



ENSINO & MULTIDISCIPLINARIDADE

Jan. | Jun. 2021 - Volume 7, Número 1, p. 42-56.

Um recorte histórico das contribuições de Erwin Schrödinger para a Mecânica Quântica

A historical overview of Erwin Schrödinger's contributions to Quantum Mechanics

Rafaelle da Silva Souza¹ - <https://orcid.org/0000-0001-6713-2292>

¹Doutora em Ensino, Filosofia e Histórias das Ciências, Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professora de Física, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Seabra, Bahia, Brasil. E-mail: rafalessouza@gmail.com

Resumo

Erwin Schrödinger (1887-1961) foi um físico austríaco, um grande cientista que viveu em um contexto europeu de mudança e turbulência, mas isso não o impediu de ter uma vida muito intensa, tanto em sua pesquisa científica quanto em sua vida pessoal. Seu trabalho mais famoso, publicado em 1926, inclui sua teoria da mecânica ondulatória, no qual consta a famosa equação que tem hoje o seu nome. Ele mostrou que a equação funcionava adequadamente para calcular os níveis de energia do átomo de hidrogênio. Em outros trabalhos, publicados no mesmo período, mostrou outras aplicações designadas ao oscilador harmônico e uma generalização para o caso dependente do tempo. Sua dedicação aos sistemas quânticos lhe rendeu o Prêmio Nobel em 1933. É sobre esse homem fascinante e complexo que se apresenta um recorte histórico com potencial para atrair não apenas os cientistas, mas qualquer pessoa interessada na história de nossos tempos, na vida e no pensamento de um dos maiores cientistas do século XX. O presente artigo nasceu do fato de que, embora muito se fale sobre Schrödinger, não há textos em língua portuguesa que ultrapassem os limites biográficos, apesar de sua extrema relevância teórica para a pesquisa acadêmica. Nesse sentido, tem-se por objetivo visitar algumas obras que relatam os acontecimentos ou fatos econômicos, políticos, sociais e culturais que resultaram no período mais produtivo da carreira de Schrödinger.

Palavras-chave: Mecânica Quântica. Schrödinger. História da Física.

Abstract

Erwin Schrödinger (1887-1961) was an Austrian physicist, a great scientist who lived in a European context of change and turmoil, but this did not stop him from living a very intense life, both in his scientific research and in his personal life. His most famous work, published in 1926, includes his theory of wave mechanics, which contains

Como citar: SOUZA, R. S. Um recorte histórico das contribuições de Erwin Schrödinger para a Mecânica Quântica. *Ensino & Multidisciplinaridade*, v. 7, n. 1, p. 42-56, 2021.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

the famous equation that bears his name today. He showed that the equation worked properly for calculating the energy levels of the hydrogen atom. In other works, published in the same period, he showed other applications assigned to the harmonic oscillator and a generalization for the time dependent case. His dedication to quantum systems won him the Nobel Prize in 1933. It is about this fascinating and complex man who presents a historical snippet with the potential to attract not only scientists, but anyone interested in the history of our times, life and thought from one of the greatest scientists of the 20th century. This article was born from the fact that, although much is said about Schrödinger, there are no texts in Portuguese that go beyond biographical limits, despite its extreme theoretical relevance for academic research. In this sense, the objective is to visit some works that report the economic, political, social and cultural events or facts that resulted in the most productive period of Schrödinger's career.

Keywords: Quantum Mechanics. Schrödinger. History of Physics.

Introdução

A mecânica quântica é, sem dúvidas, um assunto fascinante e sem seu desenvolvimento, certamente, pouco se teria avançado no conhecimento da estrutura da matéria, do átomo e das partículas elementares. Agora, de acordo com Freire Jr. (2021), a comunidade de pesquisadores da área, com articulação internacional, prepara-se para “o século” dessa teoria científica, tomando 2025 como o marco desse momento, mas seus fundamentos conceituais continuam a deixar os pesquisadores à procura de respostas. De acordo com a equação de Schrödinger, um sistema fechado é descrito por um “estado” que evolui no tempo de maneira determinista. Ao contrário da mecânica clássica, esse estado em geral fornece apenas as “probabilidades” (PESSOA JR, 2003).

Objetos quânticos, como elétrons, portanto, vivem em uma nuvem de incerteza, matematicamente codificada em uma “função de onda” que muda de forma suavemente, como ondas comuns no mar. No entanto, quando uma propriedade como a posição de um elétron é medida, sempre produz um valor preciso (e produz o mesmo valor novamente se medido imediatamente depois). Ou seja, há uma sutileza na medição de sistemas quânticos.

A maneira mais comum de entender isso foi formulada na década de 1920 pelos pioneiros da teoria quântica, Niels Bohr e Werner Heisenberg, e é chamada de interpretação de Copenhague, em homenagem à cidade onde Bohr viveu. Ele diz que o ato de observar um sistema quântico faz a função de onda “colapsar” de uma curva espalhada para um único ponto de dados (HOWARD, 2004).

A interpretação de Copenhague deixou em aberto a questão sobre por qual razão regras diferentes deveriam ser aplicadas ao mundo quântico do átomo e ao mundo clássico das medições de laboratório (e da experiência cotidiana). Mesmo assim, isso reestruturou a disciplina da Física, sendo considerada a sua teoria mais fundamental. Embora os objetos quânticos estejam em estados incertos, a observação experimental acontece no reino clássico e dá resultados inequívocos.

Entre vários aspectos que envolvem, também, discussões de fundamentos e interpretações, a teoria quântica tem uma longa história de experimentos mentais e, na maioria dos casos, eles são usados para apontar fraquezas em várias interpretações da mecânica quântica. Um deles, consideravelmente famoso, é o gato de Schrödinger – proposto em 1935 – , em que um gato é colocado em uma caixa com um mecanismo que liberara um ácido letal com base em uma ocorrência aleatória, como a decomposição de um núcleo atômico. Nesse caso, o estado do gato é incerto até que o experimentador abra a caixa e verifique.

O experimento do físico Erwin Schrödinger domesticou a situação e mudou para sempre a face da física com quatro artigos requintados, todos escritos e publicados em um período de seis meses de pesquisa teórica. Durante esse tempo, ele desenvolveu pesquisas sobre a mecânica

ondulatória, que acelerou muito o progresso da teoria quântica. O primeiro deles, foi o texto no qual apresenta a equação de onda. Os outros três artigos, se seguiram em rápida sucessão com equações fáceis de serem resolvidas pelos físicos e, pela primeira vez, era possível visualizar o que estava acontecendo com as partículas do átomo.

