

Exercício 4 - Física Moderna (ANP)

Aluno: João Vitor Pereira Amorim

Questão: Simule o teleporte quântico: use um simulador para mostrar que o estado enviado por Alice realmente chega a Bob, ou seja, verifique se o estado foi realmente transmitido para Bob.

Solução:

Primeiramente, importamos as bibliotecas:

```
In [49]: %matplotlib inline
import matplotlib
from qiskit import *
from qiskit.extensions import Initialize
from qiskit.tools.visualization import plot_histogram
```

Iniciamos o circuito com três qubits e três registradores. O qubit q_0 é inicializado em $|1\rangle$ e trata-se do qubit da Alice, cujo estado será teleportado para Bob. O qubit q_1 é inicializado em $|0\rangle$ e será utilizado como um qubit auxiliar. Enquanto isso, o qubit q_2 é inicializado com $|0\rangle$ também, sendo que ele se trata do qubit do Bob, que receberá o estado do q_0 através do teleporte.

```
In [50]: circuit = QuantumCircuit(3, 3)

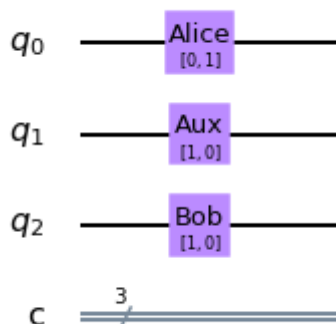
initializer = Initialize([0,1])
initializer.label = "Alice"
circuit.append(initializer, [0])

initializer = Initialize([1,0])
initializer.label = "Aux"
circuit.append(initializer, [1])

initializer = Initialize([1,0])
initializer.label = "Bob"
circuit.append(initializer, [2])

circuit.draw(output='mpl')
```

Out[50]:

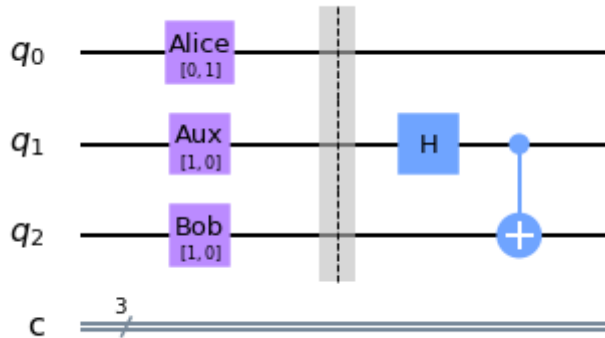


Para realizar o teleporte quântico, estarei seguindo o *Quantum Teleportation Protocol* (fonte no

final), e o primeiro requisito que ele solicita é que devemos criar um entrelaçamento quântico entre o $q1$ e o $q2$. Podemos fazer isso da seguinte maneira: aplicamos uma porta Hadamard no $q1$ e, logo após, uma porta CNOT entre o $q1$ e o $q2$:

```
In [51]: circuit.barrier()
circuit.h(1)
circuit.cx(1,2)
circuit.draw(output='mpl')
```

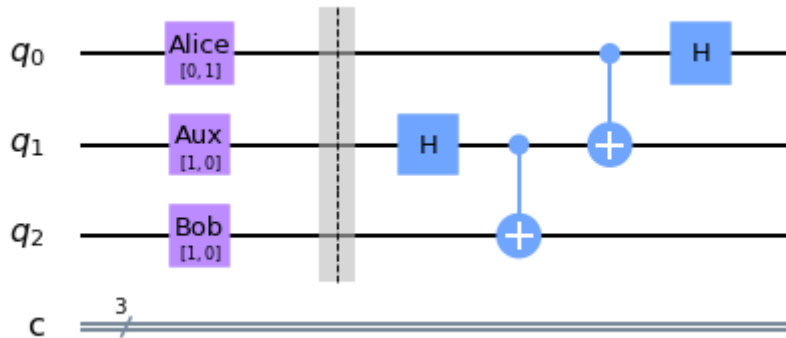
Out[51]:



Agora, $q1$ e $q2$ estão entrelaçados. Em seguida, no próximo passo do *Quantum Teleportation Protocol*, devemos aplicar uma porta CNOT entre o $q0$ e o $q1$ e, também, uma porta Hadamard no $q0$:

```
In [52]: circuit.cx(0,1)
circuit.h(0)
circuit.draw(output='mpl')
```

