

# Estudo sobre o Teleporte Quântico

Lucas da Mata Guimarães

14 de novembro de 2025

## Resumo

Este estudo apresenta os princípios fundamentais do teletransporte quântico, uma técnica que permite a transferência do estado quântico de uma partícula de um local para outro, sem a necessidade de deslocamento físico da matéria. Apresentando três aplicações conceituais deste protocolo e o que podemos inferir a partir destas em relação a viabilidade do teleporte quântico. Discutindo qual a contribuição do **emaranhamento quântico** e as implicações do **Teorema No-Cloning** (Não-Clonagem) da computação quântica trazem para o modo como transferimos informações.

## Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução ao Teletransporte Quântico</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Princípios Fundamentais</b>	<b>2</b>
2.1	O Qubit e o Estado Quântico . . . . .	2
2.2	Mais de um Qubit . . . . .	2
2.3	Emaranhamento Quântico (Entanglement) . . . . .	2
<b>3</b>	<b>O Processo de Teletransporte</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Experimento</b>	<b>3</b>
4.1	Teleporte Quântico de 1 Qubit . . . . .	3
4.2	Teleporte Quântico Superposição . . . . .	5
4.3	Teleporte Quântico $N$ Qubits . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>10</b>
	<b>Referências</b>	<b>11</b>

# 1 Introdução ao Teletransporte Quântico

O teletransporte quântico é um fenômeno fascinante da mecânica quântica, que se distingue da ficção científica por não envolver o teletransporte de matéria ou energia, mas sim a transferência de informação quântica, que nomeamos estado quântico, de um sistema para outro. Essa informação é codificada em qubits (bits quânticos).

## 2 Princípios Fundamentais

### 2.1 O Qubit e o Estado Quântico

Um qubit é a unidade básica de informação quântica, que pode ser um dos estados  $|0\rangle$  ou  $|1\rangle$ , ou estar em superposição, isto é, ter uma chance  $\alpha$  de estar no estado  $|0\rangle$  e  $\beta$  de estar no estado  $|1\rangle$ . Formalmente representamos um estado quântico pela seguinte fórmula:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \quad (1)$$

Onde  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ . O objetivo do teletransporte é transferir o valor de  $(\alpha, \beta)$  de um local (Alice) para outro (Bob).

Quando encontramos um estado que possui a seguinte forma,

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle \quad (2)$$

dizemos que temos um **estado em superposição**, isto é, quando medirmos o valor deste estado, temos uma chance de lermos  $|0\rangle$  ou  $|1\rangle$ .

### 2.2 Mais de um Qubit

Para representar um qubit, utilizamos a representação de estado como  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$ , que mostra todos os estados possíveis desse qubit, mas e quando trabalhamos com mais de um?

Tomemos como exemplo, utilizar dois qubits, assim, representamos seus estados possíveis como,  $|00\rangle$ ,  $|01\rangle$ ,  $|10\rangle$  e  $|11\rangle$ . Mostrando todas as combinações que podemos encontrar esses dois qubits. De um modo geral, a equação do estado é semelhante a equação 1:

$$|\psi\rangle = \alpha|00\rangle + \beta|01\rangle + \gamma|10\rangle + \delta|11\rangle \quad (3)$$

Onde novamente,  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 + |\gamma|^2 + |\delta|^2 = 1$ .

### 2.3 Emaranhamento Quântico (Entanglement)

O teletransporte quântico é impossível sem um par de partículas emaranhadas compartilhado entre os dois comunicadores, Alice e Bob. O estado emaranhado mais comum é o Estado de Bell  $\Phi^+$ :

$$|\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle) \quad (4)$$

Aqui, podemos ver que, mesmo trabalhando com 2 qubits, o a equação 4 é menor que a equação 3. Isso é devido ao emaranhamento, pois, os dois qubits assumem sempre

o mesmo valor, isto é, os únicos estados possíveis de se encontrar nosso sistema após o emaranhamento são  $|00\rangle$  e  $|11\rangle$ .

Este emaranhamento atua como um **canal quântico** para a transferência de informação.