Nesse contexto, a proposta do presente trabalho é visitar alguns dos principais acontecimentos históricos envolvendo Schrödinger no cenário da mecânica quântica. Para cumprir a pretensão desejada neste estudo, torna-se necessário realizar um recorte histórico que contemplará alguns trabalhos de Schrödinger que expliquem a ciência por trás de seus feitos e as importantes contribuições para descrever o comportamento de sistema quânticos.

É sabido da ausência de trabalhos históricos sobre a mecânica quântica que podem ser explorados no ensino de ciências devido à complexidade do formalismo. Por essa razão, por meio de consultas a algumas das principais fontes sobre o assunto, o artigo contribui para a área ao oportunizar uma compreensão acerca dos esforços de Schrödinger para consolidar as ideias centrais da mecânica quântica que contribuiriam para uma das grandes reviravoltas na visão científica de mundo, bem como participar do movimento mais “humanizador” da ciência por meio de sua contextualização histórica e epistemológica.

Ideias precursoras

No início de século XX, os estudos de Planck, que introduziria o caráter descontínuo da energia e viria a se transformar em base teórica para o estudo dos fenômenos físicos em escala microscópica, deu origem a teoria quântica. Deve ser registrado que, apesar do caráter experimental da física, essa área de conhecimento seria formulada em bases teóricas criadas em escritórios num processo racional e dedutivo e não em laboratórios por meio de experiências e testes.

As ideias precursoras da teoria quântica podem ser brevemente apresentadas, conforme o faz Rosa:

Formulada nos anos de 1920, a teoria que deu origem ao Princípio da Incerteza, de Heisenberg, teria tremendo impacto no desenvolvimento e na compreensão da Ciência, em geral, e da Física, em particular. De acordo com o Princípio, grupos de aspectos essenciais de uma partícula (posição, velocidade, quantidade de movimento e energia) não podem ser medidos com a mesma precisão e ao mesmo tempo, isto é, não há meios de se medir simultaneamente e com a mesma precisão as propriedades elementares do comportamento subatômico. Por exemplo, no caso da partícula quântica, a medição com exatidão de sua posição implica numa grande incerteza quanto à sua velocidade, e vice-versa. O Princípio da Incerteza viria a ter enormes repercussões na Filosofia da Ciência, uma vez que contestava um dos seus preceitos essenciais. O caráter absoluto da certeza e do determinismo científicos, prevaletes até aquele momento, seria objetado, assim, pela afirmação do conhecimento relativo, dando lugar à previsão e à probabilidade (2012, p. 163).

Essa nova área da física seria objeto de intensas pesquisas com importantes descobertas e aplicações envolvendo partículas elementares. O modelo quântico de átomo, de Niels Bohr; a teoria da dualidade onda-partícula para a matéria, de Louis de Broglie; as contribuições teóricas na formulação da mecânica quântica (Max Born, Heisenberg, Jordan, Schrödinger); e os trabalhos de Dirac e Pauli (princípio da exclusão) contribuiriam de forma decisiva para que, a partir de meados dos anos 60, fossem desenvolvidos os principais integrantes do que viria a ser conhecido como o modelo padrão da física de partículas elementares (Ibidem).

A teoria quântica serviria, em 1913, para fundamentar o modelo de átomo de Bohr, e a constante de Planck dominaria os cálculos da física atômica. Nos anos seguintes, seria

estabelecida a mecânica quântica cujo desenvolvimento implicou em grandes mudanças na imagem da Ciência. Schrödinger chegou a afirmar que as descobertas dessa época não seriam tão interessantes em si, mas “o que é apaixonante, novo, revolucionário, é a atitude geral que somos forçados a adotar quando tentamos sintetizá-las” (SCHRÖDINGER, 1951, p. 31).

A revolução provocada pela mecânica quântica não é marcada por uma única data, nem de responsabilidade de uma única pessoa (PAIS, 1988). Para conhecer mais sobre as características quânticas amplamente aceitas, bem como os conceitos fundamentais sobre o que atualmente se conhece como mecânica quântica há uma ampla literatura: Pessoa Jr, (2003); Caruso e Oguri, (2009); Cohen-Tannoudji et al. (2006); Freire Jr. et al., (2010); Griffiths (2011), Sakurai (2013), entre outros.

Do ponto de vista geográfico, dois períodos nítidos da pesquisa dos fenômenos físicos podem ser observados, em função do deslocamento do eixo dessa investigação, da Europa ocidental para os Estados Unidos: o primeiro período se estende até o final da década de 1930, e o segundo perduraria até a presente data. A Europa ocidental continuaria a manter, até o início da Segunda Guerra Mundial, sua indiscutível e tradicional liderança mundial como o mais importante centro de pesquisa de física teórica e experimental. Após o recesso forçado, nos anos de 1940, por motivo das prioridades do conflito armado e da reconstrução do Pós-Guerra, os Estados Unidos assumiriam, e conservariam até o presente, a irrefutável posição de líder nas pesquisas da Ciência Física. A Alemanha continuaria como o principal centro da física teórica e experimental, até início da década de 1930. Cientistas de outros países europeus dariam valiosa contribuição, igualmente, para a física moderna, como o austríaco Schrödinger ou o dinamarquês Niels Bohr. A título de curiosidade, o Brasil ingressaria no cenário internacional somente após a Segunda Guerra Mundial, graças às contribuições de alguns estudiosos como o César Lattes e à criação do Conselho Nacional de Pesquisa e do Ministério da Ciência e Tecnologia. Sobre aspectos gerais da história da teoria quântica destaca-se: Jammer (1966); Kragh (1999); Mehra e Rechenberg (2001); Freire Jr. (2015).

A vida e o pensamento de Erwin Schrödinger

Entre os vários colaboradores que contribuíram para o desenvolvimento da mecânica quântica, um dos cientistas mais importantes é Schrödinger. Suas biografias são repletas de curiosidades. Para destacar apenas alguns fatos, Erwin era filho único, de família próspera, e foi criado rodeado por mulheres, parentes – mãe, tias, avó – e uma sucessão de empregadas que, segundo Gribbin (2012, p. 11), “concediam quase todos os seus caprichos” – o que para o autor pode ter influenciado em sua personalidade, da qual discorre-se brevemente a seguir.

