 2005 - Issn 1809-5100. Disponível em: <http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/venpec/conteudo/artigos/1/pdf/p733.pdf> Acesso em: 15 fev. 2019.

PCN+, Ensino Médio. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. MEC, 2002. 144 p. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>> Acesso em: 04 nov. 2019

PLANCHARD, Émile. **A Pedagogia contemporânea**. 8 ed. atualizada. Coimbra: Coimbra, 1982. 700 p.

PIAGET, Jean. (1972) **Intellectual evolution from adolescence to adulthood**. **Human Development**, 15, p.1-12. Disponível em: <<https://www.karger.com/Article/Abstract/271225>>. acessado em 23 nov. 2019

PREUSSLER, Roberto. **Análise Dos Processos De Assimilação, Acomodação E Equilíbrio Na Aprendizagem Da Matemática: Uma Experiência Envolvendo Geometria**. UPF, IV Jornada Nacional de Educação Matemática/XVII Jornada Regional de Educação Matemática 2012. P. 1-15. Disponível em: <<http://anaisjem.upf.br/download/de-214-preussler.pdf>>. Acessado em 09 set. 2019.

SARTO, Luis Sánchez. **Diccionario de Pedagogía**. t. 1. Barcelona: Labor, [1936]. 1634 p.

SILVA, Marilene Araújo e. **Mídias na educação: uma proposta transformadora na utilização da tv e do vídeo na prática docente pedagógica**. Amapá: Universidade Federal, (2016). Disponível em:

<<https://www2.unifap.br/midias/files/2016/04/M%3%addias-na-Educa%3%a7%3%a3o-Maralene-Araujo.pdf>> acesso em: 04 out. 2019.

THORNDIKE, Edward; GATES, Arthur. **Princípios elementares de Educação**. Tradução de Haydée Bueno de Camargo. São Paulo: Saraiva, 1936. 396 p.

TORRES, et al. **Física Ciência e Tecnologia**. 3 ed. São Paulo: Moderna, 2013. 320 p. v. 3.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Tradução de Ernani Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998. 224 p.

ZABALA, Antoni. **Enfoque globalizador e pensamento complexo: uma proposta para o currículo escolar**. Tradução de Ernani Rosa. Porto Alegre: Artmed, 2002. 248 p.

APÊNDICE 1

Produto Educacional

SEQUÊNCIA DIDÁTICA: APRENDIZAGEM ATIVA DE FÍSICA QUÂNTICA

INTRODUÇÃO

Endereçamos esta produção acadêmica aos professores de Física do Ensino Médio que buscam o desenvolvimento, aprimoramento das metodologias de ensino, a fim de tornar os conteúdos da Física Quântica mais apreciáveis pelos alunos e desta forma contribuir para que a Física Quântica seja cada vez mais envolvida no cotidiano das pessoas, diminuindo assim o senso de estranheza proveniente da “desconexão” dos fenômenos quânticos com as experimentações do mundo macro.

Consiste no produto educacional apresentado juntamente com a Dissertação de Mestrado com o título “Aprendizagem Ativa de Física Quântica no Ensino Médio” desenvolvido pelo Acadêmico Carlos Henrique Moreira Sales por ocasião da conclusão do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), na Universidade Federal de Goiás (UFG) - Regional Catalão, com orientação do Professor Dr. Mauro Antonio Andreatta.

As atividades foram desenvolvidas no formato de Sequência Didática objetivando facilitar a interação entre professor e alunos, com uma série de atividades pré-estabelecidas, no final das quais, pretende-se que o aluno tenha desenvolvido competência, e afinidades nesse ramo da Física, ainda pouco elucidado em sala de aula, a saber, a Física Quântica.

Dar ênfase ao conteúdo de Física Moderna na disciplina de Física significa dar ao aluno conhecimento e perspectiva de um campo científico extremamente presente na sua realidade cotidiana, ampliando seu interesse no desenvolvimento e aplicações de tecnologias que surgem e que se renovam com velocidade altíssima, e tudo isso sobre uma plataforma de compreensão proveniente dos avanços que esse ramo da ciência pôde trazer para a humanidade. Além disso, contribuir para o despertar de uma natural curiosidade em compreender a realidade na qual esse aluno está inserido, mais que isso, adquirir condições intelectuais de questionar essa realidade e interferir sobre ela.

A Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas impulsionado. (PCN+, MEC, 2002, p. 56)

Contribuições essas, sem as quais vários outros campos, de pesquisa estariam distantes de maximizar seus potenciais de aplicabilidade. Sem a Mecânica Quântica a Química ainda estaria na Idade Média e a Biologia Molecular – Conhecimento do DNA, engenharia genética, e todo o resto – não existiria. (GRIBBIN, 1988, P.12)

Propomos o desenvolvimento de aulas com essa sequência didática visando entender um importante resultado da física quântica: o Princípio da Incerteza enunciado em 1927 pelo físico alemão Werner Heisenberg¹¹ (1901-1976). Para conduzir os discentes a um melhor entendimento desse importante princípio da Física Moderna, faremos uso de uma metodologia de ensino desenvolvida pelo pedagogo, pesquisador e neuropsiquiatra, Ovide Decroly¹² (1871-1932), com vista no ensino ativo, no qual o aluno é o centro do processo educativo, estruturando condições para que os discentes

¹¹ Werner Heisenberg (1901- 1976), físico alemão, estabeleceu a teoria da chamada Mecânica Quântica de Heisenberg. Foi diretor do Instituto de Física Max Planck, em Berlim.

¹² Ovide Decroly (a forma portuguesa é Ovídio Decroly), um dos precursores da Escola Nova, nasceu na cidade de Renaix, na Bélgica, em 23 de julho 1871, e veio a falecer na cidade de Bruxelas, de estafa, em 12 de setembro de 1932. Decroly cursou medicina na Universidade de Gand, na Bélgica, e aprofundou seus conhecimentos no estudo do sistema nervoso (neuropsiquiatria) e de doenças mentais. (CHANEL, 1977, pp. 265-266).

tenham uma educação motivada e fruto de ações extraídas de seus próprios centros de interesse.

OBJETIVOS

Objetivos Gerais

- Desenvolver condições para que o aluno adquira conhecimento do Princípio da Incerteza;
- Compreender a importância da Física Quântica e das tecnologias que se desenvolveram a partir dela;
- Mostrar aos discentes que eles podem ter clareza de qualquer conteúdo da Física que queiram, se partirem para uma autoeducação, ou seja, se assumirem como sujeito que produzem seus próprios saberes, e que a aquisição de conhecimento é muito mais do que sentar para ouvir, mas criar as possibilidades para a sua construção.

Objetivos Específicos

Deseja-se que o aluno seja capaz de:

- Adquirir suporte teórico para se articular nos conceitos elementares da Física Quântica;
- Desenvolver habilidades e competências que o permita interpretar textos de Física Quântica;
- Adquirir a habilidade matemática específica que é necessária para operar sobre questões que envolva algoritmos dentro da Física Quântica;
- Conhecer e assimilar quais foram às circunstâncias do nascedouro da Física Quântica, todo o contexto histórico e os principais personagens que contribuíram com suas pesquisas para construir essa tão importante ciência.

PÚBLICO ALVO

Esta sequência didática foi planejada para ser ministrada para os alunos da terceira série do Ensino Médio, porém pode ser aplicada também para as turmas da segunda série se o professor se planejar para isso. O pré-requisito mais importante para os conteúdos desta proposta é a ondulatória. Portanto, se os alunos já estudaram esse ramo da Física, então a turma está apta para a aplicação dessa sequência didática.

RECOMENDAÇÕES INICIAIS AOS ALUNOS

Antes de iniciar as aulas dessa sequência, o professor deverá repassar algumas orientações aos alunos:

- Como se trata de uma mudança de comportamento pedagógico, os alunos poderão agir com alguma estranheza, já que não estão acostumados com o Ensino Ativo, onde neste as aulas serão desenvolvidas com muita participação de todos eles, portanto os alunos deverão ser avisados desse fato;
- Os alunos deverão ser avisados que serão requisitados a respeito de alguns conteúdos de ondulatória, dando aos que quiserem oportunidade de revisar tais conteúdos.