### 3 O Processo de Teletransporte

O processo envolve três etapas principais:

1. **Medição de Bell por Alice:** Alice realiza uma medição conjunta (Medição de Bell) no seu qubit de entrada ( $|\psi\rangle$ ) e em uma das partículas do par emaranhado. Esta medição destrói o estado original  $|\psi\rangle$  (devido ao Teorema No-Cloning), mas codifica a informação necessária para a reconstrução. O resultado é um dos quatro estados de Bell.
2. **Comunicação Clássica:** Alice envia o resultado da sua medição (2 bits de informação clássica) para Bob.
3. **Reconstrução por Bob:** Bob aplica uma operação unitária de correção (uma das quatro transformações de Pauli,  $I, X, Y, Z$ ) na sua partícula emaranhada, com base nos 2 bits de informação clássica recebidos, o que a transforma no estado original  $|\psi\rangle$ .

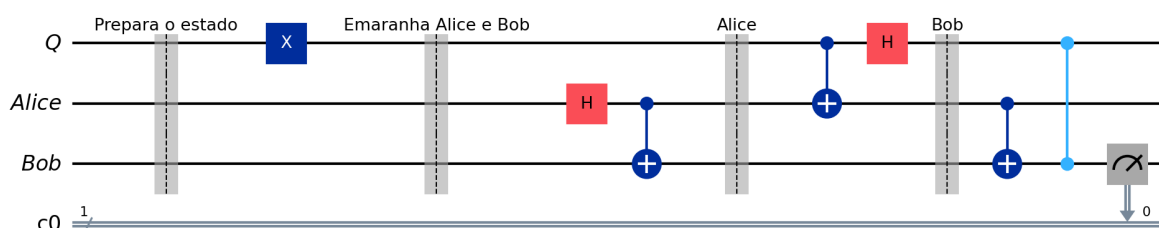
### 4 Experimento

Os experimentos a seguir, têm como intuito analisar a capacidade do teleporte quântico, transferindo a informação de um qubit para outro. Foram realizados para cada experimento duas simulações e uma execução utilizando a IBM Plataforma Quantum. A codificação foi realizada utilizando a SDK Qiskit.

#### 4.1 Teleporte Quântico de 1 Qubit

O seguinte circuito foi desenvolvido para analisar o protocolo de teleporte quântico do estado de um qubit.

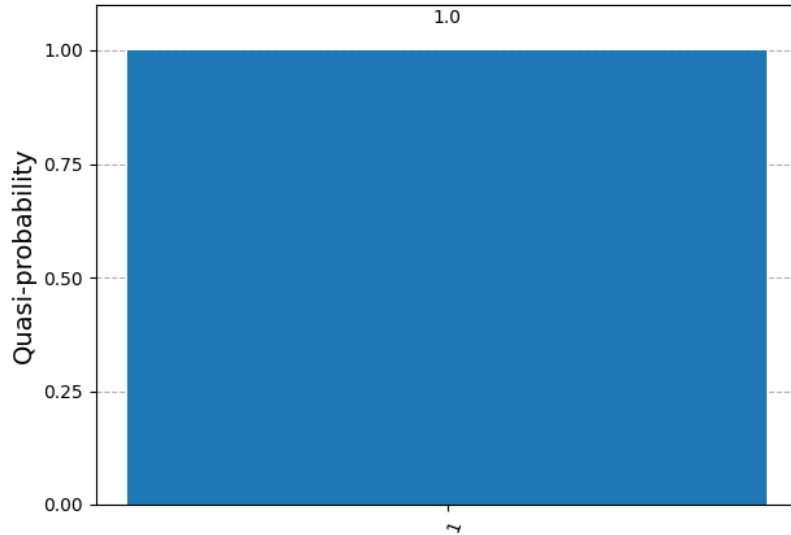
Figura 1: Circuito: Teleporte Quântico de 1 qubit



Na configuração apresentada, preparamos o qubit  $Q$ , com o estado  $|1\rangle$ , e queremos passar esse estado para o qubit  $Bob$ , primeiro, vamos simular o circuito.

