UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto nº17.228 de 25/11/2016
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS
SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2021

IMPLEMENTAÇÃO DE ALGORITMOS QUÂNTICOS NO PROCESSADOR QUÂNTICO IBM Q EXPERIENCE

Aisis Rodrigues Barbosa[1]; Dagoberto da Silva Freitas[2]
1. Bolsista PEVIC/UEFS, Graduando em Bacharelado em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: aisisb21@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: dfreitas@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Computador Quântico; IBM-Q; Portas Quânticas.

INTRODUÇÃO

As manipulações de sistemas e circuitos quânticos vem apresentando desenvolvimento satisfatório baseando-se na criação e na evolução dos chamados computadores quânticos. Esses computadores, por serem baseados em fundamentos da mecânica quântica como a superposição e o emaranhamento, vêm sendo utilizados como uma alternativa para solucionar problemas mais complexos que exigem um alto nível de processamento, na qual um computador clássico não consegue solucionar nem alcançar.

Os computadores quânticos usam bits conhecidos como *qubits* ou *quantum bit* para transportar informações e ao contrário dos bits clássicos, podem assumir valores de zero, um ou uma sobreposição de ambos os valores ao mesmo tempo [1]. A representação desses *qubits* está conectada vetorialmente ao espaço de *Hilbert* e aos sistemas finitos [2], essa versão quântica do bit é rotulada como $|0\rangle$ e $|1\rangle$, as chamadas bases computacionais, e são equivalentes aos vetores de estado bidimensionais $(1\ 0)$ e $(0\ 1)$ respectivamente.

Uma outra representação do *quantum bit* é apresentada na esfera imaginária de Bloch, onde o bit quântico pode estar em qualquer ponto da esfera, permitindo assim que o *qubit* possa armazenar mais informações que um bit clássico convencional [2]. Quando esses *qubits* são implementados a um circuito e consequentemente passam pelo processo de medição, este *qubit* acabará colapsando no sistema para um dos dois estados da base computacional e os resultados serão tratados como bits clássicos probabilísticos.

O processamento de informações na computação quântica ocorre por meio dos circuitos quânticos que estão agrupados a portas quânticas responsáveis por atuar nos *qubits*, que por sua vez podem ser manipulados ou ter seus estados alterados.

Algumas das portas quânticas presentes na computação são, a porta *NOT* ou *X*, que é responsável por inverter os *qubits* de zero para um e vice-versa [4,5], a porta *Hadamard* (*H*), que responsável por força os *qubits* a uma superposição de probabilidade iguais e temos a porta de 2-*qubits* denominada *CNOT*, que atua associada ao conceito do emaranhamento quântico, ela vai agir em estados de 2-*qubits* de entradas denominados controle e alvo.

Uma das empresas responsáveis no ramo da computação quântica é a *International Business Machines Corporation* (*IBM*), ela possui uma linha de computadores quânticos chamadas de *IBM-Q* [7] que demonstra princípios importantes da computação quântica aspirando a resolução de problemas complexos. A plataforma apresentada pelo *IBM-Q* Fig.1 é de fácil compreensão para a construção de circuitos quânticos, baseando-se no sistema de arrastar e soltar as portas lógicas. A empresa viabilizou o processamento desses circuitos em nuvem de maneira gratuita através do seu processador de 5-*qubit,* sendo apenas necessário fazer um cadastro básico para ter acesso a plataforma de maneira gratuita.