RECOMENDAÇÕES AO PROFESSOR

É de fundamental importância que o professor desenvolva com os alunos os conteúdos de Física Quântica que antecedem o Princípio da Incerteza, e ao fazê-lo, desenvolver de maneira a impor o ensino ativo, pois dessa forma haverá um deslocamento de todos os envolvidos de uma zona de comodidade que o ensino acroamático impõe na atitude dos discentes. É possível que haja alguma insegurança no início (insegurança devido à falta de costume dos educandos com o ensino ativo), mas logo após esse momento de “instabilidade”, as aulas tendem a ficarem extremamente produtivas, agradáveis e de muito fácil manejo.

Antes dos alunos aprenderem sobre o Princípio da Incerteza, propriamente dito, recomendamos que sejam ministrados os conteúdos relacionados abaixo:

- História da Física Moderna;
- Teoria dos quantas;
- Radiação proveniente dos corpos aquecidos;
- O quantum de energia – descoberta de Planck;
- O efeito fotoelétrico;
- A equação de Einstein para o efeito fotoelétrico;
- A dualidade onda-partícula;
- Comprimento de onda de de Broglie.

NÚMERO DE AULAS

São propostos oito encontros, cada um deles com duração de uma hora/aula. O quadro abaixo descreve resumidamente as atividades, qualificação dos momentos bem como o tempo destinado à realização das mesmas. E ainda a fase do processo do ensino ativo, baseado no método dos Centros de Interesses cujas fases são observação, associação, expressão de Ovide Decroly (1871-1932).

Tabela: Quadro Resumido das Aulas

Atividades	Momentos	Tempo
<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>1- Professor solicitará aos alunos a descobrirem qual o formato de uma estatueta dentro de uma caixa de papel feita de material extremamente sensível ao toque. A caixa terá uma abertura, tampada apenas com tecido, porém por toque não conseguirão descobrir o formato da pequena estátua.</p>	<p>No laboratório de Ciências ou em sala de aula, Os alunos devem conversar entre si para decidirem como fazer. A estatueta pode ser feita de bloquinhos posicionados um em cima do outro, sem firmeza alguma.</p>	<p style="text-align: center;">Uma aula</p>

<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>2- Repetir o mesmo experimento da aula anterior. O esperado é que agora utilizem uma solução física plausível. O professor deve ouvir as possíveis soluções que os alunos vierem a sugerir e aplica-las</p>	<p>No laboratório de Ciências ou em sala de aula, jogar luz na caixa, já que a caixa é de papel e tentar ver a silhueta do objeto projetada na parede oposta da caixa é uma solução bem viável.</p>	<p>Uma aula</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>3- Propor uma analogia, na forma de experimento mental: mostrar quais as consequências da interação de um fóton com um elétron. Mostrar a simulação ou o vídeo da tentativa de “observar” um elétron e explicar significado de “colapso da função de onda”.</p>	<p>Na sala de vídeo, o professor deverá conduzir para que os alunos se lembrem das aulas do efeito fotoelétrico. O vídeo em questão é do personagem chamado “O Senhor Quântico” cujo título é “Mecânica Quântica o Experimento da Fenda Dupla!” Disponível em : <https://www.youtube.com/watch?v=GXA YW4a3OZY></p>	<p>Uma aula</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>4- Nesta aula os alunos conhecerão a expressão matemática do Princípio da Incerteza de Heisenberg. Mostrar que Heisenberg provou que a incerteza da posição e a incerteza do momento são inversamente proporcionais quando medidos de simultaneamente em partículas atômicas e subatômicas.</p> <p style="text-align: center;">$\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$ (descrição matemática do Princípio da Incerteza)</p>	<p>Conduzir os discentes pelo mesmo arranjo experimental imaginário que Heisenberg usou para explicar o Princípio da Incerteza. O Professor poderá incrementar o experimento com outras ideias ou ações que queira para ilustrar o Princípio da Incerteza.</p>	<p>Uma aula</p>