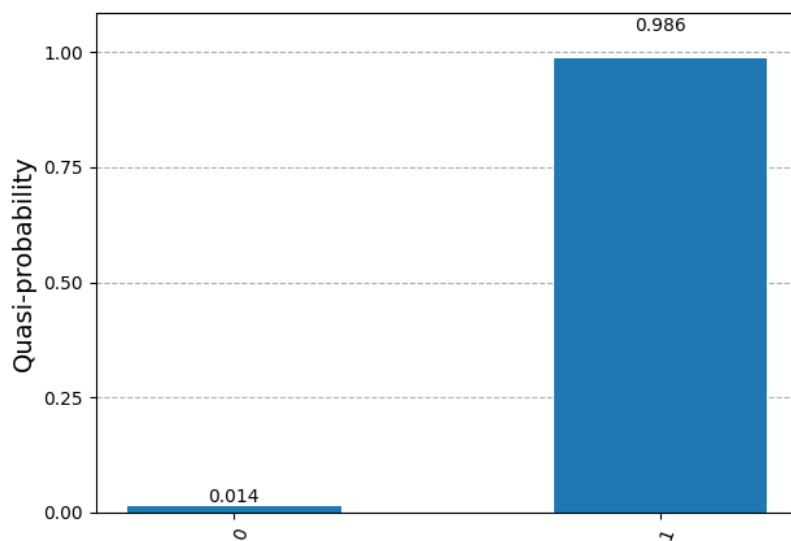
Quando simulamos o circuito sem considerar o ruído encontramos o seguinte cenário.

Figura 2: Resultados na simulação sem ruído



Agora quando levamos em consideração o ruído que encontramos em computadores quânticos, temos os seguintes resultados na simulação.

Figura 3: Resultados na simulação com ruído

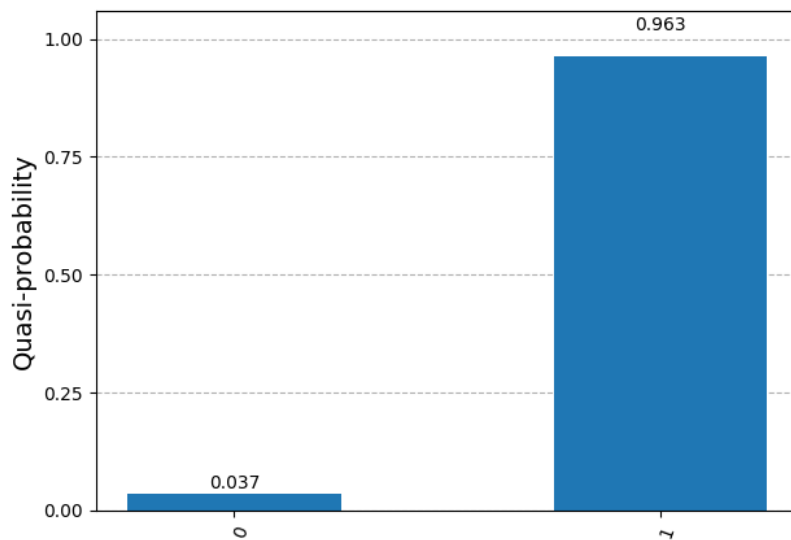


Quando consideramos o ruído, começamos a ver que em algumas de nossas medições

encontramos o estado  $|0\rangle$  no qubit *Bob*, porém o ruído é tão pequeno que o desconsideramos.

Para comparação, o circuito foi executado em um computador quântico disponibilizado pela IBM, e os resultados encontrados se assemelham à simulação com ruído.

