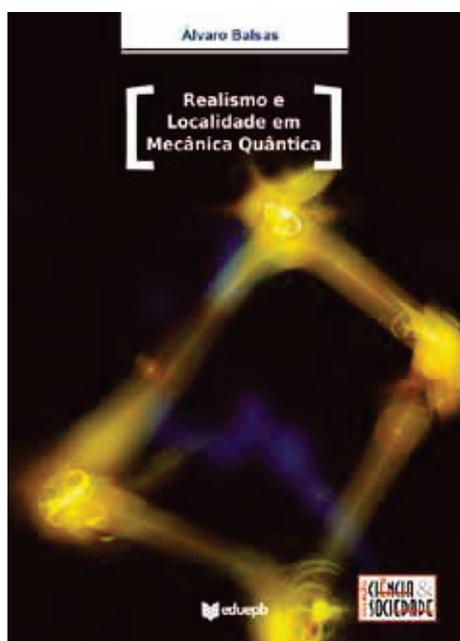


Realismo e Localidade em Mecânica Quântica

por Álvaro Balsas

Alfredo Barbosa Henriques



O Doutor Álvaro Balsas publicou recentemente no Brasil, em co-edição da Livraria da Física e da EDUEPB, a obra 'Realismo e Localidade em Mecânica Quântica', obra baseada no trabalho apresentado em 2010 na Faculdade de Filosofia de Braga como tese de doutoramento em Filosofia, Especialidade em Filosofia da Ciência. Tendo em conta a importância do assunto versado, e o cuidado com que ele é exposto, penso que se justificam as palavras que se seguem.

São bem conhecidos os êxitos extraordinários que a Mecânica Quântica tem tido na explicação e na previsão de fenómenos físicos, que a tornam uma das maiores conquistas da Ciência do século XX. Paralelamente a estes êxitos, nunca desmentidos por quaisquer observações e resultados, esta teoria tem originado intensos debates em torno da sua interpretação. Uma boa parte dos desacordos que se têm visto nestas discussões resultam, sem dúvida, das diferentes posições filosóficas assumidas pelos seus intervenientes. É notavelmente o caso do debate, que nas

décadas de 20 e 30 do século passado, foi protagonizado por essas duas figuras eminentes da Física que foram Bohr e Einstein.

Como resultado destas discussões, e da sua manifesta insatisfação em relação a vários aspectos da teoria quântica, Einstein e dois colaboradores, Podolsky e Rosen, publicaram em 1935 um artigo científico no qual pretendiam mostrar que a Mecânica Quântica não era uma teoria completa, primeiro por não ser capaz de simultaneamente descrever aquilo que eles entendiam e definiam como elementos da realidade e, depois, por ter consequências não-locais que contradiziam a teoria da relatividade restrita, as famosas *spooky actions at distance* de Einstein. Esse artigo tinha o sugestivo título "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?" e o que aí se continha é hoje conhecido como o 'Paradoxo EPR', das iniciais dos autores.

Este artigo teve uma resposta quase imediata por parte de Bohr, mas, à distância de tantos anos, podemos afirmar hoje que a resposta esteve longe de ser satisfatória, para dizer o mínimo! Seja como for, a partir desta data, o debate praticamente desapareceu. Foi preciso esperar pelas décadas de 60 e seguintes, para que o debate se reabrisse, graças aos trabalhos de John Bell, com as suas famosas desigualdades, e às experiências, entre outros, de Alain Aspect e colaboradores. São estes trabalhos e desigualdades que constituem o núcleo central da análise desenvolvida por Álvaro Balsas na sua obra, e é por aí que vamos começar as nossas breves considerações, sem entrarmos em muitos pormenores técnicos.

Este tema é desenvolvido em uma série de capítulos, abrangendo uma introdução ao paradoxo EPR e ao tema das variáveis escondidas, seguindo-se dois capítulos bastante completos sobre o que colectivamente designamos como desigualdades ou teoremas de Bell, e seus testes experimentais.

Em poucas palavras, a experiência EPR, imaginada por Einstein e colaboradores, pode descrever-se de uma forma mais simples, devida a David Bohm. Temos um sistema atómico que decai, emitindo dois electrões em direcções opostas e num estado com momento angular total nulo. Os electrões dirigem-se para dois detectores A e B, afastados, onde com a sua detecção poderemos medir a componente de spin do respectivo electrão ao longo de um certo eixo, a sua polarização. De acordo com a mecânica quântica, os electrões são emitidos num estado de sobreposição, estado emaranhado (*entangled state*, em inglês), o que significa que o estado de cada electrão deve ser visto, não como tendo uma componente de spin bem definida numa direcção, mas como uma sobreposição de dois estados possíveis. Só após a sua medição, é que poderemos falar de polarização bem definida, para cada um dos electrões. Assim, quando medimos o valor da componente do spin do electrão em A, ao longo de uma certa direcção, e medimos por exemplo $+1/2$, devido a ser nulo o momento angular total, sabemos que a componente do spin do electrão em B, na mesma direcção, terá o valor oposto, $-1/2$. As duas detecções são feitas ao mesmo tempo, não havendo qualquer possibilidade de transmissão de informação entre os dois detectores, transmissão que seria feita, no máximo, à velocidade da luz.