<p style="text-align: center;">Fase: Observação</p> <p>5- Aplicação do programa <i>Modellus</i> (software de simulação) de uma formiguinha em movimento com massa e velocidade definidas e com os dados apresentados solicitar que os alunos apliquem o Princípio da Incerteza.</p>	<p>O professor deve mediar para que os alunos resolvam a questão, e auxilie aqueles que não conseguirem aplicar o Princípio da Incerteza na primeira tentativa.</p>	<p>Uma aula</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Associação</p> <p>6- Os discentes serão conduzidos a explicar e utilizar a forma matemática do Princípio da Incerteza para responder questões envolvendo algoritmos.</p>	<p>Ao resolverem o problema proposto, chegarão a um resultado com valores da ordem de 10^{-34}. Então, deverão ser questionados sobre o que significava tal resultado. O objetivo aqui é estabelecer associação entre o valor obtido e o objeto estudado.</p>	<p>Uma aula</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Expressão</p> <p>7- Para expressar o conhecimento adquirido nas etapas anteriores, os alunos serão requisitados a responder algumas pergunta de natureza dissertativa.</p>	<p>Na sala de aula, o professor direcionará quatro perguntas a turma a fim de fortalecer as diferenças entre as abordagens de objetos quânticos e objetos macroscópicos.</p>	<p>Uma aulas</p>
<p style="text-align: center;">Fase: Expressão</p> <p>8- Os procedimentos de verificação da aprendizagem poderão ser formais ou informais. Todavia, para evitar dúvidas a respeito da eficácia do ensino ativo, sugerimos ao professor a realização da verificação da aprendizagem através de prova escrita tradicional.</p>	<p>O professor deverá aplicar a mesma prova em duas turmas. Em seguida estabelecer a distinção dos resultados em percentuais do número de acertos da turma em que foi usado o método Decroly comparando com o número de acerto da turma em que foi usado o tradicional método expositivo.</p>	<p>Uma aulas</p>

Fonte: O próprio autor.

DESCRIÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

As atividades deverão seguir as sequências abaixo destacadas, podendo, no entanto ser modificadas a critério do professor afim de que adeque à realidade de sua escola.

PRIMEIRA AULA

OBJETIVO

Compreender que a abordagem a certos sistemas físicos interferem nos resultados.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Caixa de papel vegetal, provida com uma abertura em uma de seus lados; Blocos de montar do tipo lego (sem encaixar)

DINÂMICA DA AULA

Direcionar os alunos para que descubram qual o formato de uma estatueta dentro de uma caixa de papel. A mesma deve ser feita de material extremamente sensível ao toque. O objetivo é que descubram que pelo toque não é possível saber a forma da pequena estátua. A caixa terá uma abertura, tampada apenas com tecido preto, ficando bem sugestivo aos alunos por a mão por essa abertura.

O Professor passa a tarefa de descobrirem a forma dentro da caixa. Os alunos devem conversar entre si para decidirem como fazer. Como a maneira mais simples é colocando a mão dentro da caixa e quando o fizerem a estatueta se desfará com o menor toque. A estatueta poderá ser feita de bloquinhos posicionados um em cima do outro, sem firmeza alguma. A forma pode ser de uma letra, um quadrupede, uma cruz, ou qualquer outra que o professor queira. Os alunos são solicitados para que pensem em

uma nova estratégia para alcançar o objetivo de descobrir o formato da estatueta, agora sabendo que com o toque isso não poderá acontecer, isso será para o próximo encontro.

Após essa primeira tentativa o professor mediará com as seguintes perguntas:

- Faz algum sentido vocês continuarem a tentar descobrir qual o formato da estatueta usando o tato?
- Se não faz sentido, o que vocês devem fazer para continuar a tarefa de descobrir a forma dentro da caixa?
- A forma de abordar o experimento pode interferir na experiência?

SEGUNDA AULA

OBJETIVO

Descobrir o formato de um objeto dentro de uma caixa, sem olhar, sem tocar e relacionar as opções plausíveis para isso.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Caixa de papel vegetal, provida com uma abertura em uma de seus lados, blocos de montar do tipo lego, lanternas.

