

Estado da publicação: Não informado pelo autor submissor

# ONTOLOGIA QUÂNTICA: A Interpretação Ermergentista e a Hipótese de Cordovil

Vinícius Carvalho da Silva

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.6285>

Submetido em: 2023-06-20

Postado em: 2023-06-26 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

# ONTOLOGIA QUÂNTICA

## *A Interpretação Emergentista e a Hipótese de Cordovil<sup>1</sup>*

### *Quantum Ontology*

#### *The Emergentist Interpretation and the Cordovil Hypothesis*

Prof. Dr. Vinícius Carvalho da Silva

*Physikós*

Estudos de História e Filosofia  
da Física e da Cosmologia

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

vinicius\_c\_silva@ufms.br

<https://orcid.org/0000-0002-1061-2727>

**Resumo:** Em Para uma interpretação emergentista do problema da medição; uma hipótese de trabalho, o filósofo da física português, João Luis Cordovil realiza com elegante simplicidade e didatismo uma tarefa que está longe de ser das mais fáceis, a saber, a de introduzir o leitor ao estado da arte de um campo de pesquisa de alta expertise, e o de contribuir para a literatura especializada acrescentando algo de novo ao debate, fazendo, portanto, avançar em alguma medida as fronteiras do conhecimento. A questão apresentada e enfrentada por Cordovil, é, como o próprio autor adianta já no resumo do trabalho, o grande, ou talvez o “único problema” da Mecânica Quântica: o problema da medição. Nesse texto, analisamos a proposta de uma ontologia emergentista como hipótese para solução do problema da medição em MQ.

**Palavras chave:** Ontologia quântica, Função de Onda, Equação de Schrödinger, Problema da Medição, Interpretações da Mecânica Quântica

**Abstract:** In Para uma interpretação emergentista do problema da medição; uma hipótese de trabalho, the Portuguese philosopher of physics, João Luis Cordovil accomplishes with elegant simplicity and didacticism a task that is far from being the easiest, namely, to introduce the reader to the state of the art of a field of research of high expertise, and to contribute to the specialized literature by adding something new to the debate, thus advancing in some measure the frontiers of knowledge. The question presented and faced by Cordovil, is, as the author himself states in the abstract of the work, the great, or perhaps the “only problem” of Quantum Mechanics: the problem of measurement. In this text, we analyze the proposal of an emergentist ontology as a hypothesis to solve the measurement problem in QM

**Keywords:** Quantum Ontology, Wave Function, Schrödinger Equation, Measurement Problem, Interpretations of Quantum Mechanics

---

<sup>1</sup>Comentário a “Cordovil, J. L. (2023). Para uma Interpretação Emergentista do Problema da Medição: Uma hipótese de trabalho. *Perspectivas*, 7(2), 139–155. <https://doi.org/10.20873/rpv7n2-47>” pelo Seminário Physikós de Filosofia da Física e da Cosmologia, em 25 de Maio de 2023.

Em *Para uma interpretação emergentista do problema da medição; uma hipótese de trabalho*, o filósofo da física português, João Luis Cordovil realiza com elegante simplicidade e didatismo uma tarefa que está longe de ser das mais fáceis, a saber, a de introduzir o leitor ao estado da arte de um campo de pesquisa de alta *expertise*, e o de contribuir para a literatura especializada acrescentando algo de novo ao debate, fazendo, portanto, avançar em alguma medida as fronteiras do conhecimento.

A questão apresentada e enfrentada por Cordovil, é, como o próprio autor adianta já no resumo do trabalho, o grande, ou talvez o “único problema” da Mecânica Quântica, o problema da medição. Entendemos a colocação do autor. Claro que existem, entre aspas, outros problemas filosóficos, tanto de ordem ontológica e epistemológica, quanto de ordem lógico-semântica na filosofia da mecânica quântica, como o da natureza das entidades quânticas, os limites e pretensões dos modelos e teorias científicas enquanto sistemas fechados de enunciados de mecânica quântica, o problema de como interpretar o princípio de incerteza de Heisenberg. Tal abundância de tópicos e subtópicos, e a gama de possibilidades epistemológicas e hermenêuticas, por assim dizer, dá azo a proliferação de interpretações da MQ.

