



Minicurso- Introdução à Computação Quântica

Anderson Buarque, PhD –
anderson.correia@fieb.org.br

Henrique Ghizoni, PhD –
henrique.ghizoni@fbter.org.br

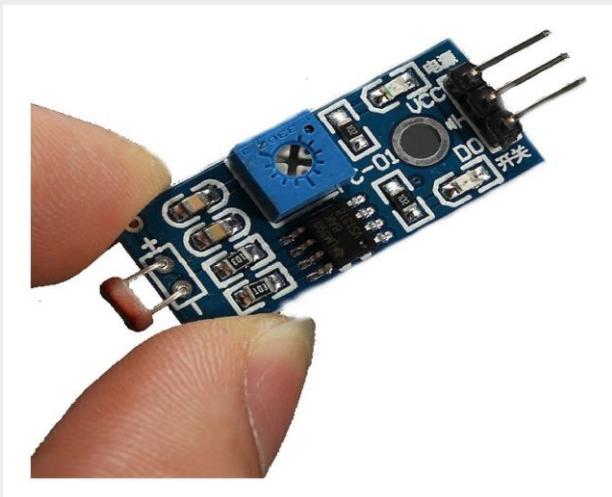
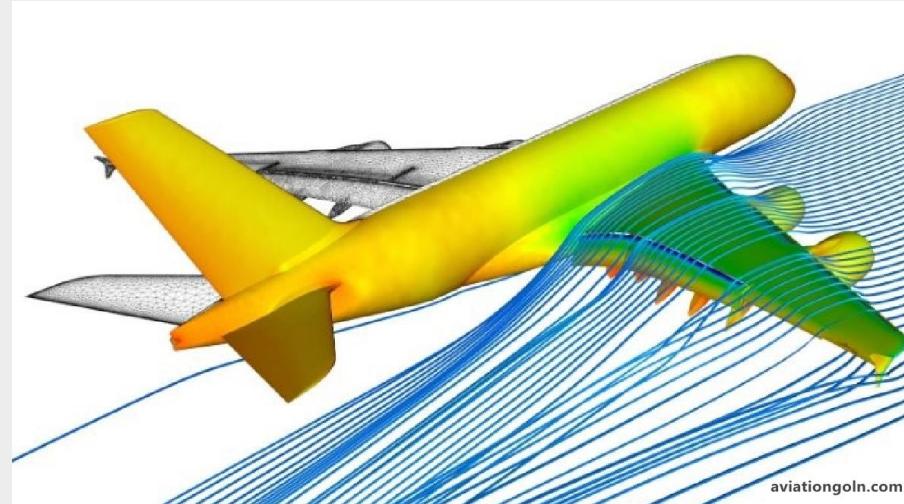
Yan Chagas – yan.chagas@fieb.org.br



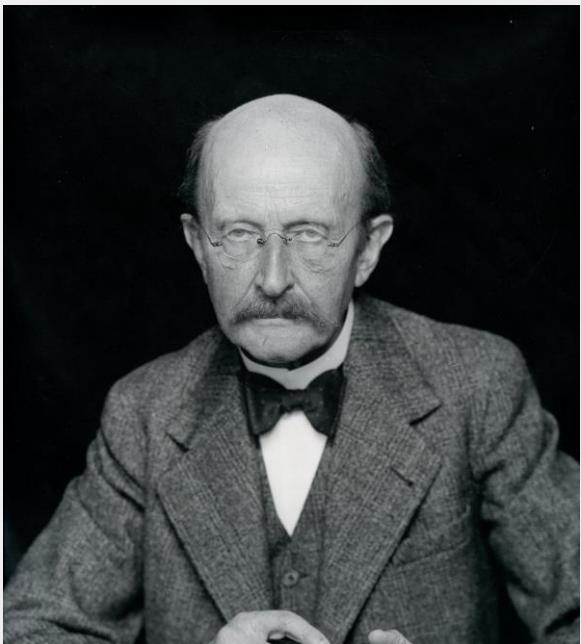
Sumário

- Introdução a Computação Quântica (30 a 40 min) [Henrique]
 - Por quê Física quântica?
 - Tecnologias quânticas de 1^a geração e 2^a geração
 - Estados Quânticos, superposição e medições
- Computação Quântica com um Qubit (1h30min a 2h)
 - Qubit e esfera de Bloch
 - Representando estados
 - Matrizes de Pauli e portas quânticas
 - Representando rotações de estados
 - Portas clássicas vs portas quânticas
 - Representação de circuitos quânticos [Yan]
 - Visualizando portas, conexões e medidores
 - Hands on: implementando circuitos quânticos com um qubit
- Computação Quântica com dois Qubits (80min a 90min)
 - Portas quânticas CNOT, SWAP
 - Como distinguir funções平衡adas vs constantes?
 - Clássico vs Quântico
 - Hands on: Algoritmo de Deutsch

Por quê Física Quântica?



