

Guaraci Barga Nascimento Falcão

Acadêmico do Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas (TADS) no Centro Universitário Lusiada (UNILUS).

Rodolfo Molinari

Professor Doutor do Núcleo Acadêmico de Estudos e Pesquisas em Estatística e Qualidade na Educação no Centro Universitário Lusiada (UNILUS).

*Artigo recebido em maio de 2016 e
aprovado em junho de 2016.*

HISTÓRICO, ESTADO E PERSPECTIVAS DA TECNOLOGIA DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA

RESUMO

O universo atual das aplicações de computadores está fundamentado na tecnologia dos chaveadores de estado sólido, quais sejam transistores e demais elementos eletrônicos correlacionados, desenvolvidos a partir dos princípios de física quântica postulados ainda no primeiro quarto do século passado. Tal tecnologia está hoje em dia se aproximando de um patamar de saturação que faz prever a estagnação da aplicação dos sistemas computacionais em um futuro não muito distantes, caso novas tecnologias de aplicação computacional não venham a substituí-la. É nesse contexto que outra tecnologia, também fundamentada na física quântica vem surgindo como uma solução, não só para o problema da limitação esperada para a tecnologia atual, mas, muito mais importante, como um salto gigantesco nas possibilidades de aplicação: a Computação Quântica. Neste trabalho pretende-se estudar a história do desenvolvimento das máquinas de computação quântica e seus princípios de funcionalidade, posicionar o estado da arte da tecnologia correspondente e analisar as perspectivas de aplicação dessa tecnologia.

Palavras-Chave: Computação Quântica, QuBits, Tecnologia.

HISTORY, STATE AND PROSPECTS OF COMPUTING TECHNOLOGY QUANTUM

ABSTRACT

The current universe of computer applications is based on the technology of solid-state switching, which are correlated with solid state transistors and other electronic elements, developed from the principles of quantum physics postulated in the first quarter of the last century. Such technology is now approaching a level of saturation that leads to predicting stagnation of the application of computer systems in a future not too distant, if a new computer application technology will not replace it. In this context, another technology, also based on quantum physics has emerged as a solution, not only to the problem of the expected limitation of current technology but, more importantly, as a giant leap in the application possibilities: The Quantum Computation. This work aims to study the history of the development of quantum computing machines and its principles of functionality, positioning the state of the art technology and analyzing the prospects for its future application.

Keywords: Quantum Computing, QuBits, Technology.

INTRODUÇÃO

Conforme a história tradicional, a computação evoluiu rapidamente, em um curto espaço de tempo. Os primeiros computadores foram as máquinas gigantes instaladas em laboratórios durante a Segunda Guerra Mundial, que depois tiveram seu tamanho drasticamente reduzido pelos microchips de estado sólido, em um processo que ainda continua acontecendo segundo a Lei de Moore (Portal PBS, 1999). A revolução verificada na eletrônica do estado sólido dos últimos 60 anos tornou o computador em suas diversas variantes, gigantes pequenos ou domésticos, a máquina mais importante deste início de século.

Mas a computação já existia, de forma conceitual, muito antes do transistor. Astrônomos da Antiguidade desenvolveram maneiras de prever o movimento de corpos celestes e suspeita-se que um artefato arqueológico tenha sido um antigo instrumento para o cálculo mecânico de calendários (Portal UOL, 2015). O ato de calcular é antigo e vem sendo desenvolvido há milênios. De fato, computar sempre foi uma busca da humanidade. O cálculo, assim como ler ou escrever, é uma habilidade que auxilia o homem a interpretar o universo.

A próxima etapa computacional bate à porta como uma inovação que pode transformar todo o processo atual de computação, em peça obsoleta e completamente ultrapassada. Uma verdadeira revolução tecnológica.

O CONCEITO QUÂNTICO

Em 1900 o físico alemão Max Planck desenvolveu a ideia de que energia era quantizada. Partindo da frequência observada com a energia emitida por um corpo negro. Einstein deu sua participação quando, em 1905, explicou o efeito fotoelétrico, por uma de suas postulações, especificando que a radiação eletromagnética poderia ser dividida em uma quantia infinita de "quanta de energia", que são como pontos no espaço. Por último, a denominação de "física quântica" foi proposta pela primeira vez em Planck's Universe in Light of Modern Physics - O Universo em Luz da Física Moderna de Planck – (Johnston, 1931).

Já a computação quântica, foi originada no início da década de 1980, justamente devido às previsões de esgotamento da atual tecnologia da computação que se dará por volta 2020, segundo às leis de Moore. Ela traz consigo ideias da teoria clássica da informação, da ciência da computação e da física quântica, e tem atraído pesquisadores por causa da sua potencialidade no uso do paralelismo quântico como ferramenta para resolver problemas matemáticos mais eficientemente.

Apesar dos avanços nessa área, construir um computador quântico universal não é tarefa simples. Parece estar muito além das capacidades da tecnologia atual. Alguns princípios físicos da informação quântica já estão sendo testados em dispositivos de laboratório e, mais recentemente, grandes empresas tem investido de forma pesada no desenvolvimento e aperfeiçoamento de máquinas quânticas.

A atual história da tecnologia de produção de computadores, tanto de uso pessoal, como em equipamentos de grande porte (mainframes) é permeada de mudanças revolucionárias, no que diz respeito à troca de materiais; o conceito de máquinas, ao longo do tempo, passou de engrenagens para relés, de válvulas para transistores e de transistores para circuitos integrados.