Alguns autores se restringem a 6 interpretações, outros, multiplicam esse número no mínimo por dez, e contabilizam mais de 60. Ao fim e ao cabo, Cordovil nos parece correto, e isto, nos permitindo o trocadilho, não por que esses outros problemas de filosofia da MQ possam ser reduzidos ao problema da medição, mas por que talvez emerjam dele. Se resolvêssemos o problema da medição, se não todos, ao menos uma grande parte dessas questões também se dissolveria.

O problema da medição, nos sugere o autor, pode ser entendido de diversos modos:

1. Qual é a natureza [do estado] de um sistema quântico – ou como podemos descrever um sistema quântico – entre dois eventos, A e B, de medição?
2. Como se dá a transição de um estado de sobreposição quântica para um estado clássico bem definido?
3. Assumindo que tal transição se dê por meio de um evento  $E$  não-local de “colapso da função de onda”, o que o provoca?

Cordovil nos adverte para “uma vasta gama de opções” de candidatas a soluções para o problema áureo da MQ e nos chama a atenção para o fato de que a maioria das soluções assume como pressuposto que a mecânica quântica é universalmente aplicável a todos os sistemas físicos. Penso que tal pressuposto seria uma re-formulação particular do princípio da relatividade aplicado à MQ: *As leis da mecânica quânticas são as mesmas em todos os sistemas físicos S, em que descrevemos a evolução temporal do vector de estado  $\phi$  determinado pela equação de Schrödinger em um espaço de Hilbert.*

A proposta de Cordovil em sua hipótese de trabalho possui dupla face. Por um lado, coloca em xeque o “pressuposto da universalidade”, por outro, postula uma ontologia emergentista, de acordo com a qual as entidades clássicas não devem, *strictu sensu*, ser reduzidas às entidades quânticas. Em nosso entendimento do autor, diríamos que seria mais correto considerar uma ontologia em que de um campo quântico de possibilidades emergem entidades físicas clássicas.

Dentre os diversos formalismos da MQ, considerando a axiomatização canônica de Dirac-von Neumann como referência, Cordovil opta por trabalhar com os cinco axiomas de Jammer, de acordo com os quais, em síntese<sup>2</sup>:

- a. A MQ é completa – o estado de um sistema quântico S corresponde a um a uma função de onda em um espaço vectorial e a função de onda descreve completamente S [Axiomas I-II].
- b. Os sistemas quânticos evoluem deterministicamente segundo a equação de Schrödinger e estão, “em geral, em estado de sobreposição” entre medições, e em estado clássico durante – ou “após” – as medições [Axiomas I-IV].
- c. Por ocasião da medição, ocorre uma transição “instantânea, irreversível e não linear”, de  $\phi$  para  $\kappa$ , em que  $\phi$  é o estado quântico e  $\kappa$  é o estado clássico. Sendo assim, uma transformação não-local de  $\phi$  em  $\kappa$  corresponde ao chamado “colapso da função de onda”.

---

<sup>2</sup> Para consultar os axiomas completos no original, ver JAMMER, Max. **The Philosophy of Quantum mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective.** John Wiley & Sons: New York, 1974, p. 5.

Por evento não-local ou por não-localidade quântica, entendo, no escopo desse trabalho, a propriedade de sistemas quânticos colapsarem simultaneamente no ato de medida. O termo se refere ao colapso não-local de entidades quânticas emaranhadas.

Os axiomas de Jammer dividem-se em duas partes. No primeiro conjunto, os axiomas I-IV descrevem um sistema físico como a sobreposição de estados quânticos observáveis com determinado valor de probabilidade, no conjunto 2, o axioma V narra a transformação abrupta desse sistema físico quântico em um sistema físico clássico. Cordovil é claro, em meu entendimento, ao mostrar como para von Neumann o problema da mudança – ou da evolução linear ou não-linear dos sistemas físicos – é, por assim dizer, o centro heurístico do problema da medição. Conforme von Neumann há dois tipos de mudança. A mudança 1 corresponde à passagem descontínua de um sistema A para B, a mudança 2 seria a evolução contínua, temporal e linear de um sistema.