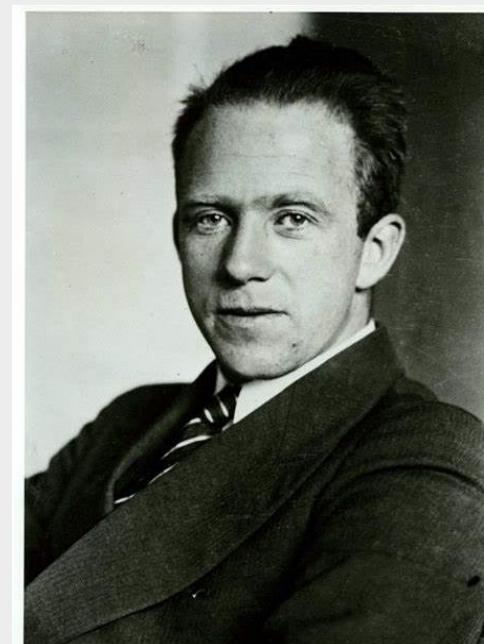
Por quê Física Quântica?



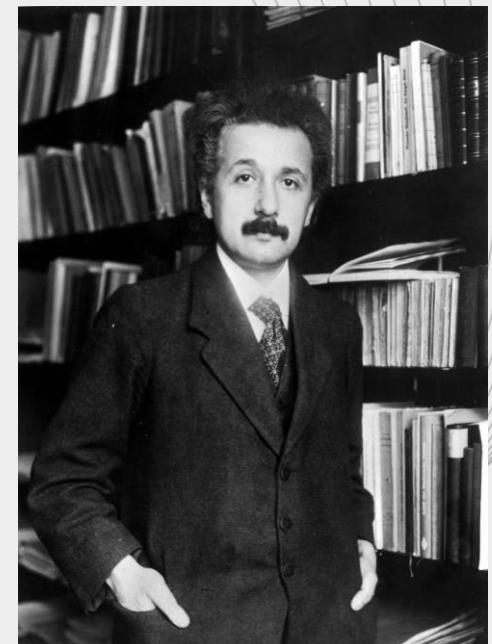
Max Planck



Louis De Broglie

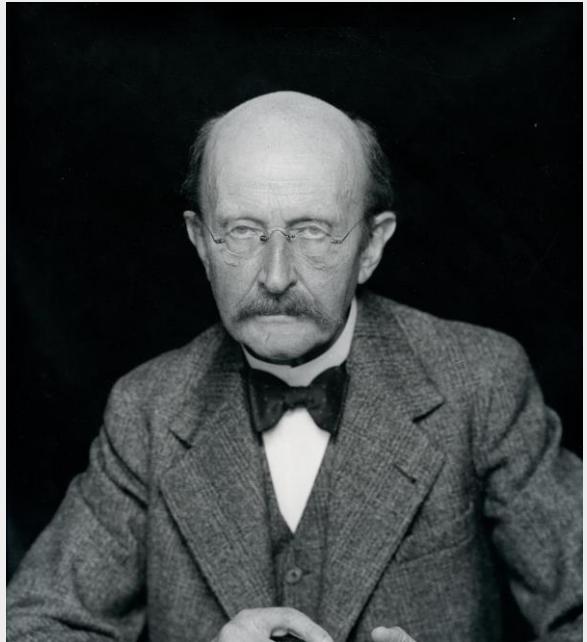


Werner Heisenberg



Albert Einstein

Por quê Física Quântica?



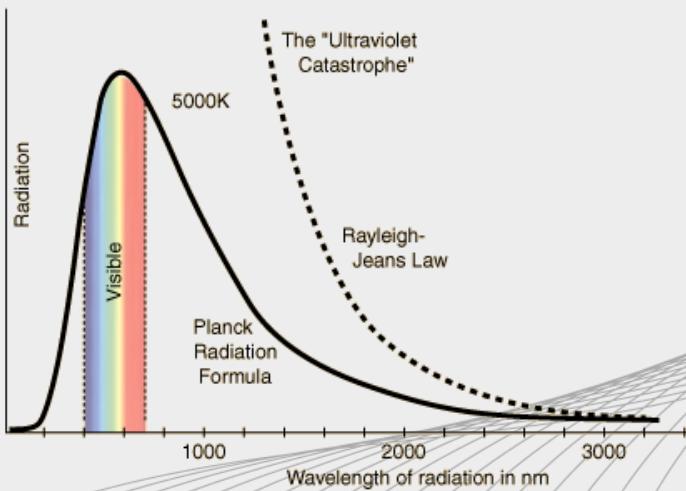
Max Planck

*Zur Theorie des Gesetzes
der Energieverteilung im Normalspectrum;
von M. Planck.*

