

# **Teleporte: uma análise conceitual e filosófica como contribuição para o Ensino de Ciências.**

## **Teleportation: a conceptual and philosophical analysis as a contribution to science education**

**Carlos Roberto Senise Junior**

UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema  
carlos.senise@gmail.com

**José Bento Suart Júnior**

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana  
suart@bol.com.br

### **Resumo**

A Teoria Quântica traz uma série de questionamentos acerca da construção de conhecimento científico quando verificamos as imposições epistemológicas impostas pelos seus objetos de estudo e estrutura conceitual. Tais questionamentos são parte integrante da construção de uma imagem acerca da Ciência em cursos de Licenciatura. Neste trabalho, analisa-se o conceito de teleporte e suas consequências filosóficas. A ideia de uma natureza ontológica está no cerne das discussões acerca do tema, cuja principal questão se dá na transmissão de informação quântica. Os limites entre Clássico e Quântico se entrelaçam e questões acerca das consequências do teleporte humano mostram a abrangência e importância do tema.

**Palavras Chave:** emaranhamento quântico, epistemologia, teleporte.

### **Abstract**

Quantum theory brings a vast number of questions concerning the construction of scientific knowledge when we see the epistemological constraints imposed by its objects of study and conceptual framework. These questions are an integral part in the construction of a picture about science in undergraduate courses. This article analyzes the concept of teleportation and its philosophical consequences. The idea of an ontological nature is at the heart of discussions about the subject, whose main issue is the transmission of quantum information. The boundaries between Classical and Quantum intertwine and questions about the consequences of human teleportation show the scope and importance of the topic.

**Key words:** quantum entanglement, epistemology, teleportation.

## Introdução

A Teoria Quântica é uma poderosa ferramenta no entendimento das relações energéticas e estruturais quando se trabalha com a natureza microfísica. Mas, a adoção de uma estruturação quântica para a Ciência recai sobre a rigidez creditada ao Método Científico, ao dado empírico e à visão determinista de Ciência.

Defende-se que se a construção de um conhecimento científico contextualizado, construção social e humana, de caráter não positivista, é um dos objetivos da pesquisa em Ensino de Ciências, então esta também “é” a busca dos documentos oficiais. Os tópicos de Mecânica Quântica (MQ) representam as limitações das concepções clássicas de Ciência, abrindo espaço para discussões referentes aos limites do conhecimento científico e para a sua divulgação através da linguagem cotidiana.

Em uma revisão da literatura referente aos tópicos de ensino de MQ, Greca e Moreira (2001) e Ostermann e Moreira (2000) se deparam com problemas semelhantes. As análises e metodologias desenvolvidas e apresentadas, até a época dos levantamentos, além de serem escassas, geralmente encontram-se desprovidas de referenciais teóricos. Ostermann e Moreira (2000) concluem ainda que a área necessita de um amadurecimento nas linhas de pesquisa referentes ao ensino de MQ no ensino médio.

Nos dois levantamentos bibliográficos constata-se a dificuldade de abordagem por parte dos professores no desenvolvimento do tema em sala de aula. Geralmente, a complexidade envolvida no que concerne à teoria como desenvolvimento científico-filosófico não é abordada, assim como o desafio epistemológico inerente à MQ, quanto à ruptura com os conceitos clássicos, geralmente utilizados nas tentativas de transposição didática. Os dois levantamentos trazem importantes justificativas para o ensino do tema, tanto no ensino médio quanto no ensino superior. As justificativas apresentadas consideram o despertar da curiosidade dos alunos, a contextualização dos temas atuais em Física, a possibilidade de atração para as carreiras científicas, a conexão do estudante com sua própria história, as consequências tecnológicas da MQ, etc.

O panorama encontrado permite esclarecer dúvidas, mas ao mesmo tempo abre espaço para o aprofundamento em questões mais gerais, como reconhecer na História e Filosofia da Ciência um potencial inequívoco para a compreensão das questões inerentes à construção da teoria, para conceber possíveis trajetórias de transposição destes problemas no processo de ensino-aprendizagem. No entanto, mostra que os elementos conceituais e filosóficos geralmente não estão associados às atividades propostas para o ensino de MQ.