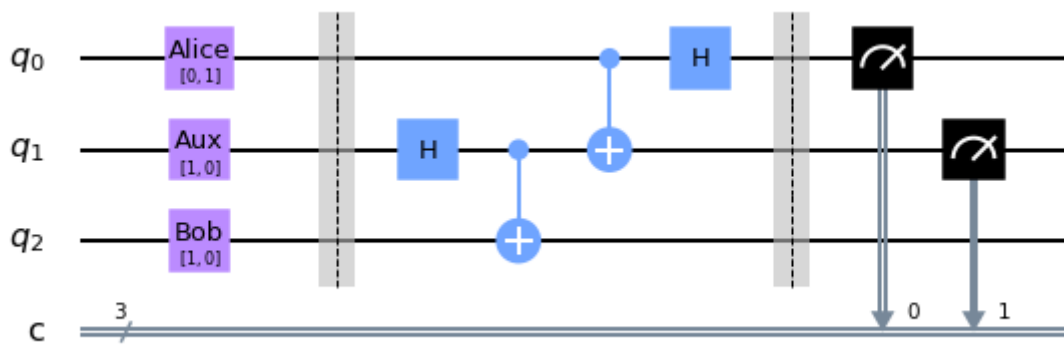
Out[52]:



Seguindo com o *Quantum Teleportation Protocol*, devemos adicionar duas medições, uma no $q0$ e outra no $q1$, sendo que as medidas serão registradas pelos registradores 0 e 1, respectivamente:

```
In [53]: circuit.barrier()
circuit.measure([0,1],[0,1])
circuit.draw(output='mpl')
```

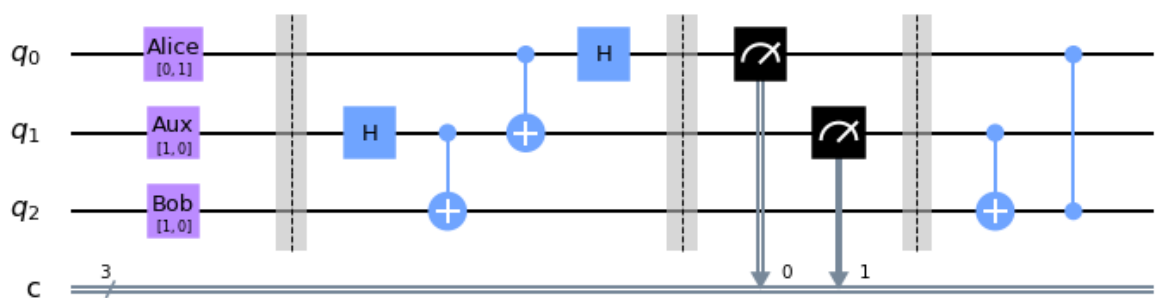
Out[53]:



A última etapa do *Quantum Teleportation Protocol* diz que devemos aplicar mais duas portas ao circuito: uma CNOT entre $q1$ e $q2$ e uma porta Pauli-Z controlada entre $q0$ (qubit da Alice) e $q1$ (qubit do Bob):

```
In [54]: circuit.barrier()
circuit.cx(1,2)
circuit.cz(0,2)
circuit.draw(output='mpl')
```

Out[54]:

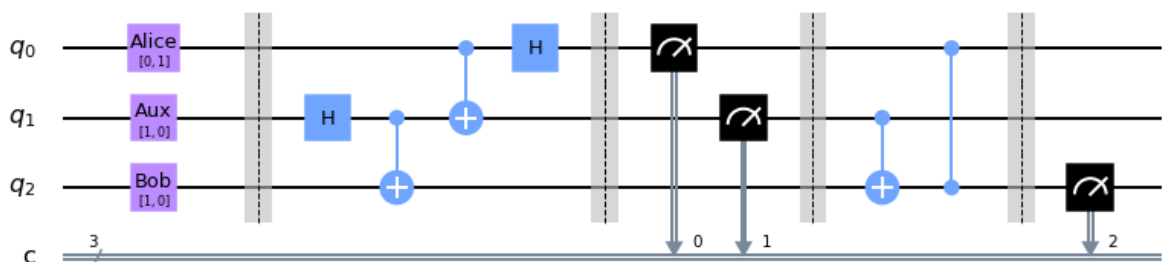


O circuito acima possui o *Quantum Teleportation Protocol* aplicado. Agora já é possível fazer a simulação e comprovar que o protocolo funciona, mostrando que o estado $|1\rangle$ do qubit da Alice ($q0$) foi teleportado para o qubit do Bob ($q2$).

Para isso ser feito, primeiro precisamos adicionar uma medição ao $q2$ (que será registrada no registrador 2):

```
In [55]: circuit.barrier()
circuit.measure(2,2)
circuit.draw(output='mpl')
```

Out[55]:



Agora, executamos o circuito no simulador e obtemos o resultado:

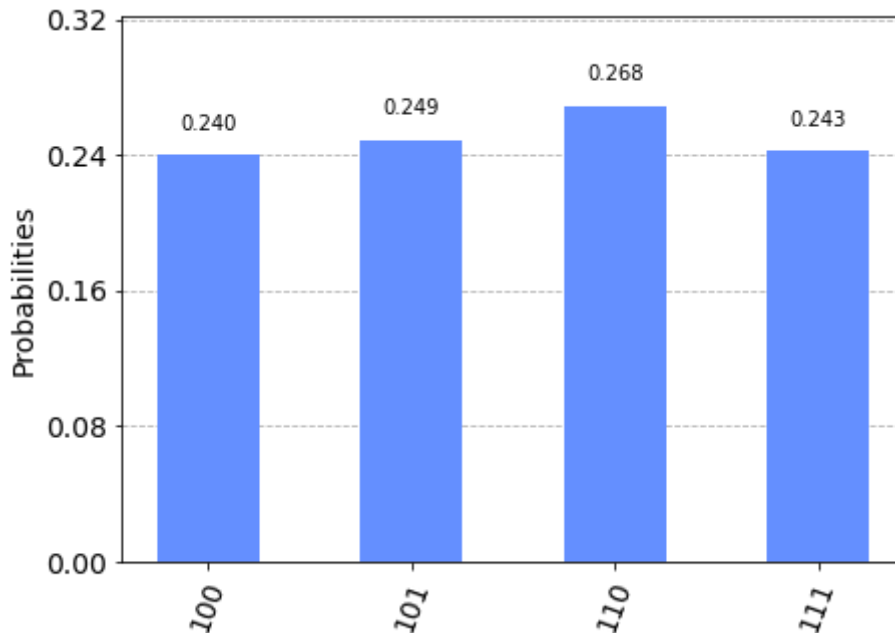
In [56]:

```

simulator = Aer.get_backend('qasm_simulator')
result = execute(circuit, backend = simulator, shots = 1000).result()
counts = result.get_counts()
plot_histogram(counts)

```

Out[56]:



Entendendo como fazer a leitura do histograma:

O histograma apresenta a porcentagem de ocorrência de estados nos três qubits simultaneamente (estado final do circuito). Dessa forma, 100 significa: estado 1 no q2, estado 0 no q1 e estado 0 no q0.

Portanto, para confirmarmos que o estado do qubit de Alice (q0 que possuía o estado $|1\rangle$) foi teleportado para o qubit de Bob (q2), basta verificarmos se temos 100% de ocorrência do estado 1 nas medidas do q2 no histograma. De fato, **isso acontece**, já que q2 é sempre 1 em todas as medidas realizadas no histograma:



Podemos até fazer um milhão de medidas para mostrar que o teleporte sempre funciona:

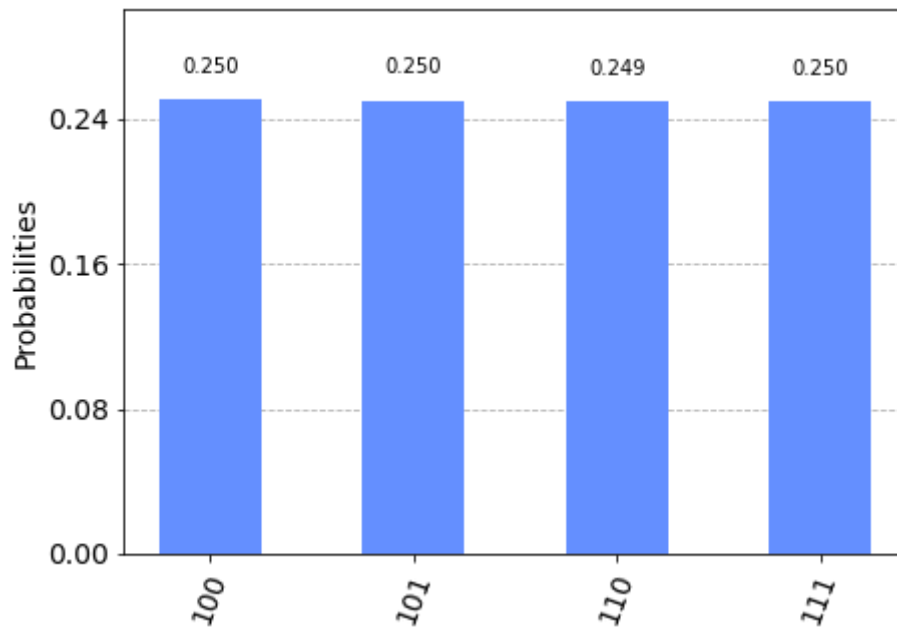
In [57]:

```

simulator = Aer.get_backend('qasm_simulator')
result = execute(circuit, backend = simulator, shots = 1000000).result()
counts = result.get_counts()
plot_histogram(counts)

```

Out[57]:



Novamente, temos 100% de ocorrência do estado 1 nas medições do q_2 . Isso significa que o teleporte realmente funciona, e que **teleportamos o estado do qubit de Alice para o qubit de Bob!**

Referências:

- Quantum Computation and Quantum Information. Nielsen, Michael A., Chuang, Isaac L.
- Quantum Teleportation. Qiskit. <https://qiskit.org/textbook/ch-algorithms/teleportation.html>
- Quantum Teleportation Algorithm. Qiskit (YouTube). <https://youtu.be/mMwovHK2NrE>