O problema da medição, portanto, no formalismo de von Neumann, prossegue Cordovil, decorre da diferença de natureza desses dois tipos de mudança. Relacionando os tipos de mudança descritos por von Neumann com os axiomas de Jammer para a MQ, temos que se a primeira parte dos axiomas é igual  $a^1$  e a segunda a  $a^2$ , e a mudança 1 é igual a  $m^1$  e a mudança 2 a  $m^2$ , então, podemos dizer que:

$$(a^1 \equiv m^2) . (a^2 \equiv m^1)$$

ou, conforme Cordovil, o tipo de evolução ou mudança presente nos axiomas I-IV é o de mudança “contínua, temporal, reversível, causal e linear” e o tipo de evolução ou mudança assumido pelo axioma V é “descontínuo, instantâneo, irreversível, não-linear”. Há, portanto, nas palavras do autor, uma “tensão interna entre os axiomas I-IV e o axioma V”.

Em sentido físico essa tensão representa a enigmática, nebulosa e problemática passagem, no ato de medição, da realidade quântica entre-medidas para a realidade clássica inter-medida. Em sentido ontológico é como se o evento de medição, alterasse, de modo não-local, a natureza da *res* medida. Ora, mas se a teoria quântica é universal, e portanto válida para todos os sistemas físicos, por que não observamos sobreposição nos sistemas medidos, ou nas formulações de Ladyman, Ross, Maudlin, Myrvold e tantos outros, se “*A teoria quântica é uma descrição completa da realidade [e, portanto] é, em princípio, aplicável a todos os sistemas físicos*” então porque, nas palavras de Cordovil, “em resultado de uma medição, um sistema em ‘sobreposição quântica’ se ‘transforma’ em um sistema em um estado bem definido?”.

O problema da medição nos leva aos limites lógicos da contradição, pois ou bem o Axioma V de Jammer e a Mudança 2 de von Neumann são o caso, ou bem o postulado 2 de Ladyman & Ross é o caso. Dito de outra forma, ou a mecânica quântica é uma descrição completa da realidade (Postulado da universalidade da MQ) ou no ato de medição há um colapso da função de onda, donde resulta um sistema físico clássico, sem sobreposição de estados, e, portanto, não-quântico.

Eis a natureza dramática do problema da medição. O problema não está somente na coexistência de dois níveis de realidade, mas no colapso, na implosão não-local na velocidade de um *fiat-lux*, de um nível em outro. Cordovil explica didaticamente, de modo simples e claro, algumas tentativas de enfrentamento do problema da medição, como a de von Neumann que pressupõe que tal passagem só pode ser explicada à luz da introdução de um “sujeito da medição” no sistema físico descrito pelo que chamarei de *res-medida* + aparato de medição.

O que é assumido pelo Axioma V só ocorre quando o sistema quântico como um todo é dado pela soma do que chamarei, nesse trabalho, de *res-medida* + *res-medidora* + sujeito da medição. Para von Neumann, o sujeito da medição não pode ser uma máquina, um computador, etc. Nas palavras de Cordovil, “Von Neumann é levado a considerar que a transformação irreversível do estado do sistema medido seria devido à consciência do observador”. Isto é, “seria a consciência [ou a tomada de consciência] do observador que levaria ao colapso da função de onda”. Interpretação muito próxima daquela desenvolvida por Eugene Wigner.

Outras tentativas de solução do problema da medição seriam não menos radicais, como a de Everett, que nega o colapso da função de onda, mas ao preço de admitir a função de onda do universo, e portanto, a realidade física dos muitos mundos sobrepostos resultantes. Na teoria de De Broglie-Bohm, nos diz Cordovil, “A MQ não descreve inteiramente os sistemas quânticos”, sendo, portanto, incompleta. Encontramos aqui os ecos do debate entre Einstein e Bohr, e as razões de trabalhos como, por exemplo, o do paradoxo EPR. Einstein, um dos fundadores da teoria quântica com seu artigo sobre o efeito fotoelétrico e a quantização da luz passou décadas defendendo que a mecânica quântica, tal como interpretada pela ortodoxia de Copenhagen, não poderia ser considerada uma teoria física completa. Outra classe de interpretações seria a GRW, Ghirard-Rimini-Weber, com variantes, que negam o colapso abrupto e defendem um “colapso suave devido a um processo contínuo”.