DINÂMICA DA AULA

Os estudantes serão conduzidos ao laboratório de ciências, e lá estará preparado o mesmo experimento da aula anterior. O esperado é que agora utilizem uma solução física plausível, tal como: incidência de luz e explorar a possibilidade de translucidez da caixa, emissão de raios x para impressionar uma chapa, etc.

O professor deve ouvir as possíveis soluções que sugerirem, deixar que os alunos comentem se são soluções plausíveis ou não, mas o professor deverá conduzi-los para que apliquem a solução que for viável dentro das condições e recursos que dispõe.

Em algum momento perceberão que emitir luz na caixa por uma pequena abertura e ver a sombra do objeto projetada em uma das paredes da caixa, (com se fosse um anteparo) é a solução ideal. O professor deverá direcioná-los para que apliquem essa solução.

Antes, de começar as tentativas para descobrir o formato do objeto dentro da caixa, pedir para que elenquem a relação de procedimentos que conseguiram pensar como opção para a descoberta que intentam, e ainda, que considerem, como forma de exercício mental, que têm a disposição, todos os recursos que precisam, como se estivessem em um laboratório munido com todos os equipamentos imagináveis.

Jogar luz na caixa, já que a caixa é de papel e tentar ver a silhueta do objeto projetada na parede oposta da caixa é uma solução bem viável.

Deixar sobre a mesa, algumas lanternas.

TERCEIRA AULA

OBJETIVO

Compreender que observar objetos quânticos não é o mesmo que observar objetos macroscópicos e mostrar que o ato de “observar” um elétron “colapsa a função de onda”.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Sala de vídeo.

DINÂMICA DA AULA

Propor uma analogia, na forma de experimento mental, que consiste no seguinte: usar uma caixa semelhante a anterior e imaginar que agora a estatueta dentro da caixa seja feita de elétrons. A proposta, novamente é: Como fariam para descobrir o formato da estatueta dentro da caixa? (Essa analogia é o “gancho” para explicar a impossibilidade de se usar as mesmas possíveis soluções de antes (aquelas que

envolvem emissão de luz, raios x, etc), para resolução do atual problema, e mostrar quais as consequências da interação de um fóton com um elétron).

Mostrar a simulação ou o vídeo da tentativa de “observar” um elétron e mostrar como o ato de “observar” interfere no experimento e dar significado para a frase “colapsou a função de onda”.

Na sala de vídeo, conduzir para que os alunos se lembrem das aulas do efeito fotoelétrico, nas quais viram que, quando um elétron absorve um fóton, surge um fotoelétron proveniente dessa absorção. Dar espaço para que falem sobre esse fenômeno físico, fazendo perguntas que os levem a respostas e comentários do tipo: o elétron fica excitado por causa da energia do fóton, sendo que o elétron, antes estava na superfície de um metal, agora salta deste, com uma energia cinética definida e calculável. E que por esse motivo, a interação de um elétron com um fóton resulta no mínimo em deslocamento alheatório do – agora – fotoelétron.

O vídeo em questão é do personagem chamado “O Senhor Quântico” cujo título é “Mecânica Quântica o Experimento da Fenda Dupla!” Disponível em : <<https://www.youtube.com/watch?v=GXAYW4a3OZY>>

QUARTA AULA

OBJETIVO

Conhecer o Princípio da Incerteza, o contexto histórico no qual ele surgiu bem como a construção de raciocínio do autor até chegar nesse princípio.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Laboratório de física ou sala de aula.

DINÂMICA DA AULA

Nesta aula os alunos conhecerão a expressão matemática do Princípio da Incerteza de Werner Heisenberg, bem como o contexto histórico em que esse princípio surgiu, a construção do raciocínio do autor até chegar nesse princípio e a aplicação matemática do mesmo.