Na família Schrödinger, o interesse pela ciência foi inicialmente cultivado por seu avô materno, Alexandre Bauer, que estudou matemática e química em Viena e Paris, e tornou-se químico pesquisador (Ibidem). Provavelmente, devido as influências, desde cedo, Schrödinger revela seu entusiasmo pela ciência e segundo sua filha mais velha, Braunizer (1992), foi justamente a atmosfera de Viena na virada do século e no fim dos anos 1920, o acesso à educação de alta qualidade e a orientação de seus pais que garantiu um rico ambiente intelectual e o solo perfeito para desenvolver sua genialidade. Os vários estímulos intelectuais oferecidos por seus pais ou professores particulares – gosto pela música, pintura, inglês, filosofia – tornaram-se determinante (SCHRÖDINGER, 1960). Para Gribbin (2012, p. 45), ele era “excepcional”, uma das pessoas mais educadas de seu tempo.

Schrödinger nasceu em 1887 em Viena, estudou lá e foi nomeado professor em Zurique em 1921 – cidade onde escreveu seus famosos trabalhos sobre a mecânica das ondas em 1926. Porém, antes de seus feitos, algo marcante em sua vida foi a Primeira Guerra Mundial, iniciada em 1914, na qual participou ativamente servindo como oficial de artilharia. Entre os vários

problemas, em toda a Áustria, no período de 1917-19, as pessoas passavam fome e Schrödinger estava imerso nessa turbulência (GRIBBIN, 2012). Além disso, ele teve tuberculose e teve de enfrentar a morte de seus pais – a doença, acabou impactando sua produção, o que aumentou à medida que sua saúde melhorou, embora por um longo tempo ele foi incomodado por uma tosse persistente.

Findada a guerra, Schrödinger “sofreu as consequências do bloqueio do pós-guerra da Áustria e a inflação galopante do início dos anos 1920” (Ibidem, p. 4). Depois dessas experiências, uma de suas principais preocupações, levadas até a morte, era garantir seu futuro financeiro. Inclusive, por um momento, chegou a pensar em assumir os negócios de seu pai. Felizmente, encontrou a estabilidade como professor universitário.

Schrödinger era um homem pouco convencional, mantinha um estilo de vida alternativo, não tinha amizades profundas, ao passo que tinha aguçado a atração para casos amorosos. Menções as mulheres com quem se envolvia quase não aparecem. No entanto, ele mantinha uma série de registros (em código) das suas aventuras amorosas (MOORE, 2003; GRIBBIN, 2012). Conhecer mais da vida privada de Schrödinger é revelar moralmente uma vida de promiscuidade. Na história de sua vida, em uma autobiográfica apresentada quando tinha 72 anos, ele tenta negar isso e se concentra em aspectos considerados importantes, como a relação com seu pai, mentor intelectual, alguém em quem ele podia confiar e também discutir sobre tudo ou seus feitos acadêmicos e profissionais (GOTSCHL, 1992).

Ao se voltar para narrativas de historiadores como Moore (2003) e Gribbin (2012), entende-se que a relação conjugal de Schrödinger era muito aberta. Ele mantinha relações extraconjugais e teve uma série de amantes, três das quais lhe deram filhas ilegítimas. Já seu casamento com Anny foi sem filhos. Nas biografias, há argumentos que levam o leitor a entender que Schrödinger precisava de tempestuosas aventuras sexuais para inspirar suas grandes descobertas. Por exemplo, registros indicam que no Natal de 1925, ele estava em meio a um possível caso amoroso na estância de Arosa, não longe de Zurique (PAIS, 1988; MOORE, 2003). Esse caso, cujo nome da mulher é desconhecido, teria eroticamente lhe guiado para sua famosa equação de onda. Como afirma Pais (Ibidem, p. 252), o “êxtase erótico-matemático” parecia resolver, em uma canetada, os problemas gerados pela mecânica quântica.

Ainda, uma polêmica que poderia ter repercussões graves, ocorreu imediatamente após seu triunfo na mecânica ondulatória. Ele concordou em ser tutor de meninas gêmeas, de 14 anos, chamadas Withi e Ithi Junger e regularmente acariciava a última durante as aulas de matemática. Ele finalmente a seduziu quando ela tinha 17 anos, garantindo que ela não engravidaria. Schrödinger, então, imediatamente perdeu o interesse por ela, e a garota passou por um aborto desastroso que a deixou estéril. Na sequência, ele teve como amante Hilde March, esposa de seu assistente Arthur March, e ela lhe deu uma filha. March, sempre o assistente zeloso, concordou em ser nomeado pai, enquanto sua esposa acabou se mudando para a casa de Schrödinger para servir como a “segunda esposa” (MOORE, 2003).

As informações sobre sua promiscuidade e desrespeito às mulheres não faltam, mas não faz parte do escopo deste texto discutir a questão da mulher como objeto sexual ou o machismo no século XX. No entanto, ressalta-se a importância dessa percepção, inclusive para os historiadores da ciência. Como supracitado, em algumas narrativas é possível perceber associações de que a vida amorosa de Schrödinger beneficiava sua criatividade científica. Independente de um julgamento moral sobre suas atitudes, compreender a dimensão humana dele pode mostrar que a ciência é um campo próximo à nossa vivência cotidiana.

Voltando a sua história, em 1927, Schrödinger sucedeu a Max Planck como professor de física em Berlim, mas renunciou ao cargo em 1933 após a ascensão dos nacional-socialistas ao poder. No mesmo ano, ganhou o Prêmio Nobel de Física. Ele passou seus anos de exílio em

Oxford e em Dublin. Na capital irlandesa, em 1944, ano que passou na Universidade de Dublin como professor visitante, escreveu o livro *What is Life?* – o que é a vida –, que viria a desempenhar um papel decisivo no desenvolvimento da biologia molecular. Em 1955, Schrödinger voltou a Viena, onde morreu em 1961. Foi sepultado em Alpbach, em meio aos Alpes tiroleses, onde a equação que leva seu nome enfeita até hoje sua lápide.