Neste contexto, devemos imaginar que a computação quântica, por se tratar de computação baseada em átomos, pode ser uma solução para se diminuir o tamanho das portas lógicas ao nível subatômico, onde apenas um agrupamento de átomos será o responsável pela eficiência em questão de portas lógicas ou velocidade de ciclos, caso o modelo atual não seja substituído por um que tenha maior eficácia em lidar com uma situação tão singular. Mais do que uma compressão entre bits em um chip de silício, ou quantidade de hertz, "Este novo modelo é capaz de suportar um tipo de computação inteiramente novo com algoritmos qualitativamente diversos, baseados em princípios quânticos"^[1].

Partindo-se deste princípio, pode ser dada à computação uma solução de programação inteiramente conectada à forma que um físico quântico estipula seus enunciados. Isto é colocado porque, já que o computador é uma máquina física, seus enunciados são propostos baseados na física matemática. A física quântica nunca antes foi usada no propósito de computação e nada impede que o seja a partir de agora, jogando por terra os algoritmos baseados em expressões booleanas, dando início a um método inteiramente novo de desenvolvimento computacional, de forma que possamos concluir que um computador quântico seja um dispositivo capaz de realizar cálculos exponencialmente mais rápido do que os atuais computadores.

¹ A. Barenco, A. Ekert, A. Sanpera, and C. Machiavello. *A short introduction to quantum computation*. La Recherche, Novembro 1996.

BITS E QUBITS

Tradicionalmente o processamento é a informação codificada em dígitos binários, os programas tratam de objetos lógicos e os processadores operam portas lógicas que usam a lógica proposicional clássica. Os componentes lógicos se traduzem em fenômenos elétricos de dois diferentes níveis que fazem possível sua execução pelo processador.

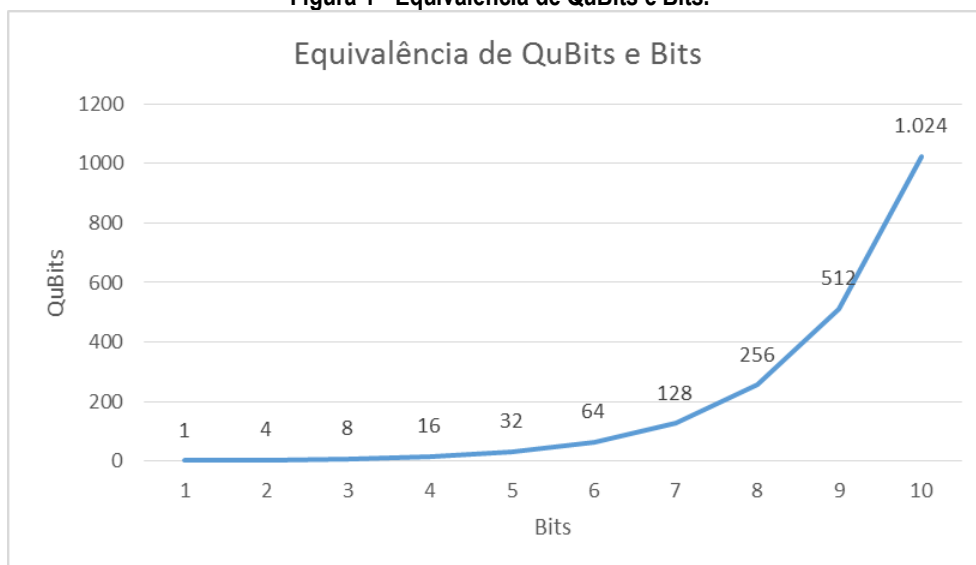
O computador quântico preserva a relação entre lógica e física, pois também recebe informação e a transforma em fenômenos. O diferente é o suporte físico: a porta lógica clássica é um circuito sob as leis clássicas do eletromagnetismo, mas a porta quântica está regida pela mecânica quântica (MQ). Assim, também os estados são diferentes: enquanto os clássicos são tensões elétricas, medidas de maneira independente, os estados quânticos nem sempre são puros, pois podem consistir na superposição de outros.

A principal propriedade quântica que está sendo estudada, sendo esta a base do computador quântico, é a chamada "Propriedade da Sobreposição Quântica". Como se tratam de propriedades em níveis atômicos, não existe uma analogia com o nosso mundo macroscópico. Tal propriedade define que um elétron pode girar para a esquerda, girar para a direita ou então girar para os dois lados simultaneamente, gerando 3 estados possíveis, diferentes e até mesmo simultâneos.

Em uma analogia ao mundo real seria como se um copo de água tivesse a possibilidade de estar cheio, vazio ou então cheio e vazio ao mesmo tempo ou, então, jogando-se uma moeda para o alto, seria possível dar cara, coroa ou cara e coroa.

Este bit mais poderoso foi denominado pelos especialistas em ciência da computação como Bit Quântico (QuBit).

Figura 1 - Equivalência de QuBits e Bits.



Para que façamos uma descrição correta entre o modelo atual e o anterior, temos que os bits simples têm duas possibilidades apenas: zero ou um. Já o QuBit é descrito por um vetor de estados em um sistema quântico de dois níveis o qual é equivalente a um vetor de espaço bidimensional sobre números complexos; apesar de não termos referências claras em nosso sistema macroscópico anacrônico, devemos abstrair as possibilidades quânticas como zero ou um e zero e um, representados com a "Notação Bra-ket" ou representação de Dirac².