Figura 4: Resultados na execução na Plataforma IBM Quantum



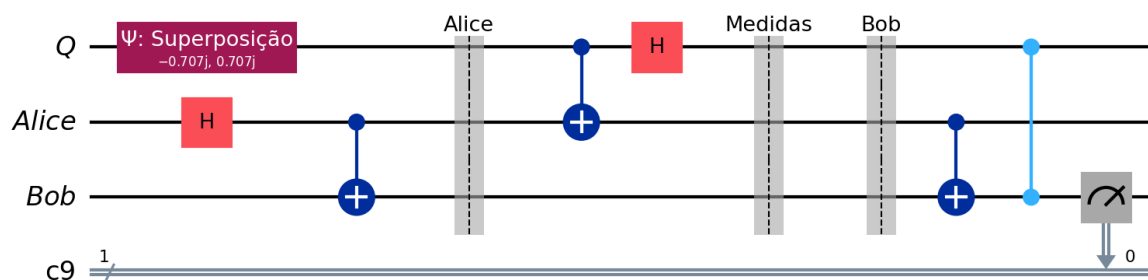
Para as análises feitas, foram realizados 1000 testes, para ter uma coleta relevante e confiável da informação. Isso nos mostra que na simulação com ruído 3, medimos o estado  $|1\rangle$  um total de 986 vezes, e na execução em um computador quântico 4, medimos o estado  $|1\rangle$  um total de 963 vezes.

## 4.2 Teleporte Quântico Superposição

A computação quântica, tem como principais fundamentos a superposição quântica, logo seria vantajoso conseguirmos fazer o teleporte deste estado.

Para isso, o seguinte circuito foi proposto.

Figura 5: Circuito: Teleporte Quântico em Superposição

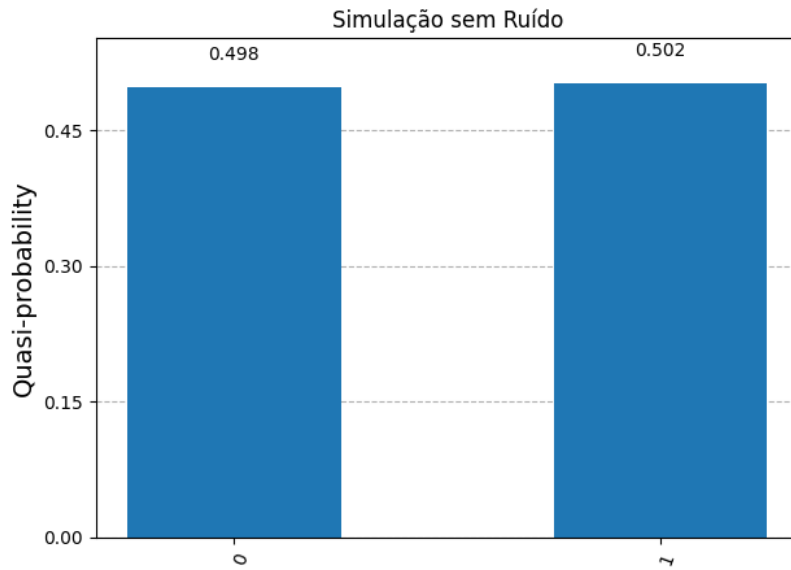


Na figura acima 5, preparamos no qubit  $Q$  o seguinte estado de superposição,

$$|\phi\rangle = \frac{-i}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{i}{\sqrt{2}}|1\rangle. \quad (5)$$

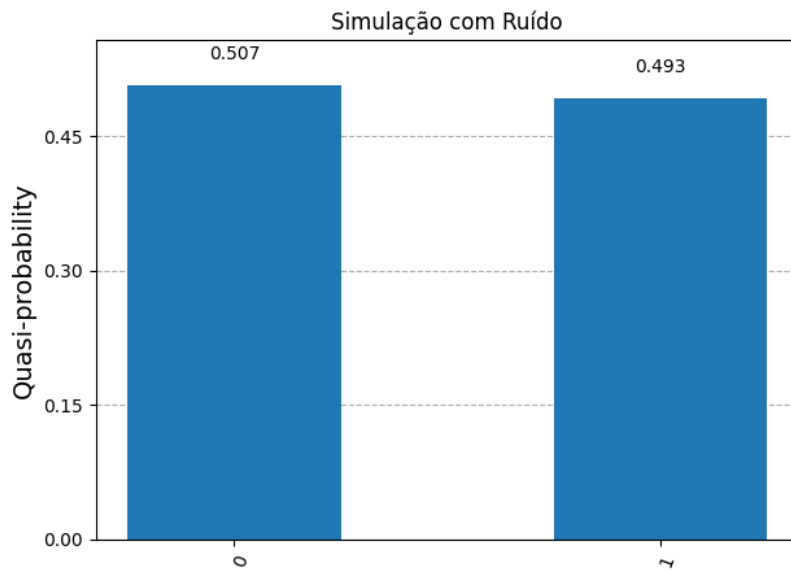
A simulação desconsiderando o ruído do circuito 5, serve para vermos se o circuito é teoricamente viável, e para este os resultados encontrados foram.