Conhecer essa história faz com que levantemos alguns questionamentos. Por exemplo, como explicar a súbita explosão dos pensamentos de Schrödinger, mesmo naquela era de físicos incomuns após a Primeira Guerra Mundial? Quais recursos intelectuais ele dispunha, capazes de formular sua equação? O homem parece ter sido extraordinariamente comum. A imagem de Schrödinger que emerge das principais biografias, como as de Moore (1992, 2003) e Gribbin (2012), é a de um homem vaidoso, egoísta, infantil e irremediavelmente de classe média, que se preocupava com seus prêmios e medalhas e era obcecado por sua pensão e salário (Ele não aceitou uma oferta da Universidade de Princeton porque isso não lhe daria paridade com Einstein). Moore (2003) é exaustivo em suas pesquisas sobre a vida de Schrödinger, mas, como em um artigo científico, ele é pesado em dados e parcimonioso ao explicá-los.

O que se pode inferir é que o pensamento de Schrödinger ilustra, por meio de analogias, os problemas da mecânica quântica. Toda essa criatividade decorre de sua personalidade. Inclusive, houve um período que ele revelou interesse em ser poeta, mas logo percebeu como seria difícil ganhar a vida com a poesia. Ainda, desde muito cedo, Schrödinger se interessou pela filosofia, e por isso sua importância não se limita à física propriamente dita. Ele produziu reflexões filosóficas valiosas, em áreas como filosofia da ciência, filosofia da natureza, ontologia, epistemologia e ética (SILVA, 2011). Schrödinger almejou compreender o mundo como uma ordem complexa – uma questão de ontologia – e buscou a compreensão de tal ordem – uma questão de epistemologia, a atitude fundamental da ciência até a atualidade (SCHRÖDINGER, 1996). “Essas ideias filosóficas influenciariam fortemente o pensamento posterior de Schrödinger sobre física quântica” (GRIBBIN, 2012, p. 61).

Com referência à origem da equação de Schrödinger, o ganhador do Nobel Richard Feynman questionou: “De onde tiramos essa [equação de Schrödinger]? Lugar algum. Não é possível derivá-la de qualquer coisa que você conhece. Saiu da mente de Schrödinger, inventado em sua luta para encontrar uma compreensão da observação experimental do mundo real” (FEYNMAN et al., 1965, p. 12).

Conhecer mais de Schrödinger, o cientista mais enigmático do século, é inteirar-se de uma história maravilhosamente franca e sem glamour, do desenvolvimento da mecânica quântica. Uma parte significativa das contribuições tem relação com discussões ainda em andamento sobre questões fundamentais da mecânica quântica, um tópico ao qual Schrödinger se dedicou durante toda a sua vida. Claramente, as conquistas científicas de Schrödinger são tão importantes hoje quanto foram antes, ao ganhar o Nobel. Ele pertence à espécie rara de estudiosos cujas ideias se tornaram prática diária para muitos cientistas e continuarão a fazer parte dos tesouros da ciência.

É importante ter clareza que o que Schrödinger pensou e como ele pensou é, em grande parte, conhecimento comum no mundo da física, e todos que entendem a linguagem podem lê-lo, repensá-lo, interpretá-lo e, se assim o desejarem, contradizê-lo ou apoiá-lo. O que não se pode saber, nem adivinhar é o que fez ele pensar de tal forma. Portanto, o que se faz neste artigo é voltar no tempo e dar uma olhada nos acontecimentos e influências sobre a mecânica quântica.

A base física da teoria de Schrödinger

A contribuição inicial de Schrödinger para a teoria quântica seguiu uma linha de pensamento enraizada na termodinâmica, envolvendo a capacidade térmica dos sólidos que

implica na maneira como as moléculas vibram, o que, por sua vez, depende das propriedades quânticas, foco, também, de Max Planck e Albert Einstein (GRIBBIN, 2012). O contato que Schrödinger teve com Einstein e Planck o fez pensar sobre uma nova linha de trabalho em estatística quântica, teoria dos gases, entropia e mecânica estatística. Em continuidade, Schrödinger manteve os estudos e publicou regularmente seus pensamentos e interpretações sobre a mecânica quântica (MEHRA; RECHENBERG, 2001).

São de sua autoria uma série de artigos, já bastantes divulgados na língua inglesa, sobre quase toda a estrutura da mecânica quântica, mostrando outras aplicações a equação de onda, a solução do espectro do hidrogênio como uma série dos autovalores da equação de onda, o desenvolvimento teoria da perturbação e sua aplicação a uma série de problemas tradicionais da antiga teoria quântica¹.

Na década de 1920, Schrödinger destaca-se por estar receptivo as contradições impostas pelo mundo quântico. Ele defendeu firmemente a ideia de a luz viajar como uma onda – aceitando as evidências de experimentos como o de Young. No início de 1922, segundo Gribbin (2012, p. 102), ele publicou um artigo que organizou “uma ponta solta na física quântica”.

Cada um desses artigos gerava desacordos entre os físicos quânticos da época, como Heisenberg, Born e Bohr, que trabalharam por tanto tempo e sem sucesso no problema. Foi a equação de Schrödinger (1) que permitiu visualizar o que estava acontecendo com as partículas do átomo, um ponto absolutamente marcante no que passou a ser conhecido como mecânica quântica. É esse o seu grande e decisivo contributo para a ciência.

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \psi(x) + \frac{8m\pi^2(E - V)}{h^2} \psi(x) = 0 \quad (1)$$

Sua abordagem, que é mais acessível matematicamente do que a mecânica de matrizes, tem, por essência, uma equação diferencial, cuja solução é a famosa função de onda Ψ (psi) (BORN, 1986). Tal função é, em termos simples, uma expressão matemática do caráter ondulatório de uma partícula. A resolução da equação (1) conduz ao conhecimento da evolução temporal e espacial da forma de onda associada a uma partícula qualquer. No entanto, a função Ψ não permite, em conformidade com o princípio da incerteza, que se determine com precisão arbitrária qualquer grandeza associada à partícula.

Entre seus vários artigos, dar-se destaque ao intitulado *Quantization as an Eigenvalue Problem* – Quantização como um problema de autovalor –, nele Schrödinger (1926a) apresenta um argumento para derivar a equação da onda e, em seguida, prosseguir para resolver os autoestados de energia não-relativísticos do hidrogênio. Quando se resolve a equação (1) para o átomo de hidrogênio, obtêm-se as energias para os níveis energéticos e os orbitais atômicos por meio de um sistema energético quantizado. Ainda, descreve-se as funções de onda (os estados) das partículas quando a sua energia está bem definida, i.e., ela descreve os estados estacionários (SCHRÖDINGER, 1926a; 1926d). A dedução de Schrödinger foi reconstruída detalhadamente por Mehra e Rechenberg (2001).