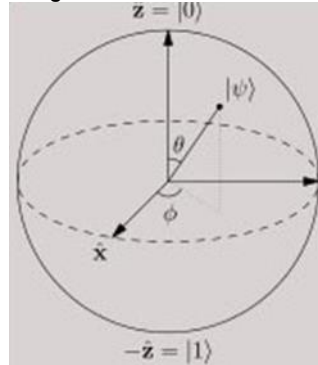
O QuBit pode ser representado como uma combinação linear, também binária, compreendida de bits do tipo $|0\rangle$ e $|1\rangle$ mas, entretanto, não é a única combinação possível. Um objeto pode ter um ângulo $|\varphi\rangle = \alpha|0\rangle +$

² Notação Bra-ket é uma notação padrão para descrever estados quânticos na teoria da mecânica quântica. Também é conhecida como representação de Dirac. Fonte (Wikipedia)

$\beta|1\rangle$, onde α e β são amplitudes probabilísticas se é considerado em estado puro, caso $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ e em superposição, caso $|\alpha|$ ou $|\beta| > 0$, quando há a superposição de estados.

Representamos graficamente um QuBit através do conceito de Felix Bloch, também conhecido como esfera de Bloch.

Figura 2 - Esfera de Bloch.



Temos, então: $\alpha = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$ e $\beta = e^{i\phi}\left(\frac{\theta}{2}\right)$.

SUPERPOSIÇÃO DE ESTADOS

A existência de 'bits' quânticos superpostos é a principal causa do interesse nos CQ's, pois um CQ poderia utilizar não apenas os estados básicos $\{|0\rangle, |1\rangle\}$, mas também os estados de superposição, que também correspondem a QuBits. Isso permitiria processamentos fortemente paralelos, pois a informação se distribuiria entre os diversos estados de maneira simultânea. Ora, para que as leis quânticas se tornem relevantes, o processador deve ter grandezas de ordem compatível com a constante de Planck, o que exige objetos nanoscópicos. Uma escolha natural deveria incluir átomos, íons, partículas, etc. O modelo constituído por íons aprisionados em campos magnéticos é um dos mais aceitos (Ciência e Cultura – Julho/Setembro, 2003)

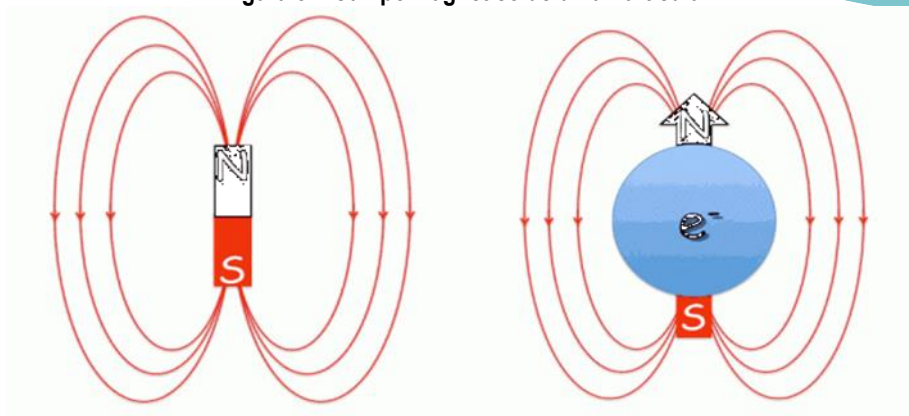
Mesmo em alto nível, a formalização da estrutura de um programa exige conhecer as variedades de organização dos CQ's, para saber de que maneira a parte lógica deve ser expressada pela parte física. No entanto, até que apareça uma arquitetura completa, especificar uma linguagem com grande detalhe será difícil.

SPIN

Na física clássica existe o magnetismo, que é parte importante do conceito de spin exemplificando, no âmbito macro, o funcionamento teórico das partículas. Assim sendo, o eletromagnetismo determina que sempre que uma partícula eletricamente carregada se movimenta, é gerado um campo magnético. Tal conceito foi facilmente verificado através de bússolas e objetos eletricamente negativos há tempos.

Além disso, quando o campo magnético é formado com característica elíptica, a polarização ao seu redor, cria o norte/sul hemisférico magnético:

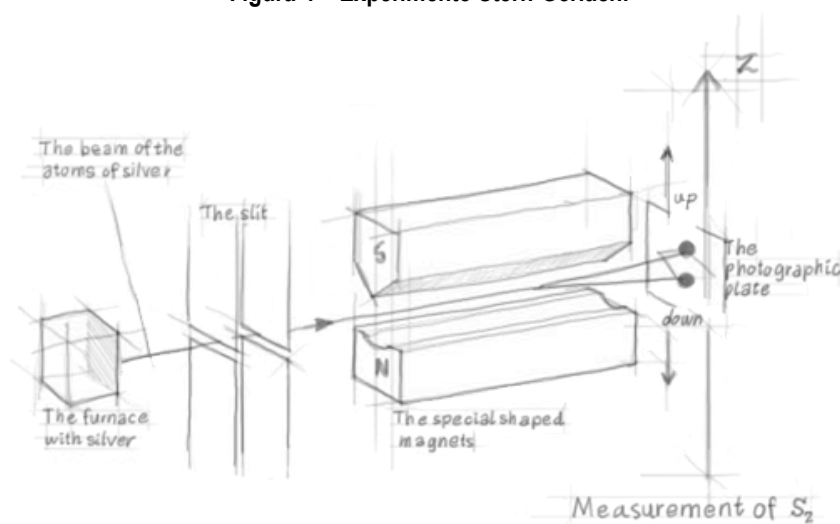
Figura 3 – Campo Magnético de uma Partícula.



Fonte: <https://uanews.arizona.edu>

O mesmo evento ocorre na maioria das vezes também no mundo quântico. Otto Stern e Walther Gerlach em 1922 participaram de um experimento que visava demonstrar elementos somente possíveis na física quântica. A este experimento, foi dado o nome de Stern-Gerlach. Basicamente, o experimento demonstra a interação do spin atômico com o campo magnético, de acordo com o momento angular do átomo, usando-se ímãs para a produção de um campo magnético não uniforme, provando a existência da superposição quântica, conforme a ilustração a seguir:

Figura 4 – Experimento Stern-Gerlach.