Figura 6: Resultados na simulação sem ruído



Os resultados nos indicam que o circuito é viável, visto que, temos uma distribuição de mais ou menos 50% entre os estados  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$ , que representa superposição desejada. Quando levamos em consideração o ruído, encontramos o seguinte resultado.

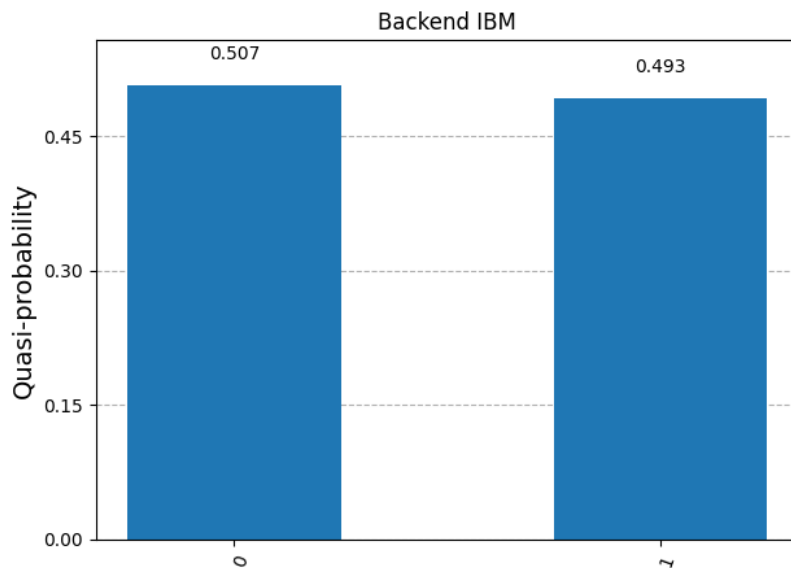
Figura 7: Resultados na simulação com ruído



Nesta situação, o ruído se mistura com os resultados possíveis, visto que ao medirmos apenas um qubit os estados possíveis são apenas  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$ .

Ao executarmos o circuito em um computador quântico, os resultados obtidos foram.

Figura 8: Resultados na execução na Plataforma IBM Quantum

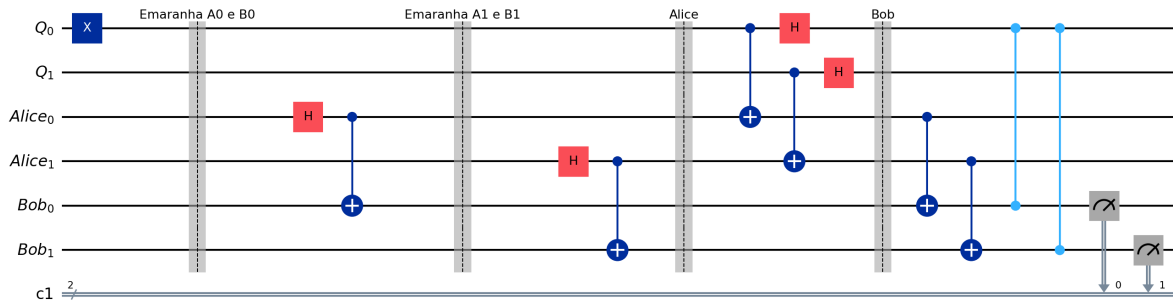


Assim como na análise com ruído 7, o ruído característico de um computador quântico, se mescla aos resultados possíveis ao utilizarmos de um computador quântico real.

### 4.3 Teleporte Quântico $N$ Qubits

Para uma Comunicação ser viável precisamos passar mais de um bit ou qubit por vez, para analisar essa situação, o seguinte circuito de teleporte quântico de 2 qubits foi elaborado.

