

# Educação problematizadora no ensino de Computação Quântica: um caminho para a Alfabetização Científica e Tecnológica

## Problem-posing Education in Teaching of Quantum Computer: a way for Scientific and Technological Literacy

*Andiara P. dos Santos<sup>1</sup>, Paulo C. Ferrari<sup>2</sup>, Norton G. de Almeida<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás/Instituto de Física/Mestrado em Educação em Ciências e Matemática, *andiara.fis@gmail.com*

<sup>2</sup>Universidade Federal de Goiás/Instituto de Física/Mestrado em Educação em Ciências e Matemática, *pferrari@if.ufg.br*

<sup>3</sup>Universidade Federal de Goiás/Instituto de Física/Programa de Pós-Graduação em Física, *norton@if.ufg.br*

### Resumo

Neste trabalho investigamos o potencial do ensino da Computação Quântica para discutir Ciência, Tecnologia e Sociedade em uma turma de 1º ano do Ensino Médio. Para este propósito recorremos aos pressupostos da Alfabetização Científica e Tecnológica, utilizamos a proposta de Educação Problematizadora de Paulo Freire e como abordagem didática os Três Momentos Pedagógicos de Angotti e Delizoicov. Concluímos que o ensino da Computação Quântica tem potencial para despertar a curiosidade epistemológica, introduzir alguns conceitos de Física Moderna e discutir questões científicas, técnicas e sociais sobre a utilização dos computadores.

**Palavras-chave:** Alfabetização Científica e Tecnológica, Educação Problematizadora, Computação Quântica, Três Momentos Pedagógicos.

### Abstract

In this paper we investigate the potential of the teaching of Quantum Computing to discuss Science, Technology and Society in a class of first year of high school. For this purpose, we resort to the presuppositions of the Scientific and Technological Literacy, we use the Freire's Problem-posing Education and the Three Pedagogical Moments of the Angotti and Delizoicov, as a didactical approach. We concluded that the teaching of Quantum Computing has potential to arouse the epistemological curiosity, introduce some concepts of Modern Physics and discuss scientific, technical and social questions on the use of computers.

**Key words:** Scientific and Technological Literacy, Problem-Posing Education, Quantum Computing, Three Pedagogical Moments.

### Introdução

Com o desenvolvimento de interfaces de comunicação cada vez mais amigáveis e a redução dos custos de aquisição, o uso de equipamentos tecnológicos está cada vez mais

acessível à população em geral. Desses equipamentos, os computadores se destacam pela facilidade de manuseio e eficiência com que executam tarefas, tornando-se ferramentas indispensáveis para a sociedade atual.

Para atender às necessidades dessa sociedade tecnológica busca-se, cada vez mais, maior rapidez e eficiência e uma constante diminuição de tamanho dos já considerados “micro” computadores. Com a miniaturização dos chips, pesquisadores estudam a possibilidade de se usar a Física Quântica aliada à Ciência da Computação para aumentar ainda mais a velocidade de processamento, dando origem à Computação Quântica (CQ).

A CQ é uma linha de pesquisa nova que investiga a possibilidade de vantagens extraordinárias comparadas com os computadores clássicos (NIELSEN, CHUANG, 2005), que dariam um grande salto na evolução científica e tecnológica. Os princípios básicos desta nova forma de fazer computação estão nos conceitos de superposição e interferência da Mecânica Quântica. Entretanto, a limitação tecnológica no que diz respeito à implementação desta computação em aparatos físicos é um dos problemas que os cientistas têm enfrentado.

Neste trabalho investigamos se a inserção desta nova ciência, seus conceitos e suas implicações sociais, nas disciplinas de Física do Ensino Médio, apresenta potencial para o desenvolvimento de uma Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT).

A perspectiva ACT emerge como uma possibilidade de ação pedagógica, considerando a importância da educação científica para a sociedade atual, quando se coloca a necessidade de promover “Ciências para todos” (CACHAPUZ, 2005), partindo do conceito de alfabetização científica como objetivo social prioritário, visando um currículo científico básico que supere o reducionismo conceitual, de forma a preparar o cidadão para a tomada de decisões junto à sociedade.