A equação de onda de Schrödinger, usando o método de Laplace, foi imediatamente aceita como uma ferramenta matemática, de relativa simplicidade, capaz de lidar com problemas de estrutura da matéria (MOORE, 1989). Schrödinger não expõe detalhes específicos de como a solução é realizada, um trabalho que mostra os detalhes por trás de como

¹ Os artigos de Schrödinger, que ainda hoje são maravilhosos de ler, estão disponíveis na tradução para o inglês em E. Schrödinger, *Collected Papers on Wave Mechanics* (London: Blackie & Son, 1928).

esta primeira função de onda foi resolvida em 1926 é realizado por Galler, Canfield e Freericks (2020). Portanto, não o discutiremos mais aqui.

Nenhuma nova matemática é necessária para formular a equação de Schrödinger (1), e nenhuma nova suposição física além da regra conhecida de De Broglie, que está em princípio apenas uma extensão óbvia da relação de Planck entre energia e frequência, isto é, $E = h\nu$. Segundo Einstein, que escreveu na margem de uma carta a Schrödinger, tratava-se de uma ideia que testemunhava a engenhosidade genuína (MEHRA; RECHENBERG, 1987).

Compreende-se que a base física da teoria de Schrödinger respaldou-se em pensar em uma partícula como um ponto; visualizando-a como um pequeno aglomerado de ondas, uma “onda estacionária” na linguagem atual. Ora, se os elétrons eram descritos como ondas, deveria existir uma equação de onda. Segundo Evans (2007), pensou-se nos elétrons como partículas e deixou de lado o salto quântico, aplicando as regras de interação das ondas que descreve, de um modo geral, as estruturas materiais subatômicas como eventos ondulatórios. Seguramente, Schrödinger foi influenciado pelos trabalhos de De Broglie, que anos antes, havia formulado uma teoria ondulatória para a matéria, descrevendo o estado dos elétrons nos átomos como ondas estacionárias (HANLE, 1979; MOORE, 1989).

Exatamente como e quando Schrödinger transformou as ideias de De Broglie em uma equação para ondas estacionárias, destinada a representar partículas sob a forma de pacotes de ondas, não é conhecido. Mas certamente este foi um passo importante, crucial para toda a mecânica das ondas (KRAGH, 1982).

Além de construir um mecanismo para interações de partículas, Schrödinger ligou o mundo quântico do microscópico ao mundo clássico dos objetos macroscópicos. As ondas agora existiam, figurativamente falando, tanto nos átomos quanto nos oceanos. Os físicos podiam entender as ondas, que haviam estudado incessantemente. A mecânica ondulatória de Schrödinger contribuiu de forma ampla para a teoria quântica e, ao mesmo tempo, ameaçou seus fundamentos e o limite clássico da mecânica ondulatória – ver Schrödinger (1926b). Ele utilizou fenômenos contínuos, ondas, para explicar o mundo quântico descontínuo do átomo (RENN, 2013). Ainda, Schrödinger não esclareceu o significado da função de onda Ψ , mas ela foi introduzida como uma função das coordenadas e do tempo semelhante uma onda, e por isso ele sugeriu que Ψ poderia representar algum processo de vibração dentro do átomo – tratava-se de uma onda de probabilidade, isto é, só poderíamos conhecer a posição do elétron indicando uma certa probabilidade.

Para resumir, Schrödinger (1926a) acreditou que: (1) Estados discretos de energia eram artefatos de processos de ondas; (2) As transições quânticas são mudanças contínuas no espaço-tempo em processo de vibração dentro do átomo; (3) Elétrons e outras partículas pontuais eram pacotes de ondas. Com essas concepções, a oposição de Schrödinger à realidade dos estados estacionários e saltos quânticos foi profundamente arraigada, voltando ao assunto anos depois. Em 1952, publicou um artigo intitulado *Are there quantum jumps?* – Existem saltos quânticos? – no qual repetiu seus argumentos, só que explorando um estilo muito mais retórico e colocando a questão em um amplo contexto histórico e cultural (SCHRÖDINGER, 1952).

Quanto à mecânica matricial, Schrödinger teceu comentários sobre os trabalhos de Heisenberg, Born e Jordan. Sua expectativa era que os dois diferentes enfoques não lutassem um contra o outro, mas, pelo contrário, exatamente por causa das extraordinárias diferenças entre seus pontos de partida e métodos se suplementassem mutuamente e um deles progredisse onde o outro falhasse (SCHRÖDINGER, 1926c).

Durante o período crucial em que a mecânica ondulatória foi criada, Schrödinger mantinha correspondência regular com o experimentalista Wilhelm Wien e o teórico Arnold Sommerfeld, sendo os primeiros físicos a responder a nova teoria dos sistemas atômicos. Wien

levantou algumas questões sobre a absorção e emissão de altas frequências e como se derivaria a radiação do corpo negro na teoria de Schrödinger – mas ele recebeu o trabalho maneira bastante favorável. Segundo Mehra (1987, p. 1170), Wien encerrou sua carta encorajando Schrödinger com as palavras: “Em qualquer caso, quero parabenizá-lo pela sua conquista e desejo-lhe boa sorte de todo o coração. Agora será possível resolver o problema quântico que até então parecia em esperança”. Apesar disso, a cúpula dos físicos quânticos, seus contemporâneos, não se agradou de imediato de seus trabalhos. Não havia total acordo entre os cientistas, a respeito de diversos aspectos.

O próprio Bohr, convidado a relatar no congresso de Solvay, em 1927, a situação em que a física quântica se encontrava à época, diz que procuraria descrever a “tendência geral do desenvolvimento da teoria desde os seus primórdios”, esperando que isso fosse “útil para harmonizar as concepções aparentemente conflitantes adotadas por diferentes cientistas” (BOHR, 1928, p. 135). Pauli se referiu às opiniões de Schrödinger como “superstições de Zurique”, enquanto, Heisenberg, chamou a teoria de “abominável”. Em 1927, Heisenberg muda de opinião e incorpora as funções de onda de Schrödinger como parte integrante de seu princípio de incerteza (RENN, 2013).