Se pensarmos nos axiomas de Jammer, nos tipos de mudança de von Neumann e no trilema do Problema da Medição, colocando-os lado a lado com as interpretações candidatas a soluções para o Problema da Medição, veremos que a Interpretação dos Muitos Mundo de Everett rejeita o Axioma V, a Mudança 1, e o postulado I. do trilema, a saber, “Todas as medições tem resultados únicos”. A Interpretação de De Broglie-Bohm rejeita o postulado 2 do trilema, “a descrição da mecânica quântica da realidade é completa”, e por fim, a classe GRW nega o postulado 3 do trilema, a saber, “A única evolução temporal para sistemas quânticos está de acordo com a equação de Schrödinger”.

O que tais possíveis soluções possuem em comum é o fato de defenderem um “realismo da função-de-onda. Nas palavras de Cordovil, para tais abordagens “A função de onda não seria um mero dispositivo formal, mas uma representação matemática de uma onda real ou de um campo que seria o fundamento da realidade quântica.

Penso que o artigo de Cordovil pode ser dividido, grosso modo, em duas partes. Na primeira o autor, com concisão e clareza conceitual, recorrendo com desenvoltura pela literatura especializada da área, nos apresenta um breve panorama do estado da arte do problema da medição. Na segunda parte o autor começa a esboçar sua hipótese de trabalho. Para tanto, antes da construção de um novo edifício, por mais inicial que seja a etapa da obra, se faz necessário limpar o terreno, removendo as pedras no meio do caminho.

Quais teses, doutrinas metafísicas, postulados, conceitos, representam obstáculos desnecessários, dos quais devemos nos desvencilhar? No caso concreto, o autor irá romper tanto com o reducionismo ontológico em física, que pode ser bidirecional (bidirecional porque podemos tentar reduzir o nível clássico ao quântico ou o quântico ao clássico, o que nos parece menos comum) quanto com o postulado da universalidade da mecânica quântica. Cordovil considera que “É uma herança atomística supor que as teorias físicas fundamentais – isto é, as teorias sobre as entidades mais simples mereológicas – se aplicam a todos os domínios físicos”. Dito de outro modo, seria uma herança filosófica atomista pressupor que o mais complexo deva ser reduzido ao mais simples, que a natureza última da realidade, o que é ontologicamente fundamental, é o que há de mais básico e elementar, e, portanto, primeiro e “original”, na hierarquia dos entes.

Penso que a herança é mais antiga e mais geral. Gostaria de perguntar ao autor se a redução da realidade fenomênica sensível, plural e complexa, a causas únicas, simples

e inteligíveis, não é somente típica do atomismo de Newton, mas da própria cosmologia grega desde os Jônios. Tomando como referência a “Evolução da Física” de Einstein e Infeld e “A Natureza e os Gregos” de Schrödinger, a característica fundamental da filosofia natural, da física dos filósofos antigos à filosofia dos físicos modernos, é a busca pela unificação do real, unidade que seria conquistada quando da plena redução do mais complexo ao mais simples.

Quando em sua hipótese de trabalho Cordovil questiona se “deveríamos supor que todos os domínios físicos da realidade são redutíveis a um outro” ele não estaria apontando para um caminho que rompe não somente com a herança tradicional da metafísica atomista, mas com o grande projeto de unificação que marcaria, em tese, a própria história da física? Entendo que não há ônus se for o caso. O autor estaria, ainda que com todo o cuidado e prudência possíveis, filiando-se a um empreendimento de vulto, que, no fim das contas, seria algo como uma “Revolução Copernicana” no cerne do próprio ideal que move a ciência natural.