Reid e Hodson (1993, apud CACHAPUZ, 2005) propõem uma educação científica que contemple: conhecimentos conceituais de ciência, aplicabilidades dos conceitos de ciência em situações reais e simuladas, utilização de instrumentos e equipamentos para investigação de ciência, aplicabilidades dos saberes, interação com a tecnologia, história e desenvolvimento da ciência e da tecnologia, estudo da natureza da ciência e prática científica, questões sócio-econômico-políticas e ético-morais da ciência.

Com o objetivo de promover uma sociedade crítica e consciente em relação à Ciência e à Tecnologia a perspectiva ACT comporta a potencialidade de levar até as escolas de todos os níveis de ensino as discussões que revelam as implicações existentes entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS):

[...] na década de 80 os estudiosos [...] destas abordagens CTS destacavam três grandes campos de atuação:

1. o campo da investigação com seu caráter mais teórico;
2. o campo das políticas para facilitar a participação pública nas questões C&T;
3. o campo educacional visando à alfabetização científica e tecnológica.(BAZZO, 2008; p.47).

O enfoque CTS é um movimento social que nasceu da preocupação com o impacto da produção científica e tecnológica na sociedade, seus benefícios e malefícios, principalmente após os grandes incidentes sociais, como o lançamento da bomba atômica e a utilização de agrotóxicos, por exemplo. É neste contexto que emerge a preocupação com a participação social na tomada de decisões na perspectiva ACT, incentivada, paralelamente, por propósitos

desenvolvimentistas de países ricos, que investiram em reformas curriculares do ensino de Ciências (MILLAR, 2003). A intenção destes movimentos passou a ser que a política tecnocientífica passe pelo crivo da população e que esta tenha condições de opinar sobre as medidas científicas e tecnológicas.

A ACT, com enfoque CTS, aproxima-se da Educação Problematicadora (FREIRE, 2005), pois converge com o objetivo da participação da população na tomada de decisões, levando em conta que *alfabetizar muito mais do que ler palavras, deve propiciar a “leitura crítica da realidade”* (AULER; DELIZOICOV, 2006, p. 338). No ensino de Ciências destaca-se a abordagem dos três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti (2000), também de caráter dialógico-problematizador. O primeiro momento, a *problematização inicial*, tem como objetivo observar e compreender a visão dos estudantes sobre um determinado tema e permitir que o estudante sinta necessidade de adquirir novos conhecimentos. Dá-se prioridade ao que o estudante tem a dizer, cabendo ao professor ouvir e estimular o diálogo através de questionamentos. Segundo Delizoicov (1982), é também nesse momento que são desenvolvidas as codificações, estabelecidos os códigos a serem descodificados para a solução dos problemas. No segundo momento, a *organização do conhecimento*, exige-se uma maior participação do professor enquanto orientador, pois neste momento deve-se tentar superar as dificuldades que o tema exige, possibilitando que o estudante rompa com o senso comum. O processo de descodificação, de introdução de novos conceitos e questionamento de interpretações alternativas, deve se dar de forma dialógica, negociada. No terceiro momento, a *aplicação do conhecimento*, é avaliado se o estudante consegue aplicar o que aprendeu em diferentes contextos e situações, abrindo campo para novos temas de estudo. Surgem, então, novas possibilidades de interpretação e recriação da realidade. Oportunidades de elaborar opiniões e criar novos questionamentos permeiam todo o desenvolvimento da proposta.

Um conceito valioso da teoria freireana, subjacente à própria dialogicidade, é o de “curiosidade epistemológica” (FREIRE, 2001), que pode ser entendida como a predisposição do estudante em discutir temas que suas próprias conjecturas não conseguem responder. Movido por essa curiosidade o estudante terá melhores condições de se apropriar de novos conhecimentos.