Já com Einstein, desde o início, Schrödinger havia compartilhado suas inquietações em relação a certos resultados como a incerteza ou indeterminação (HANLE, 1979). Na verdade, ele costumava discutir essas questões com Einstein por meio de troca de correspondências e, mais tarde, quando estiveram juntos em Berlim, sendo forçados a partir depois que os nazistas assumiram o governo da Alemanha. Einstein vai para os Estados Unidos e Schrödinger para Inglaterra, lugar que não tinha certeza se devia permanecer nos anos seguintes. Em 17 de maio de 1935, ele escreveu a Einstein: “Cresce a sensação de que não tenho um lugar e dependo da generosidade de outros”, e acrescentou, segundo Mehra e Rechenberg (2001, p. 738):

Quando vim aqui, pensei que poderia fazer algo valioso para ser ensinando, mas ninguém se importava com isso aqui. E além disso, acho que na verdade eu devo dizer a mim mesmo que, na realidade, vou ficar aqui por causa de um velho muito simpático (Augustus Love), esperando-o morrer ou ficar incapacitado e então, ser chamado para ser seu sucessor.

Schrödinger, esperava, como relatou a Einstein posteriormente, obter uma posição na Áustria, ou seja, a cadeira do Michael Radakovic in Graz. Três semanas depois, ele retomou sua correspondência com Einstein, e entrou em uma discussão animada sobre o conteúdo do artigo de Einstein, Podolsky e Rosen (1935). Segundo Fiolhas (2015, p. 8), a questão maior é o chamado problema da medida: para descrever uma partícula quântica usamos uma onda de probabilidade, mas detectamos essa partícula num certo lugar; portanto, a onda tem de alguma maneira de colapsar no processo de medida, sob a influência do observador. Para combater esse tipo de ideias, que se opunham à tradicional separação entre observador e objeto, Schrödinger deixou para trás um paradoxo que atormenta os cientistas até hoje.

Em 1935, em um longo ensaio, ele criou um experimento mental – em alemão, *Gedankenexperiment* –, o paradoxo do gato que liga o micromundo quântico, com suas probabilidades estatísticas que substituem causa e efeito, ao macromundo newtoniano de objetos cotidianos que obedecem a regras rígidas de causalidade. Schrödinger pretendia que seu paradoxo fosse um sarcástico comentário sobre a probabilidade quântica ou variáveis ocultas, podendo resolver a incerteza olhando na caixa. Foi no texto *Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik* – Sobre a situação atual na mecânica quântica, tradução para língua portuguesa em Souza (2020) –, que cunhou o termo “emaranhamento” (SCHRÖDINGER, 1935).

No experimento mental, um gato é colocado em um estado quântico de “vivo e morto”. Seguindo o raciocínio de Schrödinger, as duas realidades aconteceriam simultaneamente, revelando o comportamento imprevisível das partículas no nível quântico. No entanto, um dos princípios da mecânica quântica, o princípio da incerteza de Heisenberg estabelece que não é possível fazer uma medida sem interferir nos resultados dessa própria medida. Logo, ao verificar o estado do gato, provoca-se interferência no sistema e alterando seus resultados, ou seja, a presença de um observador definiria a dualidade e ele só poderia ver o animal vivo ou morto.

O mundo da física parecia voltar ao normal. De forma paradoxal, Schrödinger não aceitava a interpretação oficial que os físicos fizeram de sua equação (BITBOL, 2007). Schrödinger insistia que o elétron não é uma partícula; não se comporta apenas como uma onda, mas é uma onda, tão real quanto uma onda de rádio ou uma onda do oceano. Essa crença foi logo descartada por importantes físicos de sua época. Foi, então, desde o artigo de Schrödinger de 1935 e o artigo de Einstein, Podolsky e Rosen de mesmo ano, que se seguiu longas discussões sobre a questão da universalidade da teoria quântica e a realidade física (e muito mais tarde por John S. Bell).

Nota-se ainda, que Schrödinger tinha pontos de vista muito diferentes dos físicos pertencentes ao chamado “grupo de Copenhague” – Interpretação ortodoxa da mecânica quântica. Essas divergências abrangiam desde bases filosóficas subjacentes às suas ideias até detalhes técnicos relativos à formulação matemática e física da teoria que esses físicos, juntos, ajudaram a desenvolver. Segundo Pessoa Jr. (2003), a interpretação ortodoxa, juntamente com o formalismo de von Neumann, acabaram sendo preferidas no decorrer do desenvolvimento e consolidação da teoria. Por uma série de motivos, Schrödinger criticava a “atitude geral” seguida na mecânica quântica. Ele não deixava de apontar o que via como pequenas falhas ou como problemas sérios – que muitas vezes beirava a teimosia.

Schrödinger demonstrou pouco entusiasmo até mesmo para a teoria de Bohm, ou seja, a teoria da onda piloto de De Broglie, ou pela teoria de variáveis ocultas, devido ao fato de que esta teoria é bastante longe dos padrões epistemológicos que ele ansiava por manter – a princípio, fora do alcance de qualquer tipo de avaliação experimental (SCHRÖDINGER, 1928). Suas percepções sobre os sistemas quânticos o fizeram, ao longo do tempo, modificar a forma de explicar os resultados da função de onda que ocorrem dentro do limite atômico, buscando remover as dificuldades que atormentavam a interpretação da onda original (BITBOL, 1996).

A liberdade de Schrödinger em idealizar seus escritos vem das concepções filosóficas que embasam seu pensamento sobre a natureza da ciência (MURR, 2010; FIOLEAIS, 2015). A mecânica quântica seria, seguindo Schrödinger, uma oportunidade de se prestar atenção a padrões que podem ser modificados (MEHRA; RECHENBERG, 2001).

Desse modo, conclui-se, que conhecer detalhes da vida e dos feitos de Schrödinger auxiliam no acesso a mecânica quântica com outras lentes, através do conhecimento de aspectos que impactam diretamente o fazer científico e pode gerar interesse não só sobre o experimento teórico, mas sim sobre a física em geral, e ao mesmo tempo comentando, e explanando, conceitos como o princípio da incerteza de Heisenberg, a interpretação de Copenhague, a dualidade onda-partícula, entre outros.

Depois da mecânica das ondas, Schrödinger tentou, e falhou (como o fez Einstein) ao forjar uma teoria do campo unificado, e escreveu, como supracitado, o livro intitulado *O que é a vida?*, no qual foi o primeiro a sugerir que um cromossomo nada mais é do que uma mensagem escrita em código. O livro inspirou, pelo menos, dois jovens cientistas a buscarem carreiras em biologia, James Watson e Francis Crick, que receberam o Prêmio Nobel de Fisiologia pela decodificação de DNA.