Mostrar que Heisenberg enunciou o Princípio da Incerteza assim: “Quanto maior a precisão na determinação da posição do elétron, menor é a precisão na determinação de sua velocidade ou de sua quantidade de movimento e vice-versa”, quando medido simultaneamente.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$$

(descrição matemática do Princípio da Incerteza)¹³

Onde x é a posição dada em metros (no S.I.) e Δx a incerteza na posição da partícula ao longo do eixo x , enquanto que Q é a quantidade de movimento e que ΔQ é, portanto a incerteza na quantidade de movimento da partícula ao longo do eixo x , sendo Q calculado com a equação $\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$, sendo a unidade de medida kg.m/s (no S.I.). O professor deverá conduzir os discentes pelo mesmo arranjo experimental imaginário que Heisenberg usou para explicar o Princípio da Incerteza, o arranjo consiste no seguinte: “para evidenciar o fato, descrito no enunciado, Heisenberg utilizou a seguinte experiência mental: com um poderosíssimo microscópio ótico, analisou o movimento de um elétron, iluminando com um raio de luz. Como o raio de luz é constituído de fótons, houve a colisão entre um fóton e o elétron, o qual recebeu certa quantidade de movimento. Nessas condições, alteram-se a velocidade e a posição do elétron”.

O Professor poderá incrementar o experimento com outras ideias ou ações que queira para ilustrar o Princípio da Incerteza.

¹³ Usa-se às vezes o símbolo \approx em lugar de \geq , a fim de levar em conta que, na prática, nunca se pode atingir o limite quântico. Também em algumas formulações do princípio, se utiliza $h/2\pi$ em lugar de $h/4\pi$. Estas pequenas diferenças não consideramos dignas de maiores preocupações aqui nesta exposição. (HALLIDAY, RESNICK, WALKER. 1996, P.185)

QUINTA AULA

OBJETIVO

Aplicar o Princípio da Incerteza, e determinem a incerteza da posição de um objeto que não tem dimensões subatômicas, e compreender se o princípio físico estudado se aplica nesse caso.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Laboratório de física ou Sala de vídeo.

DINÂMICA DA AULA

Nessa aula, ainda na fase da observação, os alunos virão uma simulação através do programa *Modellus* (software de simulação) de uma formiguinha de massa $m = 10^{-3}$ kg que corre certa distância em linha reta com velocidade de 1m/s com imprecisão de 10%. Com os dados apresentados solicitar que os alunos apliquem o Princípio da Incerteza, e determinem a incerteza da posição.

O professor deve mediar para que os alunos resolvam a questão, e auxilie aqueles que não conseguirem aplicar o Princípio da Incerteza na primeira tentativa, podendo também colocar alunos mais experientes juntos daqueles com menos desenvoltura.

SEXTA AULA

OBJETIVO

O objetivo aqui é estabelecer associação entre o valor obtido ao aplicar o Princípio da Incerteza e o objeto estudado, e mostrar que a incerteza na posição de bola de futebol é infinitesimal, isto é, a bola pode ser localizada com grande facilidade e precisão.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Sala de aula.

DINÂMICA DA AULA

Os discentes serão conduzidos a explicar, por escrito, a causa da incerteza, ou da imprecisão entre as grandezas físicas posição e momento de um elétron e utilizar a forma matemática do Princípio da Incerteza para responder questões envolvendo algoritmos, sugerimos essa:

“Uma bola de futebol tem massa de 0,45 kg e move-se com velocidade de 30 m/s. Supondo que a quantidade de movimento seja determinada com uma incerteza de 2,0%, de acordo com o Princípio da Incerteza. Qual é a incerteza ao medir a posição dessa bola”.

É possível que não saibam responder instantaneamente, porém, com um pouco de reflexão e conversa entre eles e com a mediação do professor, entenderão que se trata de um valor extremamente pequeno.

O objetivo aqui é estabelecer associação entre o valor obtido e o objeto estudado, não será difícil entenderem que esse resultado mostra que a incerteza na posição da bola é infinitesimal, isto é, a bola pode ser localizada com grande facilidade e precisão. Como o valor da constante de Planck ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s) é muito pequeno para corpos macroscópicos as incertezas também são muito pequenas como mostra o resultado

SÉTIMA AULA

OBJETIVO

Fomentar a compreensão física da lei quântica estudada;

Desenvolver a capacidade de interpretação de problemas de natureza quântica e aplicação da equação do princípio de Heisenberg.