Qual o problema que isto levanta? Ora bem, se o estado é de sobreposição e cada electrão só passará a ter polarização bem definida após medição, como é que o electrão em B ‘sabe’ que o electrão em A tinha spin $+1/2$, se só no preciso momento da sua detecção é que ele adquiriu esse valor?

Temos, na verdade, dois problemas. Um diz respeito à violação da relatividade restrita, com a aparente transmissão de informação a uma velocidade superior à da luz, violação da localidade; o outro problema diz respeito ao facto de, na interpretação de Copenhague da mecânica quântica, cada electrão só adquirir a sua polarização no acto da medição, violação de uma posição realista, devido a não podermos afirmar que os electrões já possuíam um valor bem definido da polarização, nós é que o desconhecíamos.

Foi para responder a este tipo de problemas, designados por não-localidade e anti-realismo, que surgiu, bastante cedo, diga-se, a ideia das variáveis locais escondidas, permitindo a reintrodução de um certo realismo local na descrição quântica, ideia essa até hoje campo de batalha entre defensores e detractores da interpretação de Copenhague. No fundo, a ideia dos criadores da interpretação de Copenhague significava que deveríamos preocupar-nos apenas com os fenómenos, e não com o que estaria por trás desses fenómenos. Seria este o preço a pagar para termos uma interpretação consistente da mecânica quântica. Em 1964, num artigo

intitulado “On the Einstein Podolsky Rosen paradox”, John Bell mostrou como, através da derivação de desigualdades que levam o seu nome, baseadas em pressupostos locais e realistas, se poderia em princípio resolver experimentalmente aquele conflito.

Após as experiências levadas a cabo por Alain Aspect *et al.* (1981), de acordo com a grande maioria dos físicos o assunto ficou definitivamente encerrado a favor da interpretação usual da mecânica quântica, colocando em causa a possibilidade de uma interpretação realista e local, incluindo o conceito de variáveis escondidas.

Não é esta a opinião defendida por Álvaro Balsas no seu trabalho. Baseado numa extensa análise, em uma bibliografia muito completa, e em artigos do matemático americano Karl Hess, o autor do livro defende que existem falhas na interpretação tradicional das experiências de Aspect. O erro estaria no facto de as condições da experiência não reproduzirem os pressupostos utilizados na derivação das diferentes desigualdades de Bell.

Expliquemo-nos. As desigualdades introduzem quatro termos, correspondentes a combinações de quatro medições supostas simultâneas de polarizações, duas em cada um dos lados A e B da montagem experimental. Na interpretação usualmente feita das experiências, é aqui subrepticamente introduzido um raciocínio contrafactual, admitindo como realmente medidas ao mesmo tempo quantidades que de facto não o foram. Aliás, como sabemos, a teoria quântica diz-nos que aquelas medições não podem ser efectuadas simultaneamente, por corresponderem a experiências mutuamente exclusivas; a poderem ser efectuadas, corresponderiam a medidas simultâneas, no mesmo ponto, de observáveis cujos operadores não comutam entre si, o que a teoria não permite, e está na base das famosas relações de incerteza. A consequência daquele raciocínio contrafactual é uma restrição indevida no espaço de amostragem, tirando-se conclusões a partir de apenas um subconjunto de todos os resultados possíveis. Dito de outra maneira, ao re-deduzirem-se as desigualdades de Bell, entrando em conta com as efectivas condições da experiência, obtém-se um valor substancialmente superior a 2. Daí que, embora os resultados experimentais de Aspect estejam plenamente de acordo com as previsões da mecânica quântica, não podem ser utilizados para invalidar o realismo local, nem as teorias de variáveis escondidas.

Devo dizer que considero impecável o raciocínio de Álvaro Balsas, e não vejo como chegar a uma conclusão diferente. Digo-o à-vontade, pois, até à minha leitura deste trabalho, sempre aceitei que a interpretação usual das experiências de Aspect estava correcta, e o assunto das variáveis escondidas definitivamente encerrado. Note-se bem que, na posição do autor, não está em causa a extraordinária qualidade das experiências efectuadas, mas apenas a sua interpretação.

Aceite a conclusão acima, como proceder? Julgo que posso dizer que a grande maioria dos físicos aceita pacificamente que as coisas se passem desta maneira, com a mecânica quântica apresentando características não-locais

e anti-realistas, posição que podemos classificar de pragmática ou instrumentalista, alinhando de uma forma mais ou menos consciente com a interpretação, ou espírito, de Copenhague. No entanto, é bem sabido que sempre existiu um núcleo de cientistas (Einstein, Schrödinger, de Broglie, e outros) que se recusaram a desistir das suas posições realistas e locais, alguns deles vendo na introdução de variáveis escondidas uma forma de completar esta teoria.

