



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXVII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2023

Utilizando algoritmos quânticos no processador quântico IBM Q experience como um recurso para a aplicação de conceitos da computação quântica

A. W. L. Serra¹; D. S. Freitas²

1. Bolsista PIBIC/CNPq, Graduando em Bacharelado em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: albert_wendler@hotmail.com
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: dfreitas@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Computação Quântica; Teletransporte Quântico; IBM-Q.

INTRODUÇÃO

Apesar do uso comercial evidente, computadores são muito úteis para pesquisa com simulações, para a segurança com a criptográfica, entre outros usos não tão observáveis para o grande público, mas ainda relevantes. Essas máquinas para usos avançados necessitam de uma capacidade de processamento gigantesca e, mesmo máquinas bastante poderosas, não são capazes de fazer uma descrição completa da mecânica quântica para um sistema com n partículas pois tal sistema é dado por $\psi(x_1, x_2, \dots, x_R)$, onde x_1, \dots, x_R são as amplitudes de probabilidade de se encontrar as partículas, e portanto, devido ao número de muitas variáveis, isso não pode ser simulado com um computador clássico com um número de elementos proporcional a R [1].

Um computador clássico precisa de uma quantidade ingente de memória para cobrir todo o espaço de Hilbert (para representar um sistema quântico com 100 qubits, é necessário escrever 2^{100} números complexos) o que é inviável em qualquer computador embasado na física clássica [2].

Com essa motivação, o estudo da computação quântica se dá início no ano de 1981, quando Feynman propõe um modelo básico para um computador quântico. Uma década depois, em 1994, o físico Peter Shor apresenta um algoritmo de fatoração para a computação quântica que, quando aplicado sem a influência de ruído, pode quebrar a criptografia clássica eficientemente [7]. Um outro algoritmo quântico relativamente bem conhecido é o algoritmo de busca de Grover, apresentado em 1995 por Lov Grover e, apesar desse algoritmo não oferecer um ganho tão significativo na velocidade de processamento quanto o algoritmo de Shor, a ampla aplicabilidade desse desperta um grande interesse no mesmo [5]. Um terceiro algoritmo importante para a computação quântica é o de teletransporte quântico, proposto por Charles H. Bennet em 1993, que é capaz de enviar a informação de um bit quântico (qbit) para um outro de forma instantânea.

A computação quântica oferece a promessa de resolver problemas complexos de forma mais eficiente do que os computadores clássicos [6]. O teletransporte quântico é um protocolo fundamental nesse campo, permitindo a transferência instantânea do estado quântico entre qbits distantes [5]. No entanto, sua implementação prática em algoritmos específicos pode apresentar desafios e impactar a eficiência computacional.

Portanto, realizar uma análise abrangente do uso do teletransporte quântico é de suma importância para avançar no campo da computação quântica e explorar todo o

potencial dessa tecnologia inovadora. Os resultados obtidos por meio dessa pesquisa podem fornecer percepções valiosas para otimizar algoritmos existentes, desenvolver novos algoritmos e aprimorar a eficiência geral dos sistemas de computação quântica.

Tendo em vista o crescimento dessa área do conhecimento e sua importância, esse trabalho visa compreender um pouco como são implementados os algoritmos através dos circuitos quânticos aplicados à processadores quânticos reais do IBM-Q.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)

Utilizando a plataforma de acesso do IBM-Q, chamada *IBM Q Experience* podemos realizar a montagem de um dado circuito de interesse, usando as portas quânticas disponíveis na plataforma. Para a utilização do IBM-Q, o usuário não precisa instalar nenhum software, apenas possuir um dispositivo móvel ou computador conectado na internet. Através de um cadastro simples o usuário passa a ter acesso gratuito ao sistema. Esse acesso a plataforma *IBM Q Experience* é realizado remotamente e consiste de uma interface gráfica do usuário ou GUI (*Graphical User Interface*). A plataforma permite duas possibilidades: simular os circuitos quânticos em computadores convencionais e/ou realizar o processamento em um hardware quântico universal de 5-qbits [4, 5]. Portanto, um experimento no IBM-Q possibilita: (a) especificar o circuito, usando a interface gráfica ou um editor de texto disponível pela plataforma; (b) executar o circuito de interesse no simulador e/ou dispositivo real; (c) Realizar as medidas sobre os qubits.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO (ou Análise e discussão dos resultados)

Os vetores de estados $|1\rangle$ e $|0\rangle$ são os estados da base computacional e formam uma base ortonormal para esse espaço vetorial [5]. Os estados $|1\rangle$ e $|0\rangle$ estão representados com a notação de braket ou notação de Dirac, esses também podem ser representados pela notação matricial:

$$|0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad |1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Sobre esses estados, são utilizadas as portas lógicas quânticas, ou apenas portas quânticas, a fim de se obter um novo estado e, assim, fazer operações lógicas no circuito quântico. Essas portas lógicas são matrizes de transformações que obedecem a relação $U^\dagger U = \hat{1}$, sendo $\hat{1}$ a matriz identidade [3].