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Sala de aula

DINÂMICA DA AULA

Para expressar o conhecimento adquirido nas etapas anteriores, os alunos serão requisitados a responder algumas perguntas. Segue as perguntas:

- O Princípio da Incerteza é válido para a formiguinha?
- Por quê?
- Tendo como base a experiência da estatueta dentro da caixa (extremamente sensível ao toque), como você faria para medir o diâmetro de uma bola de sorvete?
 - Um elétron move-se na direção do eixo x com velocidade de $3,0 \cdot 10^6$ m/s. Supondo que se possa medir essa velocidade com uma incerteza de 2,0%, qual é a incerteza na medida da posição desse elétron? considerando: $h/2\pi = 1,1 \cdot 10^{-34}$ J.s; massa do elétron: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.

Na sala de aula, o professor direcionará as quatro perguntas acima. Segue um resumo em torno das ideias do que se espera como resposta por parte dos alunos:

- Embora a formiguinha seja extremamente pequena (do ponto de vista macroscópico), ainda assim não é um ente quântico. Portanto o Princípio de Heisenberg não é válido para o animalzinho.
- Em virtude do fato mencionado na resposta anterior, o resultado para a incerteza da posição é extremamente pequeno (da ordem de 10^{-32}), ou seja, é uma imprecisão que praticamente não existe.
- Sabemos que medidas diretas seriam impossíveis, pois deformariam o sorvete. É possível medir esse diâmetro indiretamente por fotografia, por exemplo. Neste caso não haveria a interferência direta nas dimensões, mas certamente haveria a necessidade de correções ou ajustes no processo de medida. Como no exemplo da estatueta, processos que utilizam a luz, portanto, fótons, não interferem nos corpos no plano macroscópico.
- **RESOLUÇÃO:**

A quantidade de movimento do elétron é $p = m \cdot v$.

Sendo $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg e $v = 3,0 \cdot 10^6$ m/s, temos:

$$p = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3,0 \cdot 10^6 \Rightarrow p = 2,7 \cdot 10^{-24} \text{ kg.m/s}$$

Admitindo-se para a incerteza da medida da quantidade de movimento a incerteza da medida da velocidade, temos:

$$\Delta p = 2,7 \cdot 10^{-24} \cdot 2,0\% \Rightarrow \Delta p = 2,7 \cdot 10^{-24} \cdot \frac{2,0}{100} \Rightarrow \Delta p = 5,4 \cdot 10^{-26} \text{ kg.m/s}$$

Pelo Princípio da incerteza, obtemos:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi} \Rightarrow \Delta x \cdot 5,4 \cdot 10^{-26} \geq 1,1 \cdot 10^{-34} \Rightarrow \Delta x \geq 2,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

OITAVA AULA

OBJETIVO

Verificação da Aprendizagem

RECURSOS INSTRUCIONAIS

Sala de aula

DINÂMICA DA AULA

Os procedimentos de verificação da aprendizagem poderão ser formais ou informais. Os formais são a prova oral e a prova escrita. Os informais são o interrogatório, a arguição, a consulta ou entrevista individual, a discussão socializada, os exercícios de classe, as tarefas, os relatórios e sumários escritos pelos alunos, as experiências e os trabalhos práticos. Todavia, para evitar dúvidas a respeito da eficácia do ensino ativo, sugerimos ao professor a realização da verificação da aprendizagem através de prova escrita tradicional.

Em sala de aula, para efeito de comparação, o professor deverá em uma turma discutir o Princípio da Incerteza usando o ensino ativo. Em outra turma, discutir o Princípio da Incerteza usando o método expositivo. O professor deverá aplicar a mesma prova nas duas turmas. Em seguida estabelecer a distinção dos resultados em

percentuais do número de acertos da turma em que foi usado o método Decroly comparando com o número de acerto da turma em que foi usado o tradicional método expositivo.