Neste sentido, este trabalho traz o problema epistemológico colocado pelo fenômeno de teleporte. Ao abordarmos o conceito dentro dos problemas epistemológicos contidos em sua estruturação, esperamos contribuir para o ensino de MQ, colocando o tema, sua análise e as contribuições desta análise para o Ensino de Ciências.

## Desenvolvimento do tema

"Me teletransporte, Scotty" dizia o Capitão James T. Kirk na série Jornada nas Estrelas. Automaticamente, e mais do que isso, naturalmente, o comandante da “Enterprise” aparecia no local desejado em toda sua integridade física. Massa e natureza eram enviados através do espaço-tempo mantendo as mesmas características do estado inicial. Sabemos, contudo, que as atuais condições tecnológicas ainda nos impedem de um transporte como o proposto pelo

aparato usado na nave espacial. No entanto, as questões teóricas acerca do tema já muito avançaram e expõem um quadro de integridade matemática e de ricas questões epistemológicas.

Se a existência de uma realidade objetiva, possivelmente descrita pelas funções matemáticas propostas pela Física foi o auge dos debates durante a construção da Teoria Quântica, o que se dizer então do transporte através do espaço-tempo?

Bohr e Einstein travaram debates durante a construção da Teoria Quântica excepcionalmente pelas questões levantadas pela Complementaridade e pelo Princípio de Incerteza de Heisenberg. Num mesmo fenômeno, uma descrição no espaço e no tempo junto às leis de conservação de momento e de energia seria impossível, justificada essencialmente pelo Princípio de Incerteza de Heisenberg.

Porém, todo este aparato conceitual levantou sérias discussões na comunidade científica. Em 1927, durante a V Conferência de Solvay, Einstein e Bohr protagonizaram grandes debates acerca das interpretações da nova teoria e de suas conseqüências filosóficas. Para Einstein, Deus não jogaria dados (FREIRE e CARVALHO NETO, 1997). O Princípio de Complementaridade justificava a coexistência de imagens contrastantes ao justificar a necessidade de se evidenciar a relação entre o experimento e o sistema alvo do mesmo nos fenômenos de natureza quântica. Assim, o dado obtido passa a ser necessariamente conseqüência e elemento da descrição do experimento, já que a interação do aparato em relação ao sistema provocaria diferentes resultados dependendo do esquema a ser utilizado. Justifica-se então o comportamento ondulatório para o problema de dupla fenda em contradição com o comportamento corpuscular do efeito foto-elétrico.

Einstein propôs diversos experimentos que evidenciariam inconsistências na teoria, entre eles, o famoso Experimento EPR, através do qual denota a incompletude da MQ, ou seja, a necessidade de variáveis ocultas. Para Einstein, objetos quânticos que provêm de uma origem comum, ou seja, que interagiram anteriormente, deveriam ter independência. Além disso, uma medida interferir em outra espacialmente afastada consistiria em um tipo de ação fantasma à distância, que violaria a relatividade, já que esta interferência seria dada instantaneamente. A exemplo disso, pode-se citar a medição do spin de dois elétrons que inicialmente interagiram localmente. Após sua separação, segundo Einstein, não seria concebível que uma medida interferisse na outra, de tal forma que os spins tivessem sentidos opostos. A resposta de Bohr foi de que as condições propostas no experimento eram conflitantes, determinando então a “totalidade” essencial da MQ.

A ideia de estados emaranhados concebendo uma ação fantasma à distância com velocidade superior à da luz foi o cerne das questões levantadas por Einstein, Podolsky e Rosen. Assim, questões de quase um século atrás, referentes à natureza do conhecimento e aos limites da descrição total da realidade ainda permanecem atuais. Porém, as concepções de senso comum acerca do teleporte encontram-se desprovidas tanto de natureza conceitual quanto filosófica. Um esclarecimento acerca destas questões faz-se necessário, tendo em vista a riqueza do assunto para abordagens de conceitos físicos, assim como de elementos de Filosofia da Ciência.

No que segue, mostraremos como as questões levantadas pelo paradoxo EPR ainda mantêm-se dentro do quadro conceitual do teleporte e como diferentes interpretações filosóficas nos levam a diferentes ideários em relação à busca da Ciência.

