



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

XXIX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2025

Perda de coerência em caminhada quântica no processador quântico IBM Q Experience

Lucas Lima Carneiro¹; Dagoberto da Silva Freitas²

1. Lucas Lima Carneiro, PROBIC/UEFS, FÍSICA, e-mail: lucaslima200227@gmail.com

2. Dagoberto da Silva Freitas, DEPARTAMENTO DE FÍSICA, e-mail: dfreitas@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Computação Quântica; Caminhada Quântica; Perda de coerência

INTRODUÇÃO

A computação quântica tem se consolidado como uma das áreas mais promissoras da ciência e tecnologia contemporâneas, por oferecer novas formas de processamento de informação baseadas nos princípios da mecânica quântica (NIELSEN & CHUANG, 2010). Diferente dos computadores clássicos, que operam com bits capazes de assumir apenas os valores 0 ou 1, a computação quântica utiliza *qubits* (bits quânticos), os quais podem estar em estados de superposição, permitindo o armazenamento e processamento de grandes quantidades de informação de maneira mais eficiente. Esse novo paradigma tem potencial para impactar significativamente diversas áreas, desde a criptografia até a simulação de sistemas físicos complexos (BENNETT & BRASSARD, 1984; SHOR, 1994). Nesse contexto, as caminhadas quânticas destacam-se como modelos de interesse por apresentarem características que as diferenciam das caminhadas aleatórias clássicas, oferecendo vantagens na formulação de algoritmos e no estudo de processos físicos (AHARONOV et al., 1993; KEMPE, 2003). No entanto, a implementação prática de tais sistemas ainda enfrenta obstáculos, principalmente relacionados à perda de coerência quântica, causada por interações com o ambiente e ruídos intrínsecos do hardware (ZUREK, 2003). A análise desses efeitos torna-se fundamental para compreender as limitações atuais da computação quântica e propor estratégias de mitigação.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo investigar a influência da perda de coerência em caminhadas quânticas discretas, utilizando a plataforma IBM Quantum Experience (IBM-Q) e o simulador Qiskit Aer (CROSS et al., 2018). Por meio da implementação de circuitos quânticos e da introdução de modelos de ruído, buscou-se comparar os resultados obtidos em cenários ideais e em condições ruidosas, avaliando o impacto direto na distribuição de probabilidades associadas à caminhada quântica. A relevância deste estudo está em contribuir para a compreensão prática dos desafios enfrentados no desenvolvimento da computação quântica e em fortalecer a formação acadêmica por meio do uso de ferramentas computacionais de ponta.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)

O desenvolvimento deste trabalho foi conduzido a partir da construção e simulação de circuitos quânticos utilizando a plataforma IBM Quantum Experience (IBM-Q) e o pacote Qiskit Aer, ambos disponibilizados pela International Business Machines Corporation (IBM). Inicialmente, foram implementadas caminhadas quânticas discretas em cenários ideais, sem a presença de ruído, de modo a estabelecer um padrão de referência para as distribuições de probabilidade resultantes. Em seguida, foram aplicados modelos de ruído disponibilizados pelo módulo *noise* do Qiskit, com destaque para o erro de inversão de bit e o processo de relaxamento térmico, com o objetivo de analisar o impacto da perda de coerência na dinâmica do sistema (CROSS et al., 2018).

As simulações foram realizadas em ambiente computacional com suporte à biblioteca Qiskit, em linguagem Python, o que permitiu não apenas a execução dos circuitos, mas também a visualização e análise dos resultados por meio de histogramas de probabilidade. Para garantir maior fidelidade ao comportamento físico dos sistemas quânticos, foram empregados modelos de ruído calibrados de acordo com parâmetros experimentais, reproduzindo condições semelhantes às encontradas em processadores quânticos reais (GAMBETTA et al., 2017).

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

Durante o andamento dos trabalhos vários modelos de circuitos foram implementados, com efeito, apenas alguns deles se tornaram de grande utilidade em nossa análise e pesquisa. Abaixo, temos dois modelos que são os pontos principais para análise de perda de coerência, o primeiro deles trata-se de um modelo básico de ruído de erro de inversão de bits.

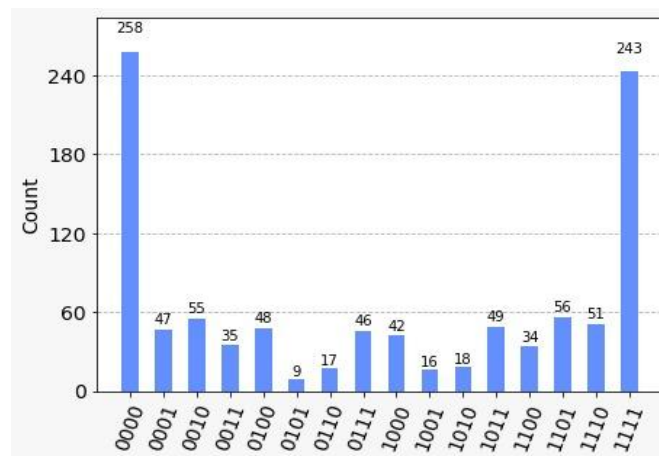


Figura 1 - Histograma de saída de um circuito que introduz um modelo de ruído de inversão de bit (simulação ruidosa).

Partindo para um modelo de erro mais realista, o exemplo 2 é baseado no relaxamento térmico com o ambiente de qubit.