## **Metodologia da Pesquisa**

Trata-se de uma pesquisa qualitativa envolvendo vinte e oito (28) estudantes do primeiro ano do Ensino Médio de uma escola pública. Adotamos a abordagem qualitativa devido ao caráter descritivo da nossa análise e pela necessidade de discutirmos tanto os resultados quanto o processo da pesquisa (BOGDAN, 1994).

Para a coleta de dados utilizamos três questionários abertos, que garantem maior riqueza de informações devido às respostas serem mais amplas (OLIVEIRA, 2008), e a gravação em vídeo de um debate sobre os trabalhos produzidos ao final das atividades.

A transcrição do vídeo e os questionários foram decompostos em unidades de codificação e categorizados segundo a análise de conteúdo, pois nossas inferências partiram dos conteúdos das falas transcritas e das respostas redigidas (BARDIN, 2002).

Quanto ao procedimento, a pesquisa foi desenvolvida em 6 encontros de 1:30 h cada, que são marcados pela proposta dos três momentos pedagógicos. No primeiro momento, a problematização inicial, foram levadas aos estudantes as partes componentes de um computador (processador, memória RAM, disco rígido, placa mãe e placa de vídeo) com o

objetivo de levantarmos questionamentos sobre suas funções. Após as discussões levamos os estudantes para a sala de informática e pedimos a eles que pesquisassem em grupos sobre a evolução do computador com o objetivo de observarem a diminuição constante dos aparatos tecnológicos, o aumento da performance e os possíveis estudos para o futuro do computador. Oferecemos algumas palavras-chave (como “história do computador” e “primeiro computador”) para direcionar a atividade e fazer com que eles se deparassem com a problemática dos computadores do futuro, os computadores quânticos. Pedimos-lhes que formassem grupos e que elaborassem perguntas sobre a pesquisa que fizeram (essa atividade foi considerada como o primeiro questionário). Essas perguntas tinham como objetivo nos direcionar para o segundo momento, onde seriam discutidas.

No segundo momento, a organização do conhecimento, utilizamos duas aulas discutindo os conceitos da CQ, sempre fazendo paralelo com a computação atual (armazenamento em bits versus qbits, portas lógicas clássicas e quânticas, algoritmos clássicos e quânticos). Mesmo recorrendo a uma apresentação em *PowerPoint*, no qual inserimos perguntas problematizantes, o diálogo permaneceu em todo o segundo momento. Durante as atividades utilizamos dois questionários com o fim de avaliar os principais conceitos de Física Quântica e de Computação Quântica que os estudantes deveriam se apropriar. Os estudantes deveriam entender alguns conceitos de Física, como: o comportamento dual do elétron, o conceito de partícula tanto na Física Clássica quanto na Física Quântica e os conceitos de superposição e interferência de ondas. No que se refere à computação quântica, os conceitos básicos que os estudantes deveriam compreender seriam: a superposição dos estados quânticos e o fenômeno de interferência, que conferem maior performance no armazenamento de informação e na velocidade de processamento em relação aos computadores clássicos. Outro ponto importante para estudar as possibilidades e as dificuldades de se construir um computador quântico é o “problema da medida” na Física Quântica. Os estudantes deveriam entender que quando se tenta observar por qual fenda o elétron passou, no experimento da dupla fenda, o padrão de interferência é destruído. Para introduzir este conceito utilizamos a animação “*Doctor Quantum - Doble Slit Experiment*”, dublada em português, extraída da edição estendida do filme “Quem Somos Nós? Uma Nova Evolução” (ARNTZ, CHASSE, VICENTE, 2006), na qual o personagem Dr. Quantum apresenta o experimento da dupla fenda. A destruição da superposição faz com que existam dificuldades para a implementação do computador quântico.

Para o terceiro momento, aplicação do conhecimento, os estudantes confeccionaram pôsteres e os apresentaram durante um debate, que foi filmado, sobre se é ou não possível a implementação do computador quântico, seus possíveis benefícios e malefícios na sociedade, bem como as implicações sociais e econômicas do computador atual.

