

Spooky Computers*

DO BURROUGHS 205 À COMPUTAÇÃO QUÂNTICA: UMA TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA E EPISTEMOLÓGICA

Roberto Lobo**

18 de junho de 2026

Já escrevi sobre computação quântica e sua história. No entanto, quanto mais o tempo passa, mais me surpreendo com a extensa utilização na computação quântica de fenômenos que pareceriam absolutamente impossíveis na visão da ciência - e do senso comum - no início do século XX. É essa nova visão de mundo e sua utilização prática que pretendo ressaltar agora.

Meu primeiro contato com a computação ocorreu no início dos anos 1960, quando ainda era estudante e fui convidado a conhecer, e depois trabalhar, com o Burroughs 205 recém-instalado na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Para um estudante daquela época os computadores eram máquinas quase míticas. Pouquíssimas universidades possuíam acesso a elas e ainda não estava claro qual seria o verdadeiro futuro da computação.

O ambiente intelectual de então era particularmente interessante porque havia uma disputa tecnológica real entre computação analógica e digital. Hoje isso quase desapareceu da memória histórica, pois a vitória da computação digital faz parecer, olhando-se retrospectivamente, que isso seria inevitável. Mas naquela época não era.

Os computadores analógicos impressionavam pela capacidade de tratar continuamente equações diferenciais e problemas físicos complexos. Muitos cientistas acreditavam que eles seriam o caminho natural para aplicações científicas avançadas. Já os computadores digitais pareciam inicialmente mais rígidos e limitados, embora trouxessem uma enorme vantagem: precisão lógica e capacidade de programação geral.

Essa disputa não era apenas teórica. Ela aparecia diretamente no ensino e nos laboratórios.

No início dos anos 60, quando coordenava os laboratórios de física para estudantes de engenharia, na Escola de Engenharia de São Carlos, da USP, eu próprio utilizava montagens analógicas de cálculo para demonstrar processos como diferenciação e integração. Aqueles dispositivos tinham enorme valor didático porque tornavam visível, quase fisicamente palpável, a representação contínua dos fenômenos matemáticos e físicos.

O Burroughs 205 representava, por outro lado, a consolidação da computação digital clássica. Tudo nele refletia a visão tradicional da física e da matemática: estados bem definidos, operações determinísticas e manipulação rigorosa de bits representando 0 ou 1.

Naquele período, a computação ainda parecia simplesmente uma extensão automatizada da lógica clássica.

Anos depois, já no início da década de 70, trouxe dos Estados Unidos um computador de mesa que utilizei intensamente em aulas e demonstrações de mecânica quântica. Com ele, passei a simular numericamente fenômenos quânticos para meus alunos, particularmente os efeitos de tunelamento, em que partículas com determinadas energias eram capazes de atravessar barreiras intransponíveis para uma partícula clássica.

Era fascinante observar como máquinas baseadas em lógica clássica podiam ser utilizadas para explorar matematicamente uma física que contrariava profundamente a intuição clássica. Isso porque, paralelamente e anteriormente ao avanço da computação, a física moderna já vinha produzindo uma revolução conceitual silenciosa. A mecânica quântica descrevia um mundo profundamente diferente daquele imaginado pela física clássica.

Fenômenos como superposição de estados, interferência quântica, tunelamento e, em geral, resultados intrinsecamente probabilísticos como frutos de medidas em sistemas quânticos eram fenômenos desconhecidos e proibidos na física clássica (a física que, até então, se acreditava que seria suficiente para explicar todos os fenômenos da natureza).

Um dos fenômenos mais desconcertantes da mecânica quântica é o chamado “entrelaçamento quântico”, que levou Albert Einstein a ironizar a teoria com a expressão “*spooky action at a distance*” (ação fantasmagórica à distância) em um famoso artigo de 1935 escrito em parceria com Podolsky e Rosen.

Nos sistemas entrelaçados ocorre um fenômeno particularmente desconcertante: duas partículas ou sistemas podem permanecer correlacionados de tal forma que um o resultado observado em um sistema passa a estar instantaneamente correlacionado ao resultado obtido no outro, independentemente da distância que os separa.