O que Cordovil – com as devidas vênias de quem está a apresentar uma hipótese a ser desenvolvida – propõe é rejeitar o reducionismo e o postulado da universalidade da MQ em nome da “emergência ontológica”. Por “emergência ontológica” ele considera “o aparecimento de uma nova entidade com uma nova propriedade, comportamento ou lei, que é relativamente autônoma e não é completamente redutível” à base que a compôs ou gerou. Sendo assim, embora uma entidade  $y$  qualquer seja proveniente de uma base composicional ou geracional  $Y$ ,  $y$  representa, em relação a  $Y$ , uma “novidade qualitativa”, possuindo, deste modo, um “estatuto ontológico próprio”.

A base composicional  $Y$  – enquanto “fundamento ontológico” de  $y$  – é uma condição necessária para a emergência ontológica de  $y$ , mas o vir-a-ser de  $y$  modifica qualitativamente o cômputo geral da realidade, pois possui propriedades peculiares ausentes em  $Y$ . Por forçosa analogia, assumamos que o romance, em linguagem escrita, “Os Maias”, esse clássico da literatura universal, é a base composicional do qual o filme ou a série “Os Maias” emerge. O livro é necessário para que haja o filme, mas o filme possui novidades qualitativas múltiplas, de modo que sua ontologia é diferente daquela de seu campo geracional.  $Y \neq y$ .

Na ontologia emergentista, as entidades clássicas possuiriam propriedades, como posição, qualitativamente diferentes das propriedades das entidades quânticas, como entrelaçamento, emaranhamento, sobreposição, não-localidade. Logo, no ato de medida não haveria qualquer colapso de um nível de realidade em outro, não haveria a implosão

ontológica da realidade quântica em realidade clássica. Cordovil aproxima o emergentismo do Realismo Estrutural Ontológico que assume que “as entidades quânticas têm uma natureza ontológica relacional”. Ora, “o conjunto de relações que especificam a identidade das entidades quânticas”, nos diz o autor, é distinto do “conjunto de relações que especificam as entidades clássicas”. Deste modo, medir não é colapsar a realidade física em realidade quântica, conforme o Axioma V de Jammer e a Mudança 1 de von Neumann. Medir é trans-formar, é promover um vir-a-ser, isto é, a emergência de novas entidades com propriedades qualitativamente novas.

Cordovil, propõe para o problema da medição, uma nova abordagem: “emergentista, relacional e transformacional”. Ao fazê-lo, se desvencilha da incômoda contradição entre o postulado da universalidade da MQ e o colapso da função de onda. Se bem entendi a hipótese, a jogada é magistral no sentido de superar a dicotomia entre A e B como se tratasse, de fato, de um falso problema. Nem a MQ é uma descrição completa da realidade, pois possui uma ontologia própria, ao passo que os sistemas físicos clássicos são ontologicamente autônomos em relação a ela, e nem há “Colapso da Função de Onda”, por que o que ocorre na medição não é um ato de redução ontológica ou de seleção natural física, mas um evento de emergência de um sistema físico com suas propriedades específicas, tais como posição, isto é, localização, não-sobreposição etc.

Para Cordovil, combinando a ontologia emergentista com o Realismo Estrutural Ontológico, “as propriedades clássicas seriam atributos estruturais emergentes de redes macroestruturadas específicas, frutos de relações transformativas e interdependentes entre as partes do sistema integrado”. A proposta parece arrojada e o programa de pesquisa promissor. Evidentemente, e o autor sabe se justificar, uma hipótese de trabalho não é uma tese final, em pleno grau de maturidade. Há trabalho e isso é bom. Uma questão que me parece fulcral e que deixo ao autor, é saber se a hipótese emergentista está a salvo do risco filosófico de substituímos um problema por outro. Não poderíamos enfim perguntar “O que há, na natureza da medição, que desencadeia a emergência?”, ou, formulando de outro modo, “Por que entre as medições é o caso a ontologia quântica e após a medição a ontologia clássica?”, o que desencadeia, de facto, a emergência das novas entidades e suas propriedades? Se tais perguntas carecerem de sentido o problema da medição terá encontrado, no emergentismo, a sua solução.

**Conflito de Interesses:** O autor declara não ter qualquer conflito de interesse, em potencial, neste estudo e assume responsabilidade total pelo conteúdo do artigo.

## Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.