## **Discussão dos Resultados**

Analisando as respostas aos questionários e a gravação em vídeo pudemos identificar elementos da Educação Problematizadora e da ACT potencializadas pelo ensino de CQ, que serão discutidas em quatro categorias. Na primeira categoria adotamos o conceito de curiosidade epistemológica para caracterizar a predisposição manifestada pelos estudantes para a discussão do tema. Nas demais identificamos aproximações com alguns dos pressupostos da ACT.

Para a identificação dos sujeitos será adotada a letra E seguida de um número. Para as atividades em grupo os identificaremos com a letra G seguida de um número. A participação variou entre vinte e três (23) e vinte e cinco (25) estudantes por atividade.

## Curiosidade epistemológica

Durante o primeiro momento, no qual discutimos o computador atual, sua história e novas possibilidades de computar dados no futuro, pudemos notar que a discussão sobre o tema despertou o que caracterizamos como curiosidade epistemológica. Algumas questões que os estudantes elaboraram refletiram sua preocupação com os custos do futuro computador:

Será que o computador quântico vai ser caro? (G1)

Esta preocupação emergiu da comparação com o primeiro computador clássico, inacessível à população em geral. Outra comparação com o computador atual despertou a essa curiosidade:

Qual será o tamanho do computador do futuro? (G4)

Em suas pesquisas haviam constatado que os primeiros computadores eram inacessíveis à grande população devido ao tamanho ser desproporcional em relação às suas casas. Outro questionamento dos alunos foi em relação ao funcionamento do computador quântico:

Como será o computador do futuro? Já sabemos o nome dele que é quântico, mas como ele será, sua forma, sua agilidade? Será melhor do que agora? (G5)

Para os estudantes entenderem como o computador quântico funciona, sua performance, se será ou não melhor que o computador atual, serão necessários conceitos relacionados à Física Quântica. Os alunos ficaram instigados a buscar conceitos novos para responder sua curiosidade, pois entenderam que seus conhecimentos não eram suficientes.

## Conhecimentos conceituais de Ciência

Na primeira aula do segundo momento pedimos que os estudantes escrevessem com suas próprias palavras o que entenderam do experimento da dupla fenda. Pela leitura das respostas dos estudantes percebemos sérias dificuldades conceituais. A utilização da animação do Dr. Quantum gerou interesse nos alunos, mas causou alguns problemas de entendimento conceitual. O professor tentou sanar estes problemas com explicações e exemplos, entretanto, alguns estudantes entenderam que os elétrons “têm vontade própria” quando se tenta detectar por qual fenda passou:

[...] quando as bolinhas passam por uma fenda fica uma linha e [...] por duas fendas ficam duas linhas reproduzidas na parede. Quando as ondas passam por uma fenda aparece uma linha na parede e quando passam por duas fendas ocorre a interferência de uma onda com a outra e aí forma várias linhas na parede. No processo com elétrons o seguinte: quando passavam por uma fenda se comportou como bolinha de gude [...] e com duas fendas ele se comporta como nas ondas ficam com várias linhas [...] o ato de medir os elétrons, destrói a interferência então os elétrons voltam a ser partículas. (E1)

Os conceitos de superposição de ondas e interferência, bem como a dualidade onda-partícula do elétron foram razoavelmente compreendidos. Contudo, a expressão “voltam a ser partículas” é uma compreensão equivocada, pois o correto seria “voltam a se comportar como partículas”.

O comportamento das bolas é assim: com uma fenda uma linha com duas fendas duas linhas. Com as ondas uma fenda aparece uma linha com duas

fendas abertas várias linhas de interferência. O elétron lançado em uma fenda ele se comporta como as bolinhas com duas fendas os elétrons se comportam como ondas e aparece varias linha porque quando esta olhando ele se comporta como as bolinhas com uma fenda uma linha com duas fendas duas linhas. (E3)

Apesar da pouca familiaridade com a escrita, a compreensão geral do experimento da dupla fenda está aceitável, principalmente no devido uso da expressão “se comporta como” para se referir ao comportamento dual do elétron. Já a expressão “quando está olhando se comporta como”, pode não estar bem compreendida pelo aluno se este estiver pensando que o elétron tem consciência e vontade própria para “escolher” a forma como se comportar na presença do observador. A forma como se deve entender esta expressão é: quando se mede ou quando se tenta observar por qual fenda atravessou o elétron, a interferência é destruída.