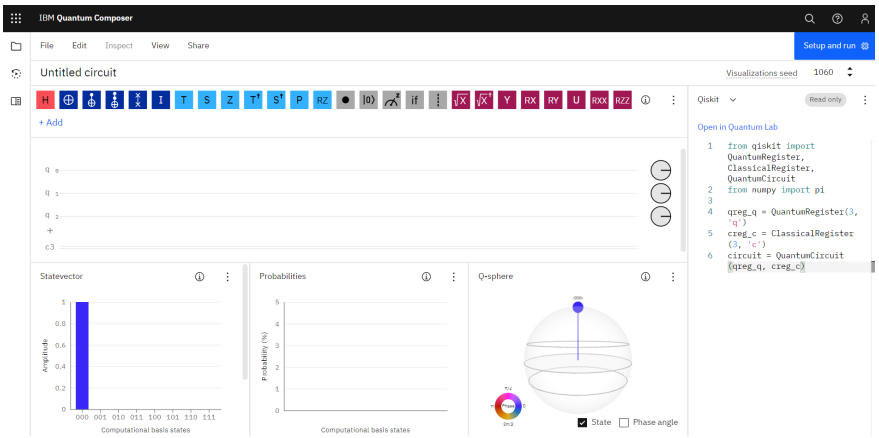

Figura 1: Plataforma da *IBM-Q*, com todas as opções presentes no simulador.

A proposta de utilizar simuladores clássicos e os processadores quânticos da *IBM-Q* como recurso para aprendizagem dos conceitos de computação quântica é interessante, pois a partir de poucos recursos é possível implementar alguns algoritmos quânticos [6].

MATERIAL E MÉTODO

Trataremos de um dispositivo virtual que pode ser acessado remotamente, por meio de um simples cadastro gratuito diretamente no site da *IBM* [7]. O modelo do processador real, a ser utilizado no processamento, foi o *ibmq_santiago* e simulador selecionado foi o *ibmq_qasm_simulator*, realizando 1024 medições (vezes rodadas) em ambos.

O primeiro circuito a ser executado está diretamente relacionado a porta X e a sua atuação na base computacional quântica Fig. 2. É um circuito simples e inicial usado para compreender um pouco da teoria relacionada a computação quântica.

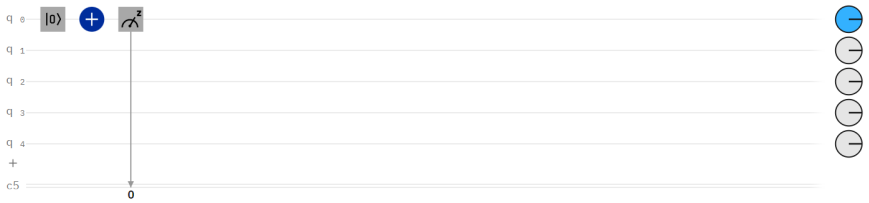

Figura 2: Circuito quântico a ser executado, “Hello World”.

O segundo circuito é conhecido como o estado de Bell, esse circuito é empregado para a criação de um estado emaranhado de 2-*qubits* Fig. 3. O estado de Bell é um dos primeiros passos a serem seguidos quando estamos trabalhando com teletransporte quântico [8].

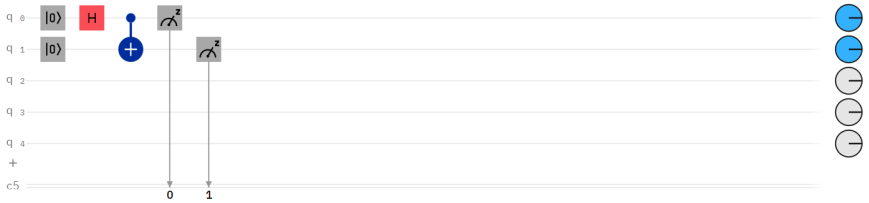

Figura 3: Circuito quântico a ser executado, estado de Bell.

Como a transferência de um estado quântico de um *qubit* para o outro é de certa forma mais limitada na computação quântica, então há uma importância na implementação de alternativas para suprir essa necessidade. Por essa razão o último circuito executado é uma versão mais simplificada de um circuito de teletransporte quântico Fig. 4. Esse circuito requer uma melhor compreensão sobre as portas e os estados quântico, tendo como objetivo teletransportar o estado $|0\rangle$ do primeiro *qubit* para o terceiro [9].