Pessoalmente, considero como um estratagema artificial a ideia de introduzir na mecânica quântica tais variáveis escondidas, cuja origem não me é clara, nunca foi necessária para explicar um único resultado numérico, nem vejo como é que, por exemplo, elas possam explicar uma das mais belas experiências de toda a Física, a experiência de Young, hoje feita não só com fôtons e electrões, mas igualmente com átomos e com moléculas de tamanho já considerável, onde se pode ver a formação das figuras de interferência, mesmo quando as partículas mencionadas são enviadas uma a uma para o alvo.

Um modelo como o construído por David Bohm parece ser capaz de o fazer, mas a verdade é que tal modelo acaba por reintroduzir algumas das dificuldades que pretende resolver, nomeadamente importantes aspectos não-locais: algo que acontecesse num ponto seria imediatamente sentido em todo o espaço, sem qualquer restrição imposta pela velocidade da luz. Daí que não considere este modelo como uma solução satisfatória.

Prefiro encarar as dificuldades existentes como uma janela de oportunidade para a eventual construção de uma teoria mais profunda do que as teorias de que actualmente dispomos; quem sabe se uma teoria abarcando de forma natural a teoria quântica, a relatividade e a gravitação.

Em todo este problema, o mais importante, para mim, tem a ver com a violação da relatividade restrita que surge nos efeitos não-locais da experiência EPR. Temos, aqui, uma aparente inconsistência entre as duas teorias mais extraordinárias que o século vinte produziu, com décadas de testes positivos. Tenho uma posição menos definida no que respeita ao conflito realismo/anti-realismo; a natureza não deixa de nos surpreender, e não devemos impor-lhe os nossos pressupostos filosóficos. O próprio desenvolvimento da Ciência se encarregará de naturalmente nos guiar. Mas, verdade seja dita, no momento actual qualquer das opções não passa de uma opção pessoal. Por isso, a opção do autor pelo realismo local é uma opção perfeitamente legítima.

Antes de terminar, gostaria de mencionar mais dois ou três pontos. Em primeiro lugar, realçar o facto de os primeiros capítulos da obra conterem uma concisa e clara introdução ao formalismo da mecânica quântica e, no capítulo 3, uma visão global e crítica da(s) interpretação(ões) da mecânica quântica, usualmente associada(s) com os nomes de Niels Bohr, mas também de Heisenberg, von Neumann e Dirac. De sublinhar o cuidado posto na destrição e nas subtilidades que distinguem as interpretações destes quatro físicos. O capítulo termina com uma importante secção dedicada a questões em aberto, nomeadamente problemas da medição e o problema da fronteira entre os domínios clássico e

quântico, incluindo o problema da descoerência.

Como é dito logo no início deste capítulo 3, qualquer formalismo, para ser considerado como uma teoria física, requer uma interpretação. Isto é particularmente assim no caso da teoria quântica, tendo em conta as características muitas vezes anti-intuitivas desta teoria. Daí a forma cuidadosa com que todo este assunto foi abordado.

Em segundo lugar, no último capítulo, denominado de 'O Realismo Local em Mecânica Quântica', Álvaro Balsas, sempre apoiado numa vasta bibliografia, mostra como, e por que caminhos, por vezes tortuosos, veio a interpretação de Copenhague, segundo a sua opinião, a ser imposta como a interpretação da mecânica quântica. É um capítulo de leitura esclarecedora e obrigatória, tal como o capítulo 3.

No entanto, sem de alguma forma pôr em causa o que está escrito, como digo sempre bem apoiado numa extensa bibliografia, gostaria de marcar a minha posição e pôr alguma água na fervura, se assim me posso exprimir! Não encaro, nem nunca encarei, a interpretação de Copenhague (incluindo sob esta designação as suas variantes) como um dogma (tal coisa não existe, ou não deveria existir, nos caminhos da Ciência), por isso não gosto de designações como 'interpretação ortodoxa' ou 'visão ortodoxa' (Wigner). Acima de tudo, não posso deixar de acentuar, e sublinhar, o papel teórico e prático, fundamental e decisivo, que tal interpretação teve no assentar de ideias sobre a mecânica quântica, interpretação que não só estava, e está, de acordo com os resultados experimentais, como permitiu libertar o espírito dos físicos para as importantíssimas aplicações que se seguiram da nova teoria.

Finalmente, chamo a atenção para a excelente bibliografia que acompanha este trabalho, e à qual, mais do que uma vez, me referi.

Em suma, e resumindo tudo o que foi dito, estamos em presença de uma valiosa contribuição para o esclarecimento de um importante problema da Física e, simultaneamente, uma valiosa contribuição para essa importante área do conhecimento que é a Filosofia da Ciência, área que merecia ser mais cultivada entre nós, com uma larga contribuição e colaboração envolvendo filósofos da ciência e cientistas.

Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.

Alfredo Barbosa Henriques é Professor Jubilado do Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

"Realismo e Localidade em Mecânica Quântica"
Álvaro Balsas S.J., Faculdade de Filosofia de Braga
Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2014
ISBN 978-857-861-239-9