Na segunda parte do terceiro momento pedimos para os alunos escreverem sobre algumas diferenças entre o computador Clássico e Quântico. A principal diferença é a velocidade de processamento:

A velocidade do computador quântico é muito maior do que o computador clássico porque ele utiliza a interferência que é 0 e 1 ao mesmo tempo.(E19)

Este estudante aparentemente conseguiu entender que o ganho de velocidade do Computador Quântico é devido à interferência. Ele tenta exemplificar utilizando a superposição de qbits. Outra resposta menciona este mesmo efeito:

[...] o bit 0 ou 1 não pode ser ao mesmo tempo. [...] o conceito fundamental o qbit 0 ou 1 ou 0 e 1 ao mesmo tempo. [...] a velocidade do computador quântico é muito mais rápido que o clássico. (E3)

O estudante E3 procura diferenciar os bits quânticos, os qbits, dos bits clássicos e sugere que a velocidade de processamento do Computador Quântico é maior do que o Clássico devido a essa diferença.

### **Utilização crítica da tecnologia**

Por utilização da tecnologia entendemos a disposição do estudante para enfrentar os problemas práticos da tecnologia, compreendendo a ciência que permeia esta tecnologia, sua relação com a economia e aspectos sociais. A interação dos estudantes com a tecnologia do computador atual se deu de forma crítica, pois questionaram o acesso à tecnologia tanto na escola quanto na vida cotidiana:

Os computadores quânticos são mais rápidos em comparação com os computadores clássicos, [...] o computador da escola é uma tartaruga. [...] e os computadores quânticos são muito mais rápidos, eles trabalham com poucos qbits... (E10).

Quando E10 compara a performance do Computador Quântico com o Computador clássico, podemos entender que ele está identificando problemas no computador atual. Ele utiliza criticamente a tecnologia e consegue perceber os conceitos científicos por trás do computador quântico quando diz que ele trabalha com poucos qbits. Outra consideração crítica foi o questionamento da necessidade de constante atualização:

[...] sem falar que você tem que ficar mudando de computador sempre, o Windows que tem que trocar a cada dois anos...(E1).

A utilização da tecnologia acontece de forma crítica no âmbito social e econômico em relação ao uso do computador clássico. O ato de questionar os computadores atuais implica em uma não passividade perante a utilização da tecnologia.

### **Implicações sociais da Ciência e Tecnologia**

Nesta categoria observamos a capacidade de reflexão e crítica dos problemas sociais decorrentes da utilização da tecnologia do computador.

Durante a discussão dos pôsteres surgiram questionamentos sobre alguns males que a tecnologia do computador pode provocar:

Stress e depressão, pessoas que ficam o dia inteiro no computador. (E20)

Esse estudante identifica o stress e a depressão como resultantes do mau uso da tecnologia do computador, que geram problemas sociais como o isolamento das pessoas. Outros problemas sociais foram expressos por este estudante:

O computador afasta as famílias [...] provoca atentados terroristas, tem conteúdos mentirosos. (E8)

Ele evidencia problemas sociais internos, familiares, e problemas sociais que abrangem a grande população, como a violência em grandes proporções. Este estudante manifesta, ainda, posicionamento crítico sobre os conteúdos divulgados pela internet.

### **Considerações Finais**

Consideramos que o tema Computação Quântica comporta alguns elementos potenciais para discutir a Alfabetização Científica e Tecnológica. Existe um flagrante interesse sobre questões científicas e tecnológicas que envolvem os computadores e a possibilidade de construção de um computador quântico provoca questionamentos ainda mais críticos no que diz respeito ao acesso a essa tecnologia.