ANEXO 1**QUESTIONÁRIO INDIVIDUAL – 3º ANO E. M.****PROFESSOR:** Carlos Henrique Moreira Sales**NOME:** _____

- 1) Você já havia estudado Física Quântica?
 SIM NÃO
- 2) Na sua opinião, a Física Quântica produz algum impacto na vida das pessoas, como desenvolvimento de novas tecnologias etc.?
 SIM NÃO
- 3) Você participou da aprendizagem ativa de Física Quântica (Aula no Laboratório)?
 SIM NÃO
- 4) Se sim, marque uma das opções abaixo:
A aula tinha qual objetivo?
- a) Mostrar que luz se propaga em linha reta.
- b) Estudar as ondas eletromagnéticas.
- c) Compreender que a abordagem de um objeto quântico interfere no seu comportamento.
- 5) Você participou da aula vídeo (simulação), da tentativa de observar o comportamento do elétron?
 SIM NÃO
- 6) Se sim, responda: observar o elétron alterou o seu comportamento?
 SIM NÃO
- 7) Na sua opinião, mudar um pouco a condução da aula, do modelo tradicional para um modelo ativo, onde você participou ativamente foi?
 POSITIVO NEGATIVO
- 8) O que você preferiria para as próximas aulas de Física?
 Aulas ativas Aulas tradicionais

ANEXO 2

Avaliação Aplicada Após o Ensaio

							
COLÉGIO ESTADUAL ROBINHO MARTINS DE AZEVEDO							
DISCIPLINA		PROFESSOR (A)		4º BIMESTRE			
Física		Carlos Henrique M. Sales		Ensino Médio Ciências Da Natureza			
DATA: ____/____/2019				SÉRIE:		TURMA:	
ALUNO (A): _____				3ª		A	

Orientações ao aluno:

1- Caro Aluno Leia atentamente a prova antes de começar a responder. Respondam primeiro as questões que estão claras no seu entendimento. A resposta deverá ser com tinta Preta ou azul.

2- Cada questão vale 2,0 pontos.

Boa prova!

1- De acordo com o princípio da incerteza, é impossível obter-se medidas quânticas com total precisão. Desse modo, podemos afirmar que essa impossibilidade

- a) deve-se à capacidade técnica de quem realiza a medida.
- b) deve-se principalmente à qualidade dos instrumentos de medida utilizados pelo experimentador.
- c) deve-se, exclusivamente, à natureza dos sistemas quânticos, que hora se comportam como partículas, hora como ondas.
- d) deve-se à presença de ruídos externos, como atrito, calor, vibrações, radiação etc.
- e) deve-se à tecnologia dos aparelhos de medida, que ainda não é capaz de fazer medidas quânticas precisas

2- Uma bola de futebol tem massa de 0,45 kg e move-se com velocidade de 30 m/s. Supondo que a quantidade de movimento seja determinada com uma incerteza de 2,0%, de acordo com o princípio da incerteza, determine:

a) a incerteza ao medir a posição dessa bola;

b) essa incerteza percentual na posição dessa bola em relação a um comprimento de 100 m.

$$\left(\text{Dado: } \frac{h}{2\pi} = 1,1 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \right)$$

3- Um elétron move-se na direção do eixo x com velocidade de $3,0 \cdot 10^6$ m/s. Supondo que se possa medir essa velocidade com uma incerteza de 2,0%, qual é a incerteza na medida da posição desse elétron?

$$\left(\text{Dados: } \frac{h}{2\pi} = 1,1 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}; \text{ massa do elétron: } m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \right)$$

4- Um nêutron move-se na direção do eixo x com velocidade de $6,0 \cdot 10^6$ m/s. Supondo que se possa medir essa velocidade com uma incerteza de 5,0%, qual a incerteza na medida da posição desse nêutron?

(Dado: $\frac{h}{2\pi} = 1,1 \cdot 10^{-34}$ J · s; massa do nêutron: $m_n = 1,7 \cdot 10^{-27}$ kg.)

5- A medida da velocidade de um elétron, em um experimento, foi de $2,1 \cdot 10^6$ m/s, com precisão de 0,7%. Qual é a incerteza na posição medida para esse elétron, sendo sua massa $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg?

Adote $\pi = 3,14$.