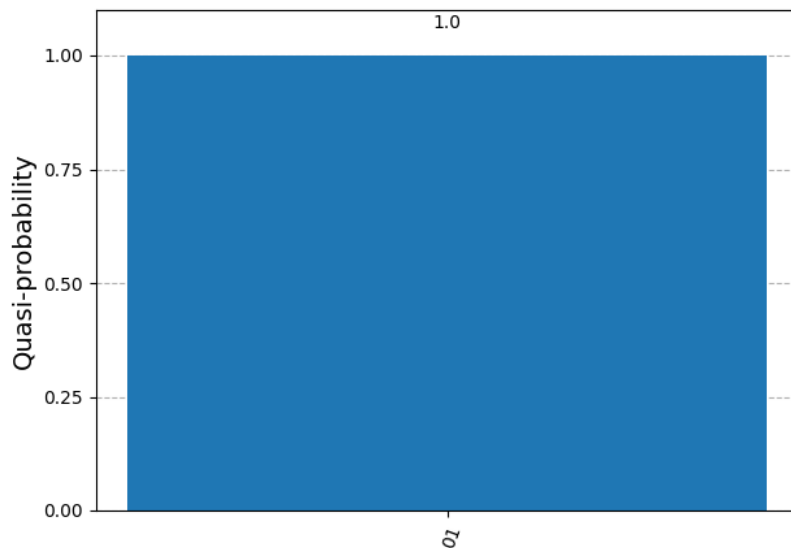
Figura 9: Circuito: Teleporte Quântico 2 Qubits



Neste circuito preparamos o estado  $|01\rangle$  nos qubits de  $Q$  para ser teleportado para  $Bob_0$  e  $Bob_1$ .

A viabilidade teórica desse circuito pode ser verificada na simulação sem ruído, que apresentou os seguintes resultados.

Figura 10: Resultados na simulação sem ruído

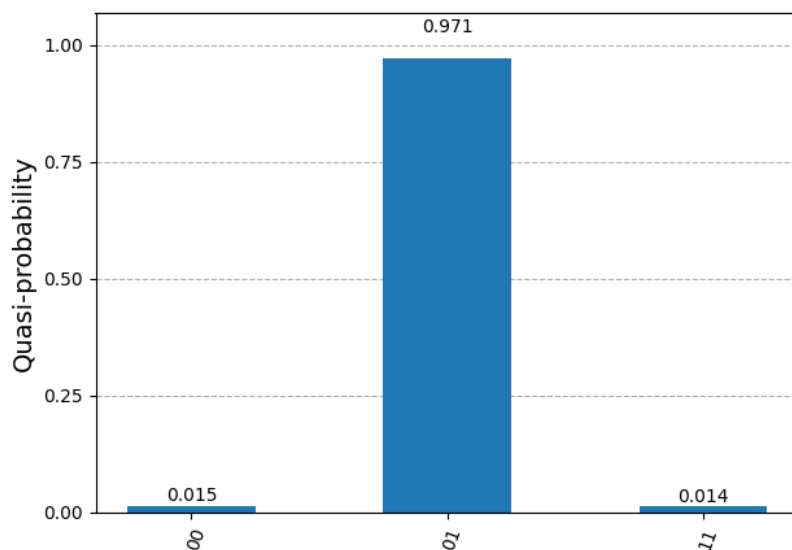


Comprovando que podemos teoricamente teleportar o estado de 2 qubits.

Quando adicionamos o ruído que ocorre normalmente em computadores quânticos os resultados encontrados são.