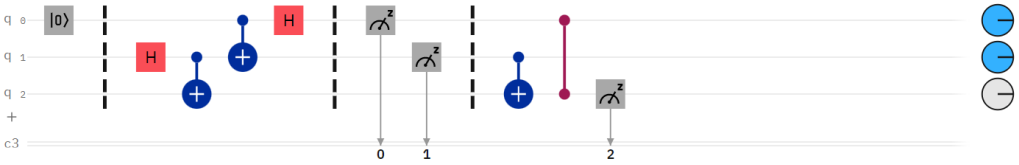

Figura 4: Circuito quântico a ser executado, teletransporte quântico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado dos processamentos dos circuitos é apresentado na Fig.5, as medições foram feitas tanto em um simulador quanto em um processador real. Então é apresentado os seguintes histogramas das frequências relativas correlacionada aos bits clássicos como resultados, rodando 1024 vezes cada um dos circuitos montado:

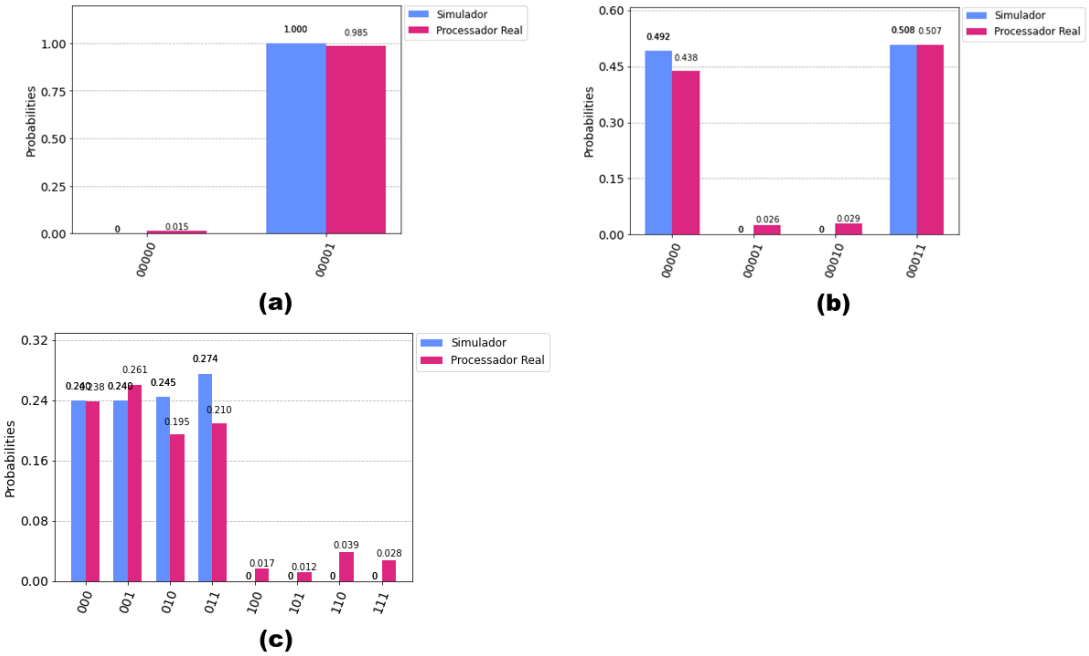

Figura 5: (a) Resultados referentes ao circuito 1. (b) Resultados referentes ao circuito 2. (c) Resultados referentes ao circuito 3. Histogramas resultantes do conjunto de 1024 medições realizada para cada circuito, relacionando a frequência relativa e os bits clássicos. Em Azul, é o resultado da simulação e em Rosa, o resultado do processador da *IBM-Q*.

Nas Fig.5 (a) e Fig. 5 (b) é apresentado os resultados das simulações tanto em um caso ideal quanto em um processador real, ambos os processamentos apresentarem uma pequena discrepância entre os resultados esperados e o reais. Na Fig.5 (a) é apresentado, de maneira satisfatória, a mudança de base do *qubit* de $|00000\rangle$ para $|00001\rangle$, já esperada por se tratar da porta *X* e a Fig. 5 (b) mostra as probabilidades aleatórios do comportamento de um circuito quântico emaranhado, na qual metade das vezes o *qubit 0* (q_0) é $|00000\rangle$ e na outra metade é $|00011\rangle$ e por consequência do estado de emaranhamento, o *qubit 1* (q_1) também apresentará o mesmo comportamento, logo há uma correlação entres os *qubits* q_0 e q_1. Os erros relacionados aos histogramas são previstos e estão dentro da margem de erro tolerada, por se tratar de um processador real sujeito a erros e alterações ambientais.