Fonte: <http://www.quantica.fis.ufba.br>

ANNEALING

Antes de se explicar o que é annealing, é preciso que se estabeleça sua relação com as flutuações quânticas.

Na física quântica, uma flutuação quântica (ou flutuação do vácuo quântico) é a mudança temporária na quantidade de energia em um ponto no espaço. De acordo com uma formulação do princípio, energia e tempo.

Isso significa que a conservação da energia pode parecer ter sido perdida, mas apenas por pequenos espaços de t (tempo). Isso permite a criação de partícula e antipartícula ou pares de partículas virtuais. Os efeitos destas partículas são mensuráveis, por exemplo, na taxa eficaz do elétron, diferente da sua carga^[3].

Na visão moderna, a energia é sempre conservada, mas os próprios estados de energia observável não são os mesmos.

³ Mandelshtam, Leonid ; Tamm, Igor. *The uncertainty relation between energy and time in non relativistic quantum mechanics* , Izv. Tradução Inglês: *J. Phys.*, Ed. 9ª, p.249-254 (URSS, 1945, tradução minha).

A flutuação quântica é a aparência temporária de partículas energéticas fora do espaço, como permitido pelo princípio da incerteza. O princípio da incerteza afirma que para um par de variáveis conjugadas, como a posição / impulso ou energia / tempo, é impossível ter um valor determinado com precisão de cada membro do par, ao mesmo tempo. Por exemplo, um par de partículas pode saltar para fora do vácuo durante um intervalo de tempo muito curto.

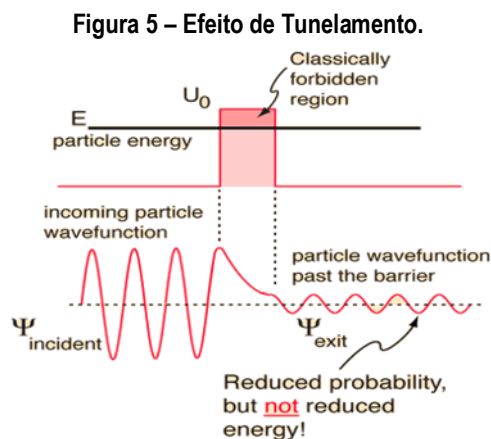
Voltando-se ao conceito do quantum annealing (ou recozimento quântico) é uma estratégia geral para resolver problemas de otimização difíceis com a ajuda de evolução adiabática quântica.

Para se simplificar o significado de annealing, podemos dizer que toda forma de recozimento quântico se baseia em um algoritmo de Método de Monte Carlo que, basicamente, é qualquer método de uma classe de métodos estatísticos que se baseiam em amostragens aleatórias massivas para obter resultados numéricos, isto é, repetindo sucessivas simulações um elevado número de vezes, para calcular probabilidades heurísticamente. Este conceito de realimentação maciça de dados com cálculos e recálculos aproxima-se da ideia de sua funcionalidade.

TUNNELING

Tunelamento quântico é um fenômeno onde uma partícula microscópica pode penetrar e na maioria dos casos, passar através de uma barreira de potencial. A barreira atravessada é reconhecida como sendo maior do que a energia cinética das partículas. Tal movimento não é permitido pelas leis da dinâmica clássica.

Apesar da complexidade estatística e probabilística da posição de uma partícula quântica, seja um elétron, um quark ou qualquer outro elemento, é de suma importância que se entenda que a partícula com força menor que uma barreira, consegue transpô-la, utilizando o menor caminho para se chegar a um destino específico, traçando um caminho onde a menor distância é alcançada, como na imagem a seguir:



Fonte: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/imgqua/barr.gif>

ENTRELAÇAMENTO QUÂNTICO

Uma diferença muito grande entre o bit clássico e o bit quântico, é que este pode realizar o que é chamado de entrelaçamento, permitindo que um conjunto de bits faça uma correlação de maneira superior ao sistema clássico.

Um entrelaçamento quântico é descrito como a conexão entre dois elementos, onde não é possível descrevermos o estado de um, sem que sua contraparte outro seja mencionada. É uma ligação tão profunda que, teoricamente, uma contraparte de um elemento permanece unida, mesmo que haja qualquer distância seja colocada entre eles.

O fenômeno é tão intangível na física convencional, que o próprio Einstein apelidou o fenômeno de ação fantasmagórica à distância, tamanha descrença na existência do efeito. Dada a complexidade para se demonstrar tal efeito, ele permaneceu no campo teórico até 30 de dezembro de 2014, quando cientistas do Centro de Dinâmica Quântica da Universidade de Griffith em Brisbane na Austrália comprovaram, através de experimentos, a existência da ação de entrelaçamento, dividindo um fóton em duas partículas em um laboratório e realizando as medições de uma das partes em um laboratório e verificando a outra, em outro. Nas condições estudadas, a teoria se mostrou realidade e a comprovação trouxe à luz novas possibilidades e inúmeras possíveis aplicações futuras.