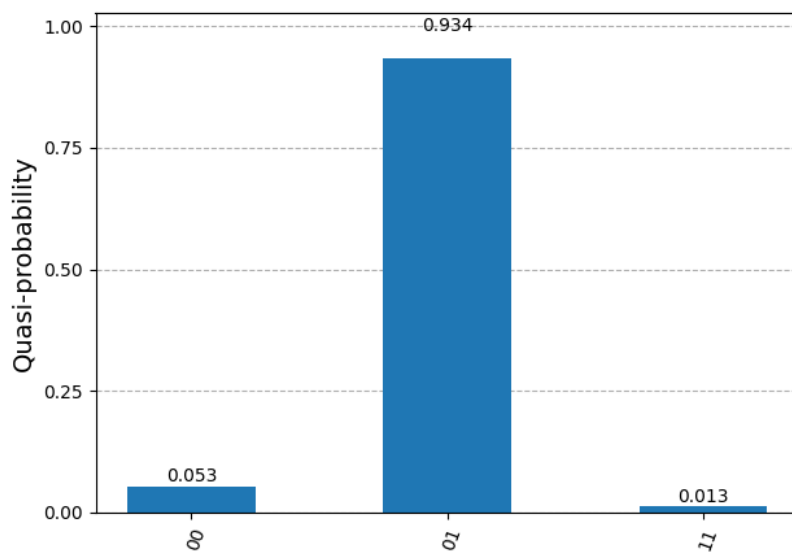
Figura 11: Resultados na simulação com ruído



Assim como visto nos casos anteriores onde adicionamos o ruído, ele adiciona uma leve flutuação do valor, porém continua claro qual o resultado verdadeiro. Uma ocorrência interessante nesta análise, é que o estado  $|10\rangle$  nunca ocorreu durante os testes executados.

A título de comparação, o circuito foi avaliado em um computador quântico real, e os seguintes resultados foram encontrados.

Figura 12: Resultados na execução na Plataforma IBM Quantum



Assim como os resultados encontrados na simulação com ruído 11, aqui vemos que o estado  $|10\rangle$  novamente não ocorre, e os resultados são novamente semelhantes à simulação

com ruído.

Esse fenômeno onde o estado  $|10\rangle$  não ocorre tanto na simulação 11, quanto em um computador quântico real 12, necessita de um estudo próprio, pode vir a ser relativo ao emaranhamento entre os qubits  $Alice_0Bob_0$  e  $Alice_1Bob_1$ , mas um estudo mais aprofundado se faz necessário.

## 5 Conclusão

As vantagens que os protocolos de comunicação quântica trazem ao jogo são a segurança e a eficiência (ou densidade de dados).

Na questão de segurança, o ganho advém do uso do emaranhamento quântico e do Teorema da Não-Clonagem.

Dentro do Teleporte Quântico, qualquer tentativa de medir ou interceptar o estado em trânsito colapsaria o estado quântico, destruindo assim a informação e alertando as partes envolvidas sobre a espionagem. Isso é usado como base para a Distribuição de Chaves Quânticas (QKD), que garante uma chave criptográfica mais segura.

Na Comunicação Densa, utiliza-se também um par de qubits emaranhados previamente compartilhados, para passar dois bits de informação clássica usando apenas um qubit entre as partes, explorando o par pré-compartilhado de qubits emaranhados.

Quando falamos de velocidade, podemos atrelar a eficiência ao protocolo.

No Teleporte Quântico, a velocidade de transferência do estado quântico é limitada pela velocidade de transmissão da informação clássica (os dois bits), necessária para que o receptor reconstrua o estado teleportado. O emaranhamento, de fato, não se limita pela velocidade da luz, sendo instantâneo. Mas o ponto forte do protocolo está na transferência fiel do estado quântico, crucial para a Internet Quântica, permitindo estender as redes quânticas sem o risco de perda de decoerência que acontece em repetidores clássicos.

Dentro da Comunicação Densa, temos a vantagem na densidade de dados, permitindo o envio do dobro de informação clássica (dois bits) usando o canal quântico de um qubit. Isso traz uma maior densidade de dados para a comunicação.

## Referências

- 1 Matthew Silverman, "Quantum Teleportation | PennyLane Demos",  
[https://pennylane.ai/qml/demos/tutorial\\_teleportation](https://pennylane.ai/qml/demos/tutorial_teleportation)
- 2 IBM Quantum, "Quantum Teleportation",  
<https://quantum.cloud.ibm.com/learning/pt/courses/basics-of-quantum-information/entanglement-in-action/quantum-teleportation>
- 3 Yanofsky, N. S.; Mannucci, M. A.  
Quantum Computing for Computer Scientists. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.