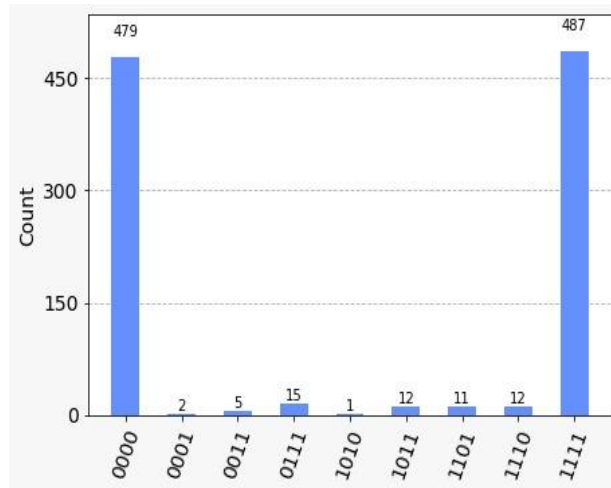


Figura 2 - Histograma de saída de um circuito que simula um estado de relaxamento térmico (simulação ruidosa).

Por fim, temos abaixo o gráfico que relaciona as métricas envolvidas na análise de perda de coerência da caminhada com o número de passos do caminhante. A coluna amarela corresponde a simulação de circuito ideal, a coluna azul corresponde ao bit-flip do exemplo 1 enquanto a coluna verde mostra a *amplitude damping* do exemplo 2.

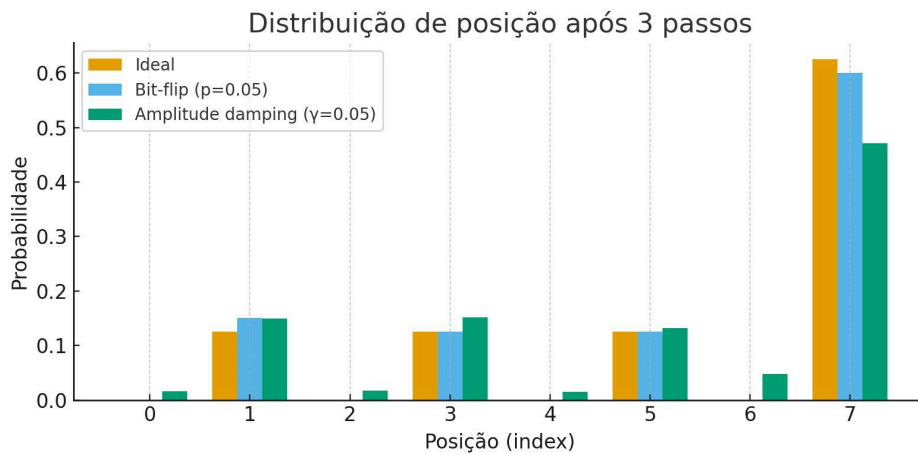


Figura 3 - Gráfico que relaciona a posição do caminhante nos circuitos (ideal, inversão de bits e relaxamento térmico) após 3 passos da caminhada.

A análise dos resultados obtidos a partir da caminhada quântica de três passos evidenciou diferenças significativas entre os circuitos ideais e aqueles sujeitos a modelos de ruído. No cenário ideal, as distribuições de probabilidade apresentaram simetria e coerência características, refletindo a evolução quântica sem perturbações externas. Quando aplicado o modelo de erro de inversão de bit (*bit-flip*), observou-se a alteração das probabilidades em posições específicas, resultando em um desvio em relação ao padrão esperado, o que evidencia a perda parcial da coerência do sistema. Já no caso do relaxamento térmico (*amplitude damping*), as amplitudes tenderam a se concentrar em estados de menor energia, indicando a dissipação de informação quântica para o ambiente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)

Os resultados obtidos ao longo do trabalho demonstraram que a implementação de caminhadas quânticas na plataforma IBM Quantum Experience, utilizando o *framework* Qiskit, constitui uma ferramenta eficaz para compreender tanto a dinâmica ideal de circuitos quânticos quanto os efeitos adversos introduzidos por modelos de ruído. A comparação entre os cenários simulados evidenciou a importância da coerência quântica e como sua perda impacta diretamente a distribuição de probabilidades, representando um desafio central no avanço da computação quântica. Dessa forma, o estudo contribui para a formação acadêmica no campo, ao mesmo tempo em que ressalta os limites tecnológicos atuais e a necessidade de desenvolvimento contínuo em técnicas de mitigação de erros.

REFERÊNCIAS

BENNETT, C. H.; BRASSARD, G. Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing. In: *Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing*. Bangalore: IEEE, 1984. p. 175–179.

AHARONOV, Y.; DAVIDOVICH, L.; ZAGURY, N. Quantum random walks. *Physical Review A*, v. 48, n. 2, p. 1687–1690, 1993.

SHOR, P. W. Algorithms for quantum computation: Discrete logarithms and factoring. In: *Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*. Santa Fe: IEEE, 1994. p. 124–134.

KEMPE, J. Quantum random walks: An introductory overview. *Contemporary Physics*, v. 44, n. 4, p. 307–327, 2003.

ZUREK, W. H. Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical. *Reviews of Modern Physics*, v. 75, n. 3, p. 715–775, 2003.

NIELSEN, M. A.; CHUANG, I. L. *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

CROSS, A. W.; BISHOP, L. S.; SMOLIN, J. A.; GAMBETTA, J. M. Open quantum assembly language. *Quantum Science and Technology*, v. 3, n. 2, p. 1–20, 2018.

ABRAHAMSEN, J.; WOOTTON, J.; SIVAK, V.; MARTINS, F.; SANTOS, M. Qiskit Aer: High-performance simulator for quantum circuits. *Journal of Open Source Software*, v. 6, n. 65, p. 3273, 2021.

IBM QUANTUM. Qiskit documentation. Disponível em: <https://qiskit.org/documentation/>. Acesso em: 11 set. 2025.