

# Simulando Fundamentos da Informação Quântica em Qiskit: *No-deleting* e Teletransporte

Mariana Santos Costa e Gisele Bosso de Freitas

**Resumo**—Propõe-se uma abordagem didática que integra o teorema do *No-deleting* e o protocolo de teletransporte quântico. A principal contribuição está na articulação entre formalização teórica e simulações no Qiskit, demonstrando, de forma acessível, a impossibilidade de apagar universalmente um estado quântico desconhecido e a utilização do teletransporte como recurso essencial para a futura Internet Quântica. Os resultados evidenciam a consistência entre teoria e prática, destacando o papel do *No-deleting* na preservação da informação e a fidelidade do teletransporte na transferência de estados. A proposta aproxima os fundamentos da informação quântica das aplicações emergentes em comunicação e segurança.

**Palavras-Chave**—Informação quântica, teletransporte quântico, *No-deleting*, Qiskit.

**Abstract**—We propose a didactic approach that integrates the *No-deleting* theorem and the quantum teleportation protocol. The main contribution lies in combining theoretical formalization with Qiskit simulations to demonstrate, in an accessible and reproducible way, the impossibility of universally erasing an unknown quantum state and the use of teleportation as an essential resource for the future Quantum Internet. The results show the consistency between theory and practice, highlighting the role of *No-deleting* in information preservation and the fidelity of teleportation in state transfer. This proposal bridges the fundamentals of quantum information with emerging applications in communication and security.

**Keywords**—Quantum Information, Quantum Teleportation, *No-deleting*, Qiskit.

## I. INTRODUÇÃO

A computação quântica consolida-se como um dos campos mais promissores da ciência contemporânea, tanto pelo potencial de resolver problemas, quanto pelas aplicações em comunicação e segurança da informação. Entre seus fundamentos destacam-se os limites impostos pelos teoremas da não-clonagem e do não-apagamento, que asseguram a consistência da teoria da informação quântica ao demonstrar, respectivamente, a impossibilidade de clonar e de apagar universalmente estados arbitrários [1], [2]. Em contraste a essas restrições, Bennett e colaboradores [3] propuseram o protocolo de teletransporte quântico, que transfere estados entre nós distantes mediante emaranhamento e comunicação clássica, fundamentando futura Internet Quântica [4], [5].

O Qiskit é um framework de código aberto desenvolvido pela IBM [6], que permite criar, simular e executar circuitos

Mariana Santos Costa, Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas - CCENT, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, Imperatriz-MA, e-mail: xxxxx@yyyyy.zzzzz.br; Gisele Bosso de Freitas, Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas - CCENT, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, Imperatriz-MA, e-mail: giselebosso@uemasul.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPEMA (XX/XXXXX-X).

quânticos em dispositivos reais ou simuladores clássicos. Com uma biblioteca escrita em Python, é possível visualizar estados quânticos, medir fidelidade de protocolos e testar algoritmos em ambientes de pesquisa e ensino. Sua comunidade ativa e documentação extensa o tornam uma das principais ferramentas para explorar a computação quântica atualmente.

Nesse cenário, este trabalho propõe a integração do teorema *No-deleting* e do protocolo de teletransporte quântico em uma abordagem didático-computacional. A combinação entre formalização teórica e simulações em Qiskit busca evidenciar, de maneira acessível e reproduzível, a conexão entre princípios fundamentais e aplicações práticas, contribuindo para a formação de estudantes e para a divulgação científica no contexto emergente da Internet Quântica.

## II. METODOLOGIA

O estudo foi estruturado em duas etapas principais: a formalização teórica e a simulação computacional. Na primeira, revisamos os fundamentos do teorema *No-deleting* e do protocolo de teletransporte quântico, descrevendo-os em termos de estados de Bell e operadores unitários, o que possibilitou a tradução direta para circuitos quânticos. Na segunda etapa, implementamos esses circuitos em Python 3.10 com o framework Qiskit, utilizando portas Hadamard, CNOT e operadores Pauli (X e Z). As simulações foram realizadas tanto no statevector simulator quanto no qasm\_simulator, com até 8192 shots, permitindo analisar distribuições de probabilidades e fidelidade dos estados. As figuras foram geradas a partir dos recursos do Qiskit e complementadas pelo uso da biblioteca Matplotlib. Por fim, a análise comparou a consistência entre teoria e simulação, confirmando a impossibilidade de eliminação de informação no *No-deleting* e a eficiência do teletransporte quântico, integrando ambos em uma proposta original de caráter didático e formativo

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teorema do *No-deleting* afirma que não é possível apagar uma das cópias de um estado quântico desconhecido por meio de uma operação unitária, mantendo a outra inalterada:

$$U(|\psi\rangle \otimes |\psi\rangle \otimes |A\rangle) \neq |\psi\rangle \otimes |0\rangle \otimes |A_\psi\rangle$$

Construímos dois circuitos no Qiskit:

- **Circuito 1:** preparação de dois qubits no mesmo estado  $|+\rangle$ .
- **Circuito 2:** tentativa de substituição do segundo qubit por  $|0\rangle$  via portas lógicas.

Na Figura 1, é apresentado o circuito quântico implementado no Qiskit para testar a validade da operação de

apagamento por meio da porta lógica CNOT. Inicialmente, os qubits são preparados com portas Hadamard, criando uma superposição que permite verificar o comportamento da operação em diferentes estados.

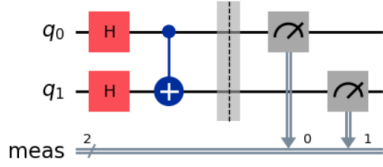


Fig. 1. Circuito quântico simulado no Qiskit, funcional apenas para estados básicos  $|0\rangle$  e falho em superposições, mostrando sua limitação.