Percebemos que a comparação com o computador atual foi importante para mobilizar esforço cognitivo dos estudantes para o tema. A maioria dos estudantes utilizava computadores sem saber o que acontece no seu interior e ao saberem compreenderam as possibilidades futuras de investigação sobre a capacidade de armazenamento e a velocidade de processamento.

Consideramos que alguns conceitos, como superposição e o problema da medida, foram minimamente compreendidos. O entendimento destes conceitos básicos favorece elementos para os estudantes discutirem os problemas científicos e tecnológicos que surgirão com a inserção do computador quântico na sociedade.

Quanto à forma de utilização da tecnologia, percebemos que os alunos conseguiram desenvolver um olhar crítico, tanto para o computador quântico, percebendo a ligação entre conceitos científicos e desenvolvimento tecnológico, quanto para o computador atual, considerando aspectos econômicos e sociais da sua utilização.

Não obtivemos indícios do envolvimento dos alunos com problemas tecnológicos ou sociais que poderão decorrer da tecnologia do computador quântico. Entretanto, observamos que a problemática do computador do futuro, suas possíveis implicações sociais e econômicas, contribuiu para a discussão dos malefícios e benefícios do computador atual. Essa discussão abre espaço para uma possível conscientização ou intervenção social diante da inserção de novas tecnologias na sociedade.

Entre as diversas dificuldades encontradas durante a realização da pesquisa a mais crítica foi em relação à introdução de conceitos científicos. O experimento da fenda dupla com elétrons é apenas uma das possibilidades de discussão da sobreposição de estados e ao recorrermos ao uso da animação do Dr. Quantum corremos o risco de comprometer a compreensão dos conceitos científicos. Consideramos que na nossa proposta de ensino da Computação Quântica houve uma quantidade muito grande de conceitos novos sendo introduzidos em um curto intervalo de tempo. Provavelmente os resultados de aprendizagem seriam melhores se a introdução de novos conceitos fosse diluída no programa da disciplina, o que não nos foi possível realizar nesta pesquisa.

Se nosso tema ficasse restrito à computação atual provavelmente observaríamos resultados muito próximos dos observados no que diz respeito à interação com a tecnologia e às questões sócio-econômico-políticas e ético-morais da Ciência e da Tecnologia. No entanto, o tema Computação Quântica tem potencial para a discussão de outras questões técnicas, como o futuro da miniaturização, e sociais, como a criptografia na proteção de dados, a serem exploradas em trabalhos futuros.

## Referências Bibliográficas

- ARNTZ, W.; CHASSE, B.; VICENTE M. **What the Bleep!?: Down the Rabbit Hole**. Título em Português: Quem Somos Nós? Uma Nova Evolução. Filme (156min). Documentário. Colorido. Estados Unidos: Playarte Pictures, 2006.
- AULER, D.; DELIZOICOV, D. Ciência-Tecnologia-Sociedade: relações estabelecidas por professores de ciências. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, vol. 5 nº 2, pp. 337-355, 2006.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Trad. Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa, 2002.
- BAZZO, W.; PEREIRA, L. O que é CTS, afinal, na Educação Tecnológica? **Revista Tecnologia e Cultura**, Rio de Janeiro, ano 10, nº 13, p. 46-56, dez. 2008.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação Qualitativa em Educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Portugal: Porto Editora, 1994
- CACHAPUZ, A.; GIL PEREZ, D. **A necessária Renovação do Ensino de Ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.
- DELIZOICOV, D. **Concepção problematizadora para o ensino de ciências na educação formal**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências ). 1982. 226 f.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P. **Metodologia do Ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 2000.
- FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia - Saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 2001.
- FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.
- MILLAR, R. Um currículo de Ciências voltado para a compreensão por todos. **Ensaio**, vol 5, nº 2, pp. 73-91, out 2003.
- NIELSEN, M.; CHUANG, I. **Computação Quântica e Informação Quântica**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

OLIVEIRA, M. **Como Fazer Pesquisa Qualitativa**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2008.