## Emaranhamento Quântico e Natureza do Conhecimento

O emaranhamento quântico é uma propriedade de estados quânticos de dois ou mais objetos, na qual os estados dos objetos constituintes estão conectados de tal forma que o estado de um dos objetos não pode ser descrito separadamente dos estados dos outros objetos, mesmo que estes estejam espacialmente separados. Esta interconexão produz correlações não-clássicas entre propriedades físicas observáveis do sistema global, chamadas de correlações não-locais.

Tal propriedade, sem análogo clássico, levou Einstein, Podolsky e Rosen (1935) a formular o famoso paradoxo que leva seus nomes (EPR) e que afirma que esta aparente não-localidade (ou ação à distância) é uma manifestação do fato de que a MQ é uma teoria incompleta. Por outro lado, os testes experimentais realizados até hoje comprovam com muita precisão as previsões da MQ e as correlações acima são de fato observadas.

Ainda neste sentido, em uma primeira análise, observações de estados emaranhados parecem violar o princípio da relatividade, de que a informação não pode ser transferida mais rapidamente do que a velocidade da luz. Mesmo que sistemas emaranhados pareçam interagir através de largas distâncias espaciais, acredita-se que nenhuma informação possa ser transmitida desta forma e, mesmo que não possa ser transmitida apenas através do emaranhamento, é possível transmitir informação usando-se um conjunto de estados emaranhados juntamente com um canal de informação clássica. Este processo é chamado de teleporte quântico (TQ) (BENNETT *et al*, 1993). O teleporte não transporta energia ou matéria, nem permite comunicação de informação a uma velocidade superluminal e sua principal característica é a de transmitir informação presente em uma superposição quântica.

Do ponto de vista de primeiros princípios, o TQ está fundamentado em dois aspectos básicos da MQ: o emaranhamento quântico e o teorema de não-clonagem (WOOTTERS e ZUREK, 1982; DIEKS, 1982), que mostra ser impossível realizar um aparato quântico que tem como função clonar estados quânticos desconhecidos.

Basicamente, o TQ transfere um estado quântico de um local a outro, através de um processo que: 1) primeiramente destrói o estado a ser teleportado, extraindo-se informação suficiente para recuperá-lo ao final; 2) transmite a informação adquirida de um local a outro; 3) reconstrói o estado no local de destino, através da informação recebida. Desta forma, o estado original é destruído no processo, respeitando o teorema de não-clonagem, e uma réplica exata deste estado é criada no local de destino. O que é transmitido de fato no processo é a informação a respeito do estado quântico original e não o estado em si, ou seja, não há nenhuma transmissão de matéria ou de energia.

Este processo é realizado através de um protocolo, resumidamente descrito da seguinte forma: deseja-se teleportar o estado desconhecido de um *qubit*  $|\varphi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$ , onde  $a$  e  $b$  são números complexos, do local A ao local B. Para isto, Alice, que está no local A, de posse do *qubit*  $|\varphi\rangle$ , compartilha um estado emaranhado  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$  com Bob, que está no local B. Através de uma medida em uma base especial de estados emaranhados (base de Bell) em A, que destrói o estado inicial em A, Alice pode obter, com probabilidades iguais de  $\frac{1}{4}$ , um dos pares de bits clássicos:  $\{00, 01, 10, 11\}$ . Feita esta medida, Alice transmite, através de um canal de comunicação clássico, o par de bits a Bob e, dependendo da informação recebida, este então aplica uma transformação conveniente ao *qubit* em sua posse, obtendo assim o estado inicial  $|\varphi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$ . Ou seja, através da destruição do estado inicial em A e de uma transferência de informação clássica de A para B, foi possível reconstruir em

B o estado inicial destruído em A, sem qualquer menção à possibilidade de o estado inicial ter atravessado o espaço entre A e B.

Imediatamente, uma questão interessante se apresenta no processo de TQ: pelo fato de os coeficientes  $a$  e  $b$  em  $|\varphi\rangle$  serem números complexos quaisquer, uma grande quantidade de informação seria necessária para reproduzir este estado, porém, como visto acima, apenas dois bits de informação clássica transmitidos de um local a outro são suficientes para fazê-lo.