Hoje sabemos que as partículas fundamentais como os quarks e bósons pulsam entre a existência e a não existência como flutuações, ou perturbações dos campos quânticos, como o campo de Higgs. No livro Schrödinger explica que no mundo macro as coisas existem materialmente, ou empiricamente, devido à imensa quantidade de partículas fundamentais que as compõem, e que parte destas partículas, em cada momento, existem como matéria, enquanto outra parte existiria apenas como possibilidade. Seria como um painel composto por milhares de lâmpadas que se alternam entre acesas e apagadas. O painel sempre estará iluminado, embora parte das lâmpadas estejam apagadas. Sempre que observar uma partícula ou outro corpo qualquer, o estado de cada partícula ficaria estático, mas até que seja observada, cada partícula flutuaria entre a existência e a não existência. Cada partícula em um determinado estado, tem o potencial de ir para o estado contrário.

Assim é o gato na caixa, tem o potencial para estar vivo e morto, mas uma vez observado, só poderá estar vivo ou morto. Desse modo, os limites entre o mundo quântico e o mundo macroscópico em que vivemos não poderia ser melhor ilustrado, trazendo para uma discussão permanente cientistas, filósofos, e todos aqueles que, como Schrödinger, se interessam por melhor compreender a Natureza.

O pensamento de Schrödinger é, na verdade, uma interpretação peculiar da mecânica quântica, que reconhece a probabilidade como característica inescapável, tanto da natureza em si, quanto da interação entre os processos de mensuração e os sistemas quânticos mensurados. Como consequência, o determinismo, um dos pilares filosóficos fundamentais da física clássica, é abandonado pela mecânica quântica. Posto que os sistemas quânticos obedeçam, todos, às relações de incerteza, logo, os estados anteriores e posteriores de sistemas observados nunca podem ser determinados. O mesmo ocorre com seu estado presente, uma vez que não podemos determinar simultaneamente os valores relativos à posição e ao momentum de uma partícula observada. Tal estado de coisas é enunciado formalmente pelo princípio de incerteza de Heisenberg. Desse modo, tem-se uma teoria completa e que explica muito bem a experiência.

Em síntese, de acordo com esse estudo, é possível afirmar que esta teoria surgiu de uma transformação do conhecimento de física clássica e de uma nova forma de olhar o universo subatômico. Não começou com um novo paradigma que era inconciliável com conceitos antigos, mas com uma reorganização do estoque de conhecimento já acessível – que no caso, Schrödinger teve êxito em utilizá-los para aplicar a mecânica quântica. Essa reorganização tornou-se necessária devido aos desafios, apenas alguns dos quais foram condicionados diretamente por novas descobertas empíricas, mas a maioria dos quais surgiu por meio de tensões internas no corpo de conhecimento da física clássica, que, por sua vez, foram certamente consequência do aumento do conhecimento empírico. Este parece ter sido ponto central que interessava não apenas a Schrödinger, mas todos os físicos da época.

Considerações finais

A transição da visão de mundo clássica para a da física quântica não foi nem suave nem rápida – na verdade, ainda pode estar acontecendo. No entanto, como visto neste pequeno e fragmentado histórico, a equação de Schrödinger tanto forneceu a base para a compreensão da física atômica como mudou significativamente nossa visão da constituição da matéria, assim como se descrevem as propriedades básicas do mundo como as entendemos hoje. Até hoje, isso ainda desafia o nosso pensamento em termos não apenas da física e da matemática, mas, também, da filosofia natural.

Ao discutir sobre a vida e a obra de Schrödinger, homem fascinante e complexo, apresentou-se um recorte histórico com potencial para atrair não apenas os cientistas, mas

qualquer pessoa interessada na história de nossos tempos, na vida e no pensamento de um dos maiores cientistas do século XX. Sabe-se que muitas pessoas não têm interesse por física em razão de certas dificuldades da área, como, por exemplo, a dificuldade de entender fenômenos físicos. No entanto, ao mesmo tempo em que muitos alunos encontram obstáculos no estudo da física, além do fato de se dar pouca importância ao entendimento físico, a matemática continua a receber exagerada valorização.

Assim, há potencialidade para o ensino e aprendizagem conhecer a versão fundamental e produtiva da mecânica quântica apresentada por Erwin Schrödinger. As técnicas simbólicas e operacionais têm sido indispensáveis para fornecer um vocabulário para o ensino, discussão e aplicação da mecânica quântica. Quando chega o momento em que os elementos da matriz devem ser calculados e os resultados obtidos, é a equação de Schrödinger que é introduzida e deve ser resolvida.

Dessa forma, ao visitarmos algumas obras que relatam os acontecimentos ou fatos econômicos, políticos, sociais e culturais que resultaram no período mais produtivo da carreira de Schrödinger, é possível aos interessados pela mecânica quântica um olhar diferente daquele comumente apresentados em livros, textos – alguns, inclusive, supracitados. Isso pode impressionar novos leitores, misturando uma matéria complexa, como a teoria quântica, e fazendo com que haja interesse não só pelo famoso experimento do gato, mas, também, uma ampliação do olhar para conceitos, como o princípio da incerteza de Heisenberg, a interpretação de Copenhague, a dualidade onda-partícula, entre outros.

Referências

BITBOL, M. **Schroedinger's Philosophy of Quantum Mechanics**. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 1996, 285p.

BITBOL, M. Schrödinger Against Particles and Quantum Jumps. In: EVANS, J.; THORNDIKE, A S. **Quantum Mechanics at the crossroads: New perspectives from History, Philosophy and Physics**. The frontiers collection: Springer, 2007. p. 81-106.

BOHR, N. 2000. O Postulado Quântico e o Recente Desenvolvimento da Teoria Atômica. In: PESSOA JR. (Org.), **Fundamentos da Física: Simpósio David Bohm**, vol. 1, p. 135- 159. Tradução do inglês por: PESSOA JR., O. São Paulo: Editora Livraria da Física, 1928.

BORN, M. **Física Atômica**. Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.

BRAUNIZER, R. Erwin Schrödinger: some elements of biography. In: BITBOL, M. and DARRIGOL, O. (Eds.). **Erwin Schrödinger: Philosophy and the Birth of Quantum Mechanics**, p. 3-9. Paris: Editions Frontières, 1992.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna**. Origens Clássicas & Fundamentos Quânticos. 2ª ed. Elsevier, 2009.

COHEN-TANNOUDI, C.; DIU, B.; LALOË, F. **Quantum Mechanics**. vol. I, John Wiley & Sons, 2006.