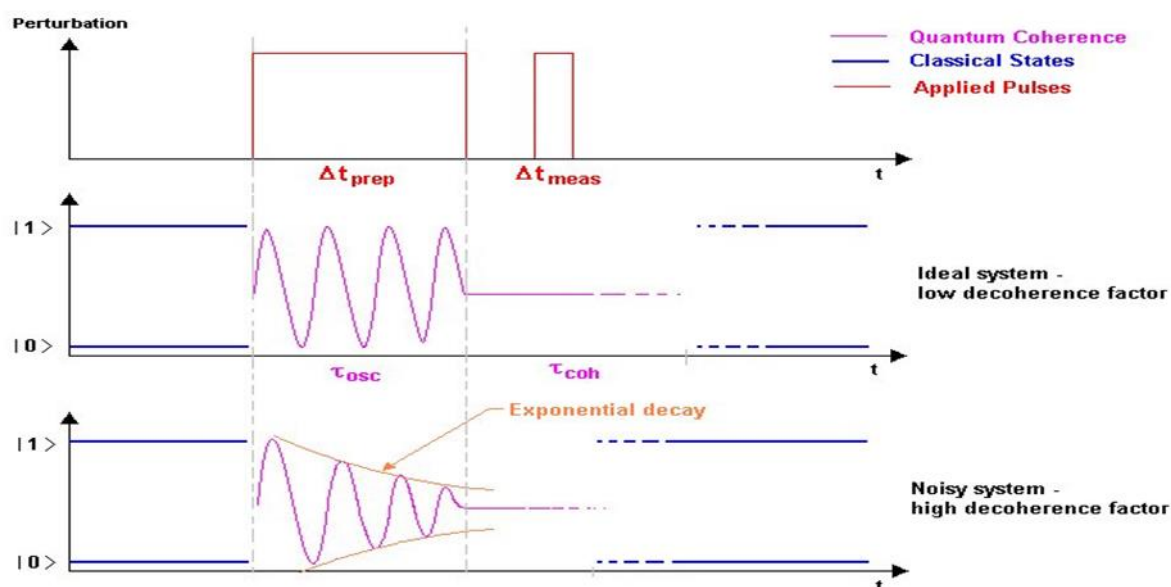
Apenas para exemplificar, uma das possíveis utilidades futuras do entrelaçamento quântico, seria a possibilidade de que fossem trocadas mensagens em tempo real, entre a Terra e possíveis futuras colônias em Marte que, diferentemente dos dias de hoje, onde uma antena UHF é usada e há um *delay* de 13 minutos e 48 segundos, mesmo com as antenas de alta velocidade.

DECOERÊNCIA E CONTROLE DE ERROS

Toda tecnologia tem seus problemas. No caso da computação convencional, como a conhecemos hoje, o problema está no elevado consumo energético, forçando as empresas produtoras de processadores a buscarem alternativas, já que o aumento da frequência de funcionamento do chip produzia cada vez mais calor, ficando impossível resfriá-lo do modo tradicional. Então, na primeira década deste milênio, foi colocada em prática e criativa ideia de se produzir processadores com mais de um núcleo, onde o trabalho seria dividido por um concentrador, e a função de processamento seria dividida em dois ou mais núcleos. Esse processo deu uma boa sobrevida ao processador que trabalha com bits, instruções e portas lógicas, mas também já margeia o limite físico possível, como conhecemos hoje.

No caso da mecânica quântica, A decoerência quântica é a perda do ângulo de fase entre os componentes do sistema dentro de uma superposição quântica. Este defaseamento dá a aparência clássica a um sistema quântico, aproximando o resultado. (M. Brune et al., 1996).

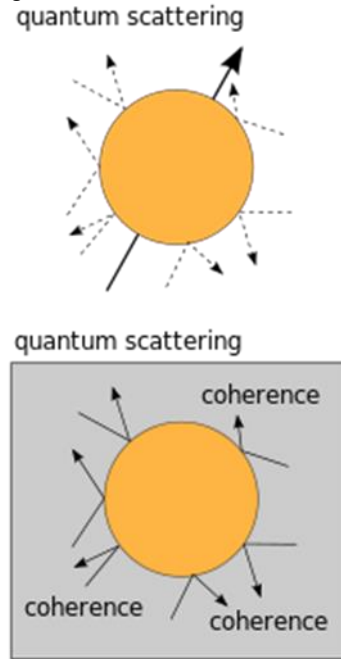
Figura 6 – Decoerência e Ruído.



Fonte: <http://www.cm.ph.bham.ac.uk/scondintro/qubitsintro.html>

Decoerência pode ser vista como a perda de informação a partir de um sistema para o ambiente uma vez que cada sistema é de baixo acoplamento com o estado energético do seu entorno. Considerado isoladamente, a dinâmica do sistema é não-unitária. Assim, a dinâmica do sistema por si só é irreversível. Como acontece com qualquer acoplamento, emaranhamentos são gerados entre o sistema e o ambiente. Estes têm o efeito de partilhar informação quântica com - ou transferindo-o para os arredores.

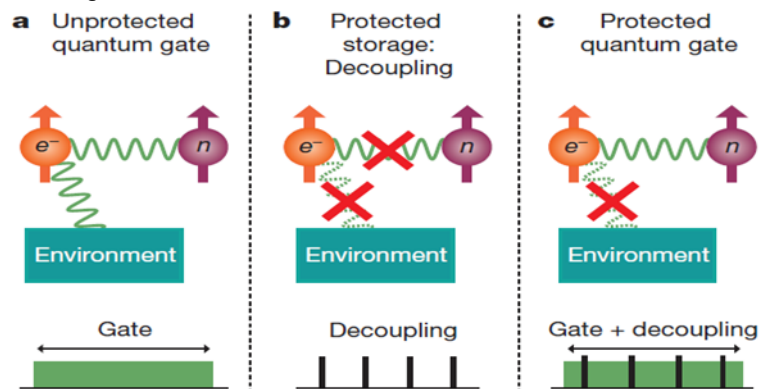
Figura 7 – Coerência e Decoerência.