## Quatro possíveis interpretações filosóficas

Desta forma, vejamos como algumas interpretações da MQ descrevem o processo de TQ (TIMPSON, 2006): 1) *Colapso da função de onda* (DIRAC, 1947; VON NEUMANN, 1955): a medida realizada por Alice em A faz com que o sistema de Bob em B colapse, isto é, tem-se um efeito não-local (ação à distância), causando uma alteração real das propriedades físicas do sistema em B. Posteriormente, através da transmissão da informação clássica de A até B, Bob pode saber qual transformação realizar em seu *qubit*, obtendo então o estado inicial  $|\varphi\rangle$ ; 2) *Interpretação de Everett (muitos mundos)* (EVERETT, 1957): nesta interpretação, não há ação à distância, pois não existe colapso da função de onda. A dinâmica ocorre através de interações unitárias, onde sistema e aparato de medida estão correlacionados. Assim, a medida realizada por Alice em A seleciona um estado definido em B, relacionado ao resultado da medida em A. O estado do sistema total é um autoestado do sistema A + B + aparato de medida, que estão emaranhados e, após receber a mensagem clássica de Alice, Bob desemaranha seu sistema, obtendo então o estado inicial  $|\varphi\rangle$  que, contudo, só poderá ser observado em B; 3) *Interpretação de Bohm (variáveis ocultas)* (BOHM, 1952): o estado inicial  $|\varphi\rangle$  em A possui um vetor de spin  $S(a, b)$  que depende dos coeficientes  $a$  e  $b$ . A medida realizada por Alice em A emaranha os sistemas A, B e aparato de medida e a função de onda total é agora uma superposição de quatro termos, que são os quatro resultados possíveis da medida em A e, para cada um destes termos, o sistema B terá um vetor de spin definido  $S^i(a, b)$ ,  $i = 1, \dots, 4$ . Quando um dos quatro termos torna-se ativo (pela medida em A), o sistema B instantaneamente (aspecto não-local) muda para um dos vetores de spin  $S^i(a, b)$ . Após Alice transmitir a mensagem clássica para Bob, este realiza a operação unitária necessária, desemaranhando seu sistema e obtendo o estado inicial  $|\varphi\rangle$ , com vetor de spin  $S(a, b)$ ; 4) *Interpretação estatística*: nesta interpretação, o colapso da função de onda não corresponde a nenhum processo físico real e o formalismo quântico descreve apenas ensembles (conjuntos de partículas), não fazendo menção a sistemas individuais. Desta forma, Alice precisa teleportar todos os membros de um ensemble no estado  $|\varphi\rangle$ . Após enviar a mensagem clássica a Bob, o ensemble em B estará no estado  $|\varphi\rangle$ , ou seja, a estatística de medidas em B será a mesma das medidas iniciais do ensemble em A.

Assim, o TQ é um processo quântico importante tanto do ponto de vista de fundamentos quanto na compreensão da ligação cada vez mais evidente entre a MQ e o conceito de informação. Algumas interpretações, baseadas neste conceito, foram propostas. Uma delas, a *interpretação de Zeilinger* (ZEILINGER, 1999), vem sendo muito estudada, principalmente pelos instrumentalistas, devido ao fato de propor um princípio fundamental para a MQ baseado no conceito de informação. Nesta interpretação, objetos físicos não existem *per se* e são apenas construções das impressões sensoriais, ou seja: “um sistema elementar representa o valor de verdade de uma proposição”, ou, de uma forma relacionada com teoria da

informação: “um sistema elementar carrega apenas um *bit* de informação”. Por proposição Zeilinger entende uma pergunta experimental, ou seja, pode-se ainda dizer que “o estado de um sistema elementar especifica a resposta para um único experimento do tipo sim/não”.

Portanto, o ensino de MQ tendo como referencial os “paradoxos” e fenômenos advindos dos estados emaranhados e sua aplicação no teleporte quântico fornece uma excelente “arena” para a discussão e reflexão sobre aspectos fundamentais da teoria, como sua relação com o conceito de informação, medições e papel do observador, além de abrir uma porta para discussões mais profundas sobre epistemologia da Ciência e interpretações da MQ.