Em princípio, essa correlação permanece, mesmo que os sistemas estejam em extremos opostos do universo. Era principalmente essa aparente “ação instantânea à distância” que Einstein considerava inaceitável, por parecer incompatível com a causalidade local da física clássica.

É um assunto complexo, mas sabe-se que esse fenômeno não permite enviar corpos materiais ou sinais com velocidade maior que a da luz.

Durante décadas, esses fenômenos pareciam pertencer apenas ao domínio abstrato da física microscópica, quase desconectados da realidade prática, mas, pouco a pouco, tornou-se claro que exatamente esses efeitos poderiam ser utilizados tecnologicamente na computação quântica que surgia.

O entrelaçamento é um efeito claramente analógico: foi a vingança do analógico sobre o digital.

A base de comparação mais comum entre computadores quânticos e não quânticos são suas unidades de informação: bits e qubits. O bit clássico possui um estado definido: 0 ou 1. O qubit, ao contrário, pode existir em superposição coerente de estados. Além disso, múltiplos qubits podem tornar-se entrelaçados, formando sistemas que não podem mais ser descritos como simples soma de partes independentes, um fenômeno tipicamente quântico.

Mas a transformação não é apenas tecnológica. Ela é epistemológica.

A computação clássica repousa implicitamente sobre pressupostos herdados da visão clássica da natureza, como:

- ✓ propriedades físicas existem independentemente da observação;
- ✓ medir significa revelar algo previamente existente;
- ✓ causalidade é local; e
- ✓ sistemas complexos podem ser decompostos em partes independentes.

A mecânica quântica desafia precisamente esses pilares, porque nela:

- ✓ certas propriedades não possuem valores definidos antes da medição;
- ✓ os resultados observáveis são probabilísticos de maneira fundamental;
- ✓ sistemas entrelaçados desafiam a separabilidade clássica; e
- ✓ o observador (ou o aparelho de medida) deixa de ser completamente externo ao fenômeno observado, embora não seja descritível nas equações da mecânica quântica atual.

Os computadores quânticos tornam-se, então, algo intelectualmente extraordinário: máquinas que operam explorando exatamente fenômenos que pareciam incompatíveis com a epistemologia clássica.

O computador quântico obtém sua vantagem justamente explorando fenômenos da mecânica quântica que não existem no mundo clássico e que desafiam nossa intuição. Enquanto os computadores convencionais operam segundo a lógica da física clássica, os computadores quânticos utilizam superposição, entrelaçamento e interferência quântica para processar informações de maneiras impossíveis para máquinas tradicionais. Isso faz deles não apenas computadores mais rápidos, mas computadores baseados em uma visão radicalmente diferente da realidade física.

Nesse sentido, chama atenção a observação atribuída a Werner Heisenberg depois de uma visita aos EUA, de que os americanos utilizavam muito bem a mecânica quântica, embora demonstrassem pouquíssimo interesse em discutir seus fundamentos filosóficos.

Em certa medida, a história tecnológica do século XX confirma essa percepção: aprendemos primeiro a usar operacionalmente a mecânica quântica - em semicondutores, transistores, lasers e agora computadores quânticos - antes mesmo de compreender plenamente suas implicações conceituais. (*“Physics and Beyond. Encounters and Conversations”, Werner Heisenberg, Arnold J. Pomerans. Karl Hufbauer – 1971*).

Numa análise retrospectiva, me impressiona perceber a trajetória percorrida desde aquele primeiro contato com o Burroughs 205. O caminho que vai da computação analógica e digital clássica à computação quântica não representa apenas um avanço tecnológico.

A maior surpresa foi perceber que aquilo que inicialmente parecia apenas uma curiosidade conceitual da mecânica quântica acabou transformando-se em uma nova

forma de computação e, possivelmente, em uma nova maneira de pensar a própria realidade física, que representa uma transformação profunda na maneira como entendemos o conhecimento, a realidade e a causalidade na ciência moderna.

* *Spooky Computers* = “Computadores fantasmagóricos”, analogia feita por mim usando a expressão utilizada por Albert Einstein e coautores

** Roberto Lobo é PhD em Física e Doutor Honoris Causa pela Purdue University. Foi reitor da USP e é presidente do Instituto Lobo.