Fonte: <http://www.cm.ph.bham.ac.uk/scondintro/qubitsintro.html>

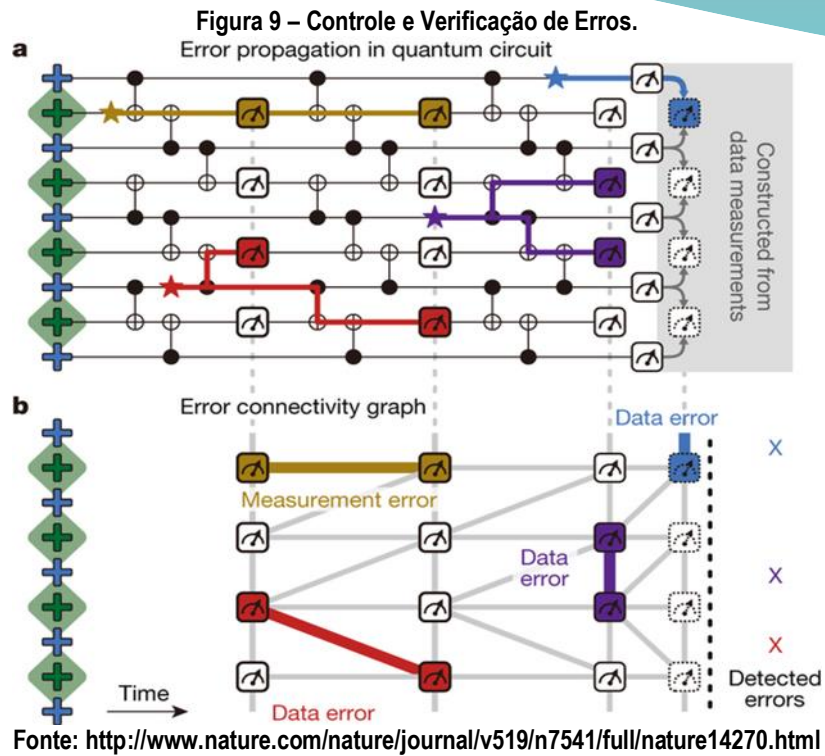
O único modo de se prevenir os efeitos de uma decoerência quântica, é a colocação de controles de erros nas saídas do sistema, produzindo-se múltiplas verificações de resultado e, em qualquer divergência, iniciam-se os cálculos novamente. Além disso, são necessárias medidas de controle, para que não haja interferência do meio ambiente ao sistema.

Figura 8 – Interferência do Ambiente em Sistemas Quânticos.



Fonte: <http://www.kurzweilai.net/quantum-computer-built-inside-a-diamond>

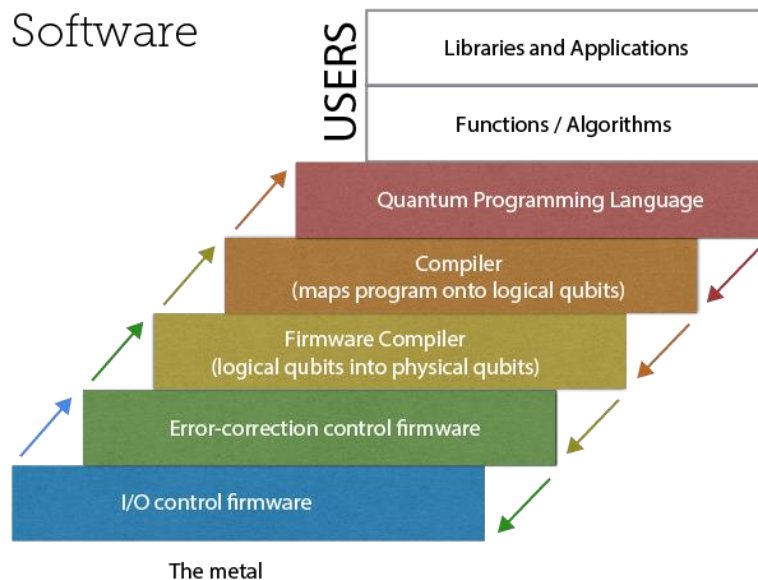
Desta forma, o entrave das diversas verificações de tudo que é produzido reduz o desempenho do processamento. O computador quântico depende de que haja a preservação muito frágil dos estados quânticos da matéria. Sua temperatura extremamente baixa é essencial para evitar a excitação da matéria, que poria em risco a produção de um movimento preciso das fases em superposição.



Toda vez que há uma camada de verificação, há uma drástica queda de desempenho. Como as leis da física quântica baseiam-se necessariamente em probabilidade, é premente que os resultados sejam monitorados em tempo real na camada de correção de erro, que ficam situadas entre o compilador e o circuito quântico de entrada e saída, conforme o gráfico das etapas de um computador quântico, demonstrado na figura a seguir:

Figura 10 – Camadas de um Software Quântico.

Full Stack Quantum Software



Fonte: <https://medium.com/@rigetticomputing/quantum-firmware-cae6d60c676e#.e5mf0hrmp>

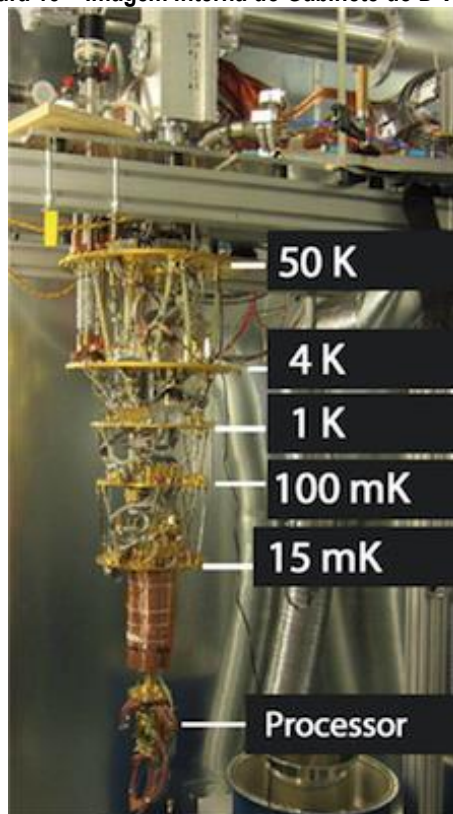
PRIMEIROS COMPUTADORES QUÂNTICOS

Houveram muitas tentativas de produção de um computador quântico viável e eficiente. Alguns modelos viriam a servir de base para a construção de alguns computadores que efetivamente produzem cálculos quânticos,

outras ideias foram abandonadas por serem ineficazes, ou incapazes de realizar os cálculos de maneira adequada e robusta.