Em outras palavras, para realizar o apagamento de informação no Qiskit, é necessário preparar os qubits por meio da função `prepare_psi()`. A tentativa de apagamento utiliza a porta lógica CNOT, que inverte o estado do qubit 1. O circuito indica que a operação é válida apenas para estados específicos, como  $|0\rangle$ , falhando quando aplicada a superposições. Essa limitação fica evidente na matriz densidade abaixo, onde as coordenadas diferem dos valores esperados, demonstrando a não universalidade da operação.

$$\rho = \begin{pmatrix} 0.25 + 0i & 0.25 + 0i \\ 0.25 + 0i & 0.25 + 0i \end{pmatrix}, \quad \text{dims} = (2, 2)$$

O protocolo de teletransporte permite transferir um estado  $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$  de Alice para Bob utilizando um par emaranhado do tipo EPR e dois bits clássicos de informação. O processo simulado inicia-se com a preparação do estado  $|\psi\rangle$  no qubit 0, pertencente a Alice. Em seguida, cria-se o par EPR entre os qubits 1 e 2, compartilhado por Alice e Bob. Após essa etapa, Alice realiza uma medida de Bell sobre os qubits 0 e 1, cujo resultado gera dois bits clássicos. Esses bits são então transmitidos a Bob, que aplica correções apropriadas nos seus qubits por meio das portas  $X$  e  $Z$ . Como consequência, o estado original de Alice é reconstruído no qubit de Bob, completando o processo de teletransporte. A Figura 2 ilustra o circuito quântico utilizado nessa simulação no Qiskit.

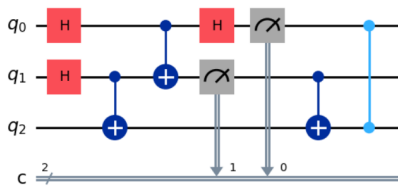


Fig. 2. Circuito de teletransporte quântico no Qiskit: o estado  $|\psi\rangle$  em  $q_0$  é transferido para  $q_2$  após medida de Bell e correções clássicas.

Desse modo, fidelidade do processo é validada, evidenciando que Bob recupera  $|\psi\rangle$  independentemente do resultado da medida de Alice, no qual observam-se claramente as etapas do protocolo. Essa representação visual reforça a compreensão do processo de teletransporte, evidenciando como as operações quânticas e clássicas se articulam para garantir a reconstrução fiel do estado original.

Os resultados das simulações confirmaram, no caso do teorema *No-deleting*, a impossibilidade de apagar um estado

quântico arbitrário, assegurando a preservação da informação conforme os fundamentos da teoria da informação quântica. Já no protocolo de teletransporte, verificou-se que a fidelidade entre o estado inicial preparado por Alice e o estado reconstruído por Bob foi próxima de 100%, evidenciando a consistência entre teoria e simulação computacional.

Esses resultados, embora obtidos em ambiente simulado, apresentam forte conexão com o desenvolvimento da Internet Quântica, cujo funcionamento dependerá de operações confiáveis de teletransporte para transferência de estados entre nós distantes. Assim, a impossibilidade de deleção universal garante que a informação quântica não possa ser apagada de forma arbitrária por um adversário.

Do ponto de vista das aplicações práticas, a integração entre *No-deleting* e teletransporte oferece uma perspectiva didática para compreender como restrições teóricas fundamentam avanços tecnológicos. Protocolos de distribuição de chaves quânticas (QKD), comunicação ultra-segura e repetidores quânticos podem ser vistos como extensões naturais dessas operações, possibilitando a construção de redes robustas de comunicação quântica em escala global.

#### IV. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou, por meio de simulações no Qiskit, a validade e relevância do teorema *No-deleting* e o protocolo de teletransporte para a futura Internet Quântica. A abordagem combinou fundamentação teórica, implementação computacional e conexão com aplicações em redes quânticas, contribuindo para a formação acadêmica e a compreensão de desafios tecnológicos emergentes.

Como próximos passos, pretende-se migrar as simulações para execução em backends de hardware quântico real, explorando as limitações impostas por ruído, decoerência e perdas no canal. Essa transição permitirá avaliar a robustez dos protocolos em ambientes experimentais e propor ajustes que maximizem a fidelidade da informação transmitida.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos colegas da Liga Acadêmica de Computação e Informação Quântica da UEMASUL (LACIQU) pelas discussões de temas relevantes a este trabalho, à FAPEMA e à UEMASUL apoio institucional.

#### REFERÊNCIAS

- [1] W. K. Wootters and W. H. Zurek, "A single quantum cannot be cloned," *Nature*, vol. 299, no. 5886, pp. 802–803, Oct. 1982.
- [2] A. K. Pati and S. L. Braunstein, "Impossibility of deleting an unknown quantum state," *Nature*, vol. 404, no. 6774, pp. 164–165, Mar. 2000.
- [3] C. H. Bennett, G. Brassard, C. Crépeau, R. Jozsa, A. Peres, and W. K. Wootters, "Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 70, no. 13, pp. 1895–1899, Mar. 1993.
- [4] S. Wehner, D. Elkouss, and R. Hanson, "Quantum internet: A vision for the road ahead," *Science*, vol. 362, no. 6412, pp. 1–9, Oct. 2018.
- [5] K. Azuma, S. E. Economou, D. Elkouss, P. Hilaire, L. Jiang, H.-K. Lo, and I. Tzitrin, "Quantum repeaters: From quantum networks to the quantum internet," *Rev. Mod. Phys.*, vol. 95, no. 4, p. 045006, Dec. 2023.
- [6] IBM Quantum. *Qiskit Documentation*. Disponível em: <https://qiskit.org>