Na plataforma da IBM-Q, os qbits são iniciados no estado $|0\rangle$, portanto, se for efetuada uma medição sobre esses qbits, sempre será encontrado o estado $|0\rangle$.

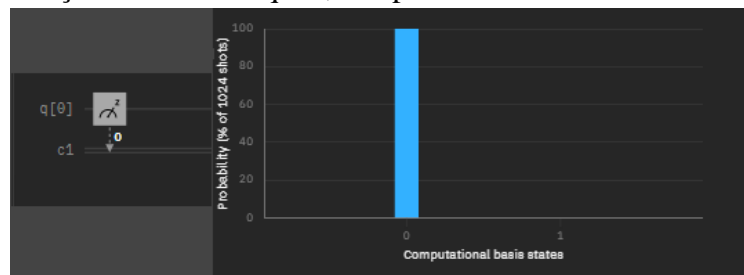


Fig. 1: Medição de um qbit iniciado no estado $|0\rangle$ com 1024 shots utilizando um simulador presente na plataforma da IBM-Q.

Em cima desse qbit, podemos utilizar portas a fim de manipular seu estado da forma que nos convém. Um estado interessante seria o estado de superposição, que pode ser alcançado usando a porta Hadamard sobre o qbit em questão. Ao utilizar a porta Hadamard, a seguinte operação é feita retornando os seguintes resultados:

$$H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle) = |+\rangle \text{ ou } H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle) = |-\rangle$$

Em ambos os casos a probabilidade de se encontrar o qbit no estado $|0\rangle$ ou no estado $|1\rangle$ é de 50%, respeitando a condição de normalização $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$, onde α e β são as amplitudes de probabilidade. Portanto, aplicando a porta Hadamard à um qbit e medi-lo, será encontrado em 50% dos casos o estado $|0\rangle$, ou o estado $|1\rangle$.



Fig. 2: Porta Hadamard aplicada à um qbit e sua medição (8192 shots) utilizando o simulador `simulator_stabilizer` encontrado na plataforma da IBM-Q.

Efetuada a medição, mesmo utilizando um simulador, é obtida uma amplitude de probabilidade ligeiramente diferente de 50%, e isso se dá ao fato de que, mesmo que seja um simulador, este simule o erro presente nos processadores.

Utilizando uma porta Hadamard e uma CNOT, pode-se entrelaçar dois qbits, fazendo com que o estado de um determinado qbit dependa do outro, construindo o estado de Bell.

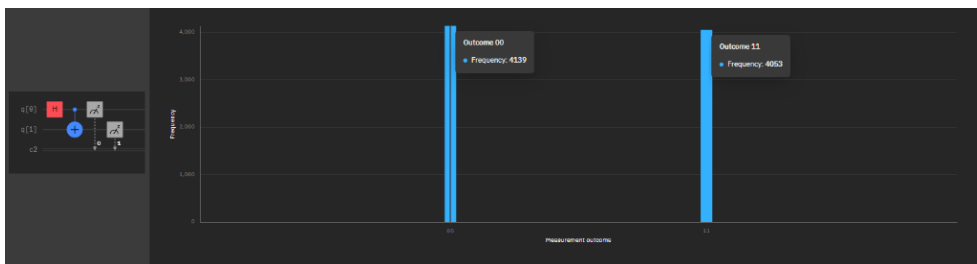


Fig. 3: Circuito de dois qbits entrelaçados e sua medição (8192 shots) utilizando o simulador `simulator_stabilizer` encontrado na plataforma da IBM-Q.

O qbit $q[0]$ está em uma superposição entre os estados $|0\rangle$ e $|1\rangle$, portanto, ao medi-lo, se seu estado for zero, a CNOT não alterará o estado do qbit $q[1]$, mas se seu for $|1\rangle$ a porta CNOT age sobre o qbit $q[1]$ alterando seu estado para $|1\rangle$. Dessa forma, apenas os estados para os dois qbits $|00\rangle$ e $|11\rangle$ podem ser medidos, onde o ket $|xy\rangle$ é lido da direita para a esquerda representando os estados dos qbits $q[0]$ e $q[1]$, respectivamente.

Utilizando o estado de Bell, é possível construir o circuito de teletransporte quântico, onde pode-se enviar informação à uma distância arbitrária de forma instantânea [5].