A Fig.5 (c) apresenta um pouco mais de erros, mas demonstra o objetivo do circuito, na qual os resultados mostram que o teletransporte do estado $|0\rangle$ presente no *qubit* q_0 para o q_2 é realizado. Um exemplo disso seria o resultado da *string* $|001\rangle$, que pode ser analisado como $C2 = q_2 = 0$, $C1 = q_1 = 0$ e $C0 = q_0 = 1$. Para diminuir os ruídos e erros presentes neste circuito é possível utilizar a técnica de mitigação de erros para melhorar os resultados, além de ser preciso fazer uma otimização no circuito de teletransporte.

Os erros presentes nos circuitos durante os processamentos podem ser associados a medições imperfeitas, ruídos e/ou vestígios de aquecimento do qubit.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao estudar e se aprofundar mais nos princípios ligados a computação quântica, os conceitos aos quais essa ciência está relacionada acabam se tornando amplamente compreendidos, mesmo que seja em um nível mais geral.

Os avanços nos simuladores quânticos, tornou o aprendizado mais facilitado, pois não é preciso muitos recursos acessar esses simuladores. Como exemplo, alguns circuitos simples podem ser abordados como ferramenta didática, como demonstrado durante a análise. A implementação desses circuitos no processador quântico *IBM-Q* apresentou resultados satisfatórios, apesar dos erros, revelando diversas características importantes nesse processador, desde a facilidade na criação dos circuitos até o seu próprio processamento. O uso desses computadores pode ser implementado em diversas áreas da ciência e se a sua discussão for largamente abordada, vários novos conceitos podem ser expressos, pois ao contrário da perspectiva limitante da mecânica clássica a mecânica quântica ainda há muitos aspectos a serem estudados.

REFERÊNCIAS

[1] RIGOLIN, G. Emaranhamento quântico. Physicae, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 1–7, 2008. DOI: 10.5196/physicae.7.1. Disponível em: https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/physicae/article/view/13410. Acesso em: 7 set. 2021.

[2] SILVA, W. N. S. 2018. Uma introdução à computação quântica. Universidade de São Paulo, Monografia.

[3] BLACKMAN, Igor V. 2017. Simulando Algoritmos Quânticos em um Computador Clássico. Universidade Federal Fluminense, TCC.

[4] NORLÉN, Hassi. 2020. Quantum Computing in Practice with Qiskit(R) and IBM Quantum Experience(R): Practical recipes for quantum computer coding at the gate and algorithm level with Python. Mumbai, Packt Publishing, 408 p.

[5] MORA, C. C. 2019. Mastering Quantum Computing with IBM QX: Explore the world of quantum computing using the Quantum Composer and Qiskit. Mumbai, Packt Publishing, 308 p.

[6] RABELO, Wilson R.M.; COSTA, Maria Lúcia M. Uma abordagem pedagógica no ensino da computação quântica com um processador quântico de 5-qbits. Revista Brasileira de Ensino de Física [online]. 2018, v. 40, n. 4 [Acessado 7 setembro 2021], e4306. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0038>.

[7] IBM Quantum Team. Quantum Composer user guide / Welcome to IBM Quantum Composer. Disponível em: https://quantum-computing.ibm.com/composer/docs/iqx/. Acessado em 07 de setembro de 2021.

[8] SANTOS, Alan C. O Computador Quântico da IBM e o IBM Quantum Experience. Revista Brasileira de Ensino de Física [online]. 2017, v. 39, n. 1 [Acessado 7 setembro 2021], e1301. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0155>.

[9] Qiskit. Quantum Teleportation. Disponível em: https://qiskit.org/textbook/ch-algorithms/teleportation.html. Acesso em 07 de setembro de 2021.