## **Algumas contribuições para o Ensino de Ciências**

As questões relativas à estrutura da Ciência têm sido um dos focos dos trabalhos em ensino-aprendizagem. A partir desta premissa, ao logo desta seção apontaremos quatro questões acerca da natureza do conhecimento e do mundo que podem ser abordadas através do tema exposto.

Contra uma visão positivista de Ciência, concebida como verdade absoluta, pronta e privilegiada, as pesquisas em Ensino de Ciências têm buscado elementos dentro da Filosofia das Ciências para demonstrar os limites de uma descrição física total da realidade. Sendo assim, eis aqui um tema rico inicialmente dentro do âmbito da Física, e conseqüentemente a contribuição deste trabalho para as discussões acerca da natureza do conhecimento científico, para o Ensino de Ciências.

Contudo, o tema em questão ainda pode nos levar a questões epistemológicas específicas da Física e da Química. Para Rezende Júnior e de Souza Cruz, (2009) uma teoria física é a coexistência de dois conjuntos de signos: signos matemáticos e lingüísticos, de tal maneira que, embora o modelo matemático seja carregado de forma implícita ele não constitui por si só uma descrição dos fenômenos, ou seja, seria este semanticamente cego. Assim para os físicos, os modelos são instrumentos de trabalho, representações simplificadas de um problema. Na Química encontra-se um processo bastante diferenciado pelo qual a representação pictórica admite um outro nível de complexidade. A manipulação mental dos modelos é que permite que a realidade química se torne inteligível.

A Química admitiria ainda uma complexidade multi-conceitual, em que uma ampla variedade de substâncias e comportamentos físicos e químicos é examinada nas transformações, o que exige múltiplas interpretações para dar conta de tal dinâmica, enquanto na Física, existe uma tendência à redução dos fenômenos a entes ideais de uma realidade simplificada e idealizada.

Outro ponto admitido pelas autoras é que os modelos químicos nem sempre admitem extensa matematização, reflexo do processo histórico em que a Química se viu determinada por uma sistemática experimental. Ainda assim, a complexidade epistemológica da Química aceita formas de mecanização dos processos que admitem a construção de algoritmos de natureza própria, distintos da matemática usual na Física, o que se pode verificar ao compreender o significado das sequências reacionais consideradas pelos químicos.

Diferentemente da Física, a Química admitiria também a coexistência de diferentes modelos, sem que necessariamente um seja mais preditivo do que outro. Segundo as autoras, essa característica das duas áreas é reflexo de pressupostos filosóficos aceitos em sua estruturação histórica. Enquanto a Física admitiria uma natureza dinamicista e racionalista, a Química teria estruturado seu corpo de significado em pressupostos mecanicistas e realistas.

Labarca (2005) aponta para os problemas de reducionismo sofridos na estruturação epistemológica da Química, especialmente à redução da mesma à MQ. Ainda que, calcada em pressupostos experimentais, esta admita questões referentes à natureza das entidades químicas. Aportando o problema dos níveis teóricos em que as ligações químicas podem ser interpretadas, o autor aponta para a questão de que, de um ponto de vista quântico, ou seja, o modelo dos orbitais moleculares, a reestruturação energética proposta pelo modelo inviabilizaria a perspectiva estrutural tradicional na construção das moléculas. Ou seja, as estruturas moleculares propostas através do modelo de sobreposição de orbitais, ou ainda, a partir do modelo de hibridização, perderiam sentido se a estrutura dos orbitais fosse reconstruída, reorganizada para uma nova estrutura energética.

A realidade teria assim sua natureza determinada por duas Ciências, a organização energética proposta pela Física recairia sobre a realidade natural, Química, dos compostos que definem o “mundo objetivo”. Deste ponto de vista, é possível questionar a correlação entre as propostas epistemológica da Física e ontológica da Química a partir da análise colocada acima. A questão da transmissão de informação na proposta epistemológica da Física recai sobre uma questão de natureza ontológica da Química, ou seja:

1) Se, no futuro, pudermos utilizar o TQ para teleportar sistemas macroscópicos ou em escalas “semi-clássicas”, a identidade (ontologia) **física/objetiva** destes sistemas será reconstruída com perfeição, dado que o teleporte é a transmissão da informação epistemológica? A Física transmitida construiria a mesma Química do estado inicial?