EINSTEIN, A.; PODOLSKY, B.; ROSEN, N. **Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?** Physical Review, v. 47, p. 777-780, 1935.

EVANS, J. Introduction: Contexts and Challenges for Quantum Mechanics. In: EVANS, J.; THORNDIKE, A. S. **Quantum Mechanics at the crossroads: New perspectives from History, Philosophy and Physics**. The frontiers collection: Springer, 2007. p. 1-20.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. L. **The Feynman lectures on physics**. vol. III. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1965.

FIOLHAIS, C. **Ciência e Humanismo: a visão da ciência de Erwin Schrödinger**. Biblos. n. 1, v. 3, 2015. p. 127-151.

FREIRE JR, O. O centenário debate sobre a interpretação e os fundamentos da Física Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 4, n. 3, 2 set. 2021.

FREIRE JR., O.; PESSOA JR., O.; BROMBERG, J. L. (Orgs.). **Teoria Quântica: Estudos Históricos e Implicações Culturais**. Campina Grande; São Paulo: EDUEPB; Livraria da Física, 2010.

GOTSCHL, J. (ed.), **Erwin Schrödinger's world view: the dynamics of knowledge and reality**. Dordrecht, 1992.

GRIBBIN, J. **Erwin Schrödinger and the Quantum Revolution**. London: Bantam Press, 2012.

GRIFFITHS, David J. **Mecânica Quântica**, 2ed. São Paulo: Pearson, 2011. p. 323-341.

HANLE, P. A. The Schrödinger-Einstein correspondence and the sources of wave mechanics. **American Journal of Physics**. n° 47, 1979, 644-648p.

KRAHG, H. Erwin Schroedinger and the wave equation: the crucial phase. **Centaurus**. v. 26, n° 2, 1982.

HOWARD, D. Who invented the “Copenhagen Interpretation”? A study in mythology. **Philos. Sci.**, v. 71, n. 5, p. 669–682, 2004.

MEHRA, J. Erwin Schrödinger and the rise of wave mechanics. II. **The creation of wave mechanics**, v. 17, n. 12, 1987. p. 1141-1188.

MEHRA, J.; RECHENBERG, H. **The historical development of quantum theory**, Volume 5, Erwin Schrödinger and the rise of wave mechanics, Part 2, The creation of wave mechanics: Early response and applications, 1925–1926. New York: Springer, 1987.

MEHRA, J.; RECHENBERG, H. **The Historical Development of Quantum Theory**. Vol. 6, Part 2: The Conceptual Completion and the Extensions of Quantum Mechanics. New York, Springer, 2001.

MOORE, W. J. **Schrödinger, Life and Thought**. Cambridge: Cambridge University Press. 1989.

MURR, C. E. **Física quântica e objetividade científica**: algumas ideias filosóficas de Erwin Schrödinger. 2010. 162 f. Dissertação (Filosofia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MURR, C. E. Muitos mundos e a interpretação ondulatória: revendo a conexão à luz da filosofia schrödingeriana. **Principia**, v. 19, n. 3, p. 343–361, 2015.

PAIS, A. **Inward Bound: of matter and forces in the physical world**. Clarendon Press, 1988.

PESSOA JR., O. **Conceitos de Física Quântica**. 1 ed., vol. 1. São Paulo: Editora Livraria de Física, 2003.

REITER, W. L.; YNGVASON, J. **Erwin Schrodinger - 50 Years After**, ESI Lectures in Mathematics and Physics, Euroepan Mathematical Society Publishing House, 2013.

RENN, J. Schrödinger and the genesis of wave mechanics. In.: REITER, W. L.; YNGVASON, J. **Erwin Schrödinger - 50 Years After**. ESI Lectures in Mathematics and Physics. European Mathematical Society, 2013. p. 9-36.

ROSA, C. A. P. **História da ciência**: a ciência e o triunfo do pensamento científico no mundo contemporâneo. 2. ed. Brasília: FUNAG, v. 3, 2012.

SAKURAI, J. J. **Mecânica Quântica Moderna** / Sakurai J. J., Jim Napolitano; tradução técnica: Sílvio Renato Dahmen. – 2. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

SCHRÖDINGER, E. Quantisierung als Eigenwertproblem. **Annalen der Physik**, 384, 4, p. 361–376, 1926a.

SCHRÖDINGER, E. Der stetige Übergang von der Mikro- zur Makromechanik. **Naturwissenschaften**, v. 14, n° 28, p. 664–666, 1926b.

SCHRÖDINGER, E. Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Quantenmechanik zu der meinen. **Annalen der Physik**, v. 4, n° 79, p. 734-756. 1926c.

SCHRÖDINGER, E. An Undulatory theory of the mechanics of atoms and molecules. **The Physical Review**, v. 28, n° 6, p.1049-1070, dez. 1926d.

SCHRÖDINGER, E. On the relation between the quantum mechanics of Heisenberg, Born and Jordan and that of Schrödinger. In: **E. Schrödinger, Collected papers on quantum mechanics** (Blackie & Son, London and Glasgow), 1928.

SCHRÖDINGER, E. **Conceptual Models in Physics and their Philosophical Value**. In: **Science and the Human Temperament**. Tradução de J. Murphy. London: George Allen & Unwin Ltd. p. 119–38, 1935.

SCHRÖDINGER, E. Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik. **Naturwissenschaften** 23: p.807-812; 823-828; 844-849, 1935.

SCHRÖDINGER, E. **Are there quantum jumps?** *British Journal for the Philosophy of Science* 3, 109–123, 233–242. 1952.

SCHRÖDINGER, E. 1992. Fragmentos Autobiográficos. In: **“O que é Vida? O aspecto físico da célula viva” seguido de ‘Mente e Matéria’ e ‘Fragmentos Autobiográficos’**, p. 177-192. Tradução do inglês por: ASSIS, J. P. e ASSIS, V. Y. K. P. Cambridge e São Paulo: Cambridge University Press e Editora Unesp, 1960.

SCHRÖDINGER, E. **A natureza e os gregos seguido de ciência e humanismo**. Lisboa. Edições 70, 1996.

SILVA, V. C. A Filosofia da Natureza de Erwin Schrödinger. **Ensaio Filosófico**, v. 4, 2011.

SOUZA, R. S. **Análise de uma proposta didática para o ensino da mecânica quântica por meio de contextualização histórica na formação de professores de física**. 2020. 352 f. Tese (Doutorado) - Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.