Em 2011, uma empresa canadense D-Wave surpreendeu o mundo afirmando ter produzido o primeiro computador quântico comercial. A empresa, fundada por dois cientistas, com o apoio financeiro do governo norte americano, através da empresa Lockheed, que adquiriu o primeiro computador quântico - o D-Wave One - uma máquina capaz de processar 128 Qubits.

Figura 13 – Imagem Interna do Gabinete do D-Wave.



Fonte <http://www.dwavesys.com/>

Em 20 de maio de 2013, uma joint venture entre NASA, Google e Scientific American, adquiriram por 15 milhões de dólares o D-Wave 2, com um processador de 512 QuBits e lançaram o Quail (Quantum Artificial Intelligence Laboratory), que fica nas instalações do Google e tem o tempo de uso compartilhado entre as instituições.

Em setembro de 2015, o processador do D-Wave 2 passou por um upgrade, onde estipula-se ter dobrado sua capacidade de processamento, portanto, aproximadamente 1MQuBit. Isto não quer dizer que a velocidade dos processos de cálculo dobre, justamente pela necessidade do controle de correção de erros quânticos (QEC), mas é de se considerar que o escalonamento computacional seja sensivelmente aumentado, com o nome de D-Wave 2X

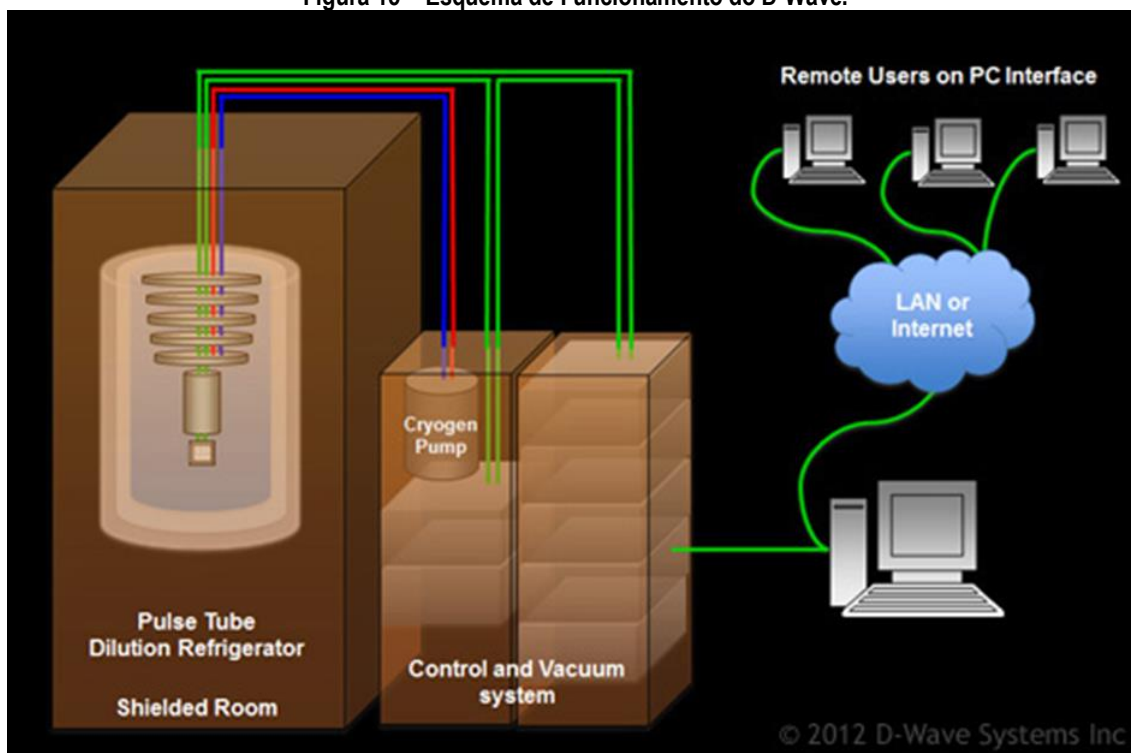
Figura 14 – Imagem do D-Wave 2X.



Fonte: <http://www.dwavesys.com/>

A maneira que os processadores quânticos são programados é usando um modelo baseado em nuvem. Isto significa que os sistemas podem ser programados remotamente a partir de qualquer local com uma conexão à internet. A figura abaixo mostra uma visão geral de como um utilizador interage com o sistema. Cada sistema D-Wave tem seu próprio servidor. O sistema de servidores lida com filas de processo, para que vários usuários possam acessar o sistema simultaneamente. À medida que mais sistemas são colocados online, este modelo vai fazer a transição para a capacidade de processamento quântico ser um recurso de co-processamento que é acessível através dos métodos de computação em nuvem clássica.

Figura 15 – Esquema de Funcionamento do D-Wave.