Aqui, percebe-se que, afastadas de início, as duas Ciências se reencontram naquilo que é de interesse do conhecimento humano. Porém, de um ponto de vista da construção de conhecimento como embate entre as escolas empirista e inatista, o presente problema nos coloca outras duas questões, sendo uma o aprofundamento da primeira:

2) Caso possamos fazer mais de uma cópia idêntica do sistema original e possamos fazer várias cópias de um único ser humano (mesmo que destruindo o ser humano original, em conformidade com o teorema de não-clonagem), qual será o ser humano “verdadeiro”, ou seja, qual das cópias poderá reivindicar “ser” o ser humano original?

3) Caso pudermos um dia teleportar um ser humano, todas as suas características **subjetivas (mentais, morais, etc)** serão idênticas após a destruição e reconstrução?

A relação entre as características da consciência e o mundo objetivo, já problematizada por filósofos empiristas, como Bacon, Hume e Locke, transcende seu local temporal, e retorna para debater com as perspectivas Transcendental Kantiana e Fenomenológica Husserliana, dentro de um tema específico de Física, retomando a necessidade de uma discussão metafísica acerca do conhecimento científico, justamente o ponto de crítica à perspectiva positivista de ciência, isto é:

4) Baseado no princípio fundamental de Zeilinger, tudo o que se conhece a respeito do mundo é apenas uma percepção dos sentidos? Existe uma realidade absoluta, independente de sentidos?

As questões, ainda que complexas e sem posições conclusivas, revelam a natureza dinâmica e humana do conhecimento advindo da investigação humana acerca do mundo, o que as torna extremamente pertinentes ao longo da discussão do assunto. A partir de agora o foco se volta então para meios de “transporte” do tema para a sala de aula, do ponto de vista de uma investigação que promova as questões colocadas.

## Referências

- BENNETT, C. H. *et al.* Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels. **Physical Review Letters** **70**, p. 1895-1899, 1993.
- BOHM, D.. A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of Hidden Variables, I and II, **Physical Review** **85**, p. 166–79; 180–93, 1952.
- DIEKS, D.. Communication by EPR devices. *Physics Letters A* **92**(6), p. 271–272, 1982.
- DIRAC, P. A. M.. *The Principles of Quantum Mechanics*. Oxford: Oxford University Press, 3rd edition, 1947.
- EINSTEIN, A., PODOLSKY, B. and ROSEN, N.. Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete? **Physical Review** **47**, p. 777-780, 1935.
- EVERETT, H.. “Relative State” Formulation of Quantum Mechanics. **Reviews of Modern Physics** **29**, p. 454–62, 1957.
- FREIRE JR., O., CARVALHO NETO, R. A.. **O Universo dos quanta: uma breve história da Física Moderna**. São Paulo, FTD, 1997.
- GRECA, I. M., MOREIRA M. A.. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica quântica introdutória. **Investigações em Ensino de Ciências** v.6(1), p. 29-56, 2001.
- LABARCA, M. La filosofía de La química em La filosofía de La ciencia contemporânea. **Redes**, mayo, volume 11, número 21, 2005.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A.. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, V.5 (1), p. 23-48, 2000.
- REZENDE JUNIOR, M. F.; DE SOUZA CRUZ, Frederico Frimo. Física moderna e contemporânea na formação de licenciandos em física: necessidades, conflitos e perspectivas. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 2, p. 305-21, 2009
- TIMPSON, C. G.. The Grammar of Teleportation. **British Journal for the Philosophy of Science** **57**, p. 587-621, 2006.
- VON NEUMANN, J.. *The Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton: Princeton University Press, English translation, 1955.
- WOOTTERS, W., ZUREK, W.. A single quantum cannot be cloned. *Nature* **299**, p. 802–803, 1982.
- ZEILINGER, A.. A foundational principle for quantum mechanics. **Found. Phys.** **29**(4), p. 631–43, 1999.