Fonte: <http://www.dwavesys.com/>

O Google divulga constantemente, através seu laboratório de inteligência artificial – Blog: <https://plus.google.com/communities/116461000134682563789>, os procedimentos que estão sendo pesquisados pelos seus engenheiros. Dentre eles, podemos destacar:

- a) Reconhecimento Facial;
- b) Reconhecimento de Fala;
- c) Ciência Cognitiva;
- d) Robótica;
- e) Neurociência;
- f) Vida Artificial.

Além das pesquisas do Google, a NASA desenvolve uma série de pesquisas sobre o efeito gravitacional no universo, mapeamento de estrelas e cálculos sobre a existência de exoplanetas onde há a possibilidade de vida extraterrestre.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Em tese, a maior parte das cifras de chave pública mais populares poderiam ser quebradas com rapidez, incluindo formas das cifras RSA, ElGamal e Diffie-Helman. Estas cifras são utilizadas para proteger páginas web seguras, e-mail encriptado e muitos outros tipos de dados. A quebra destes códigos poderia ter um impacto significativo. A única forma de tornar seguro um algoritmo com o RSA seria tornar o tamanho da chave maior do que o maior computador quântico que pudesse ser construído. Parece provável que possa sempre ser possível construir computadores clássicos com mais bits que o número de QuBits no maior computador quântico, e se verificar que isto é verdade, então algoritmos como o RSA poderão permanecer seguros.

A gigante Microsoft também possui o Station Q, que é um laboratório de pesquisa, localizado no campus da Universidade da Califórnia, focado em estudos topológicos de computação quântica. O laboratório e os seus colaboradores estão explorando abordagens teóricas e experimentais para criar o análogo quântico da programação tradicional, para aplicá-las nos QuBits. Em 13 de outubro de 2015 a Microsoft divulgou a projeção de que computadores quânticos funcionais serão uma realidade já na próxima década, conforme um artigo assinado por Bela Bauer e outros cientistas.

Não é possível prevermos com certeza se o computador quântico será viável e, ainda, se seu padrão será o mais indicado para o futuro. Muitos tipos de inovações tecnológicas são consideradas promissoras na substituição do silício, tais como o grafeno[4], o siliceno[5] ou até mesmo o telureto de mercúrio.

O mais emocionante da computação quântica é que, segundo a revista HplusMagazine[6], estima-se que o cérebro humano de uma pessoa comum, tenha a capacidade de processamento de 36.8×10^{15} flops (36,8 petaflops em tempo real). Em testes preliminares, o D-Wave 2 de 512 Qubits, demonstrou capacidade de processamento de $5,02 \times 10^{15}$ flops (5,02 petaflops)[7]. E, como o D-Wave recebeu o upgrade, dobrando a quantidade de QuBits do seu processador, espera-se que com a evolução natural das capacidades quânticas do D-Wave seja possível que, dentro de poucas gerações desta fantástica máquina, seu poder computacional se aproxime de uma mente humana. A consequência disto é imprevisível.

REFERÊNCIAS

BAUER, Bela, WECKER, Dave, MILLIS, Andrew J., HASTINGS, Matthew B. and TROYER, M. “Hybrid quantum-classical approach to correlated materials” – Cornell University (13/10/2016).

BRICE, J and CAPPER, P. Properties of mercury cadmium telluride EMIS datareview, (INSPEC, IEE, London, UK, 1987).

⁴ Jamie H. Warner, Fransizka Schaffel, Mark Rummeli. *Graphene: Fundamentals and Emergent Applications*

⁵ Vogt, Patrick in *Physical Review Letters*, DOI: 10.1103/PhysRevLett.108.155501

⁶ <http://hplusmagazine.com/2009/04/07/brain-chip/>

⁷ <http://www.computingfrontiers.org/2013/>

BRUNE M, HAGLEY E, DREYER J, MAITRE X, MAALI A, WUNDERLICH C, RAIMOND JM, HAROCHE S. (1996). "Observing the Progressive Decoherence of the "Meter" in a Quantum Measurement". Phys Rev Lett 77.

Gruska, Josef. "Quantum Computing", 1ª Ed, 2000, Mcgraw Hill Book Co Ltd, ISBN-10: 0077095030, ISBN-13: 978-0077095031, USA, English.

LUNGARZO, Carlos. "A programação quântica: aproveitando os códigos clássicos". Disponível em <http://cienciaecultura.bvs.br/>. Ano 2003. Acessado em 25/05/2015.

NORTON, Mariel. "IBM develops 9nm carbon nanotube transistor that beats silicone" Portal UOL, (2015), "Computador grego calculava eclipses e data das Olimpíadas". Disponível em: http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/-computador-grego_calculava_eclipses_e_data_das_olimpiadas.html. Acesso em 20/08/2015.

Portal Columbia University (2015), "Herman Hollerith". Disponível em: <http://www.columbia.edu/cu/computinghistory/hollerith.html>. Acesso em 30/09/2015.

Portal History-Computer, (2015), "The Pascaline of Blaise Pascal". Disponível em: <http://history-computer.com/MechanicalCalculators/Pioneers/Pasc>. Acesso em 03/09/2015.

Portal PBS (1999), "Gordon Moore", Disponível em: <http://www.pbs.org/transistor/album1/moore/>. Acesso em 24/06/2015.

RAZAVY, Mohsen. "Quantum Theory of Tunneling". Ed. World Scientific. Canadá: 2003

SHOCKMAN, Elizabeth. Scientists hail latest quantum computer as 'holy grail' of computing. Disponível em: <http://www.pri.org/>. Acesso em 08/04/2016

TAKAHASHI, Dean. "IBM anuncia chips de 7nm". Disponível em <http://www.venturebeat.com>. Acesso em 05/01/2016.

WIKIBOOKS. "Breve introdução à computação quântica". Disponível em <https://pt.wikibooks.org/>. Acesso em 18/05/2015.