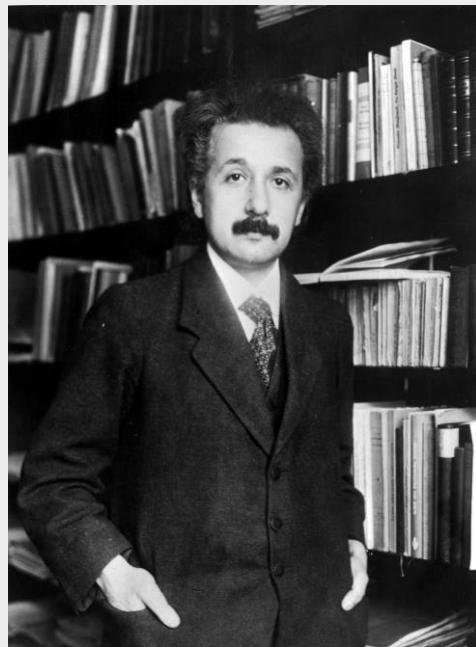
(Vorgetragen in der Sitzung vom 14. December 1900.)

(Vgl. oben S. 235.)

- Modelo para explicar as curvas de radiação de corpo negro utilizando discretização de energia



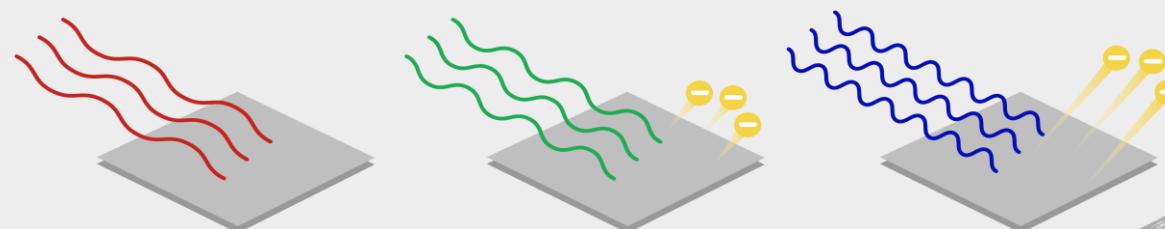
Por quê Física Quântica?



Albert Einstein

On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light (1905)
by Albert Einstein, translated by Wikisource

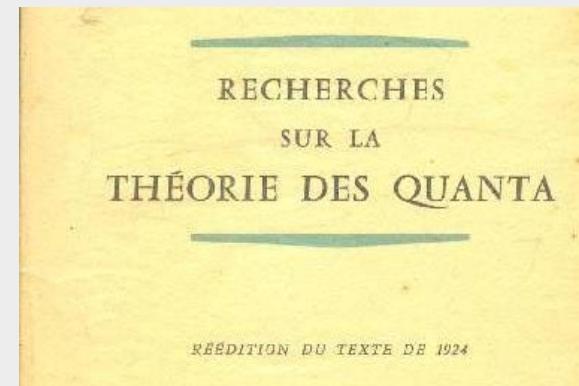
- Quantização da Luz
- Efeito fotoelétrico



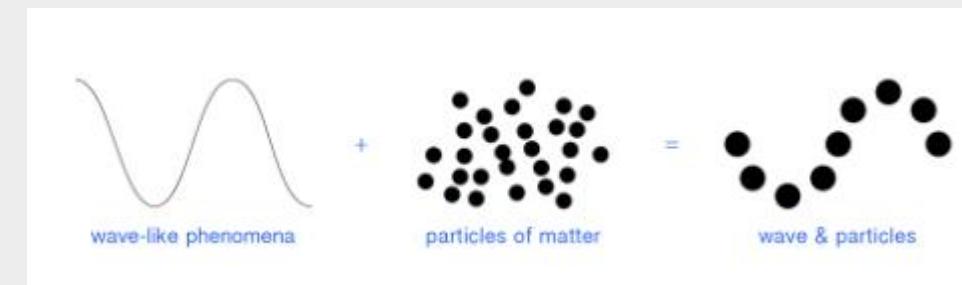
Por quê Física Quântica?



Louis De Broglie



- Dualidade onda-partícula
- Onda de matéria



Por quê Física Quântica? 2025 e os 100 anos da Teoria Quântica



Werner Heisenberg

“Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen,” Zeit. Phys. **33** (1925), 879-893.

On the quantum-theoretical reinterpretation of kinematical and mechanical relationships

By **W. Heisenberg** in Göttingen

(Received on 29 July 1925)

- Estruturação da teoria quântica
- Relações entre grandezas cruciais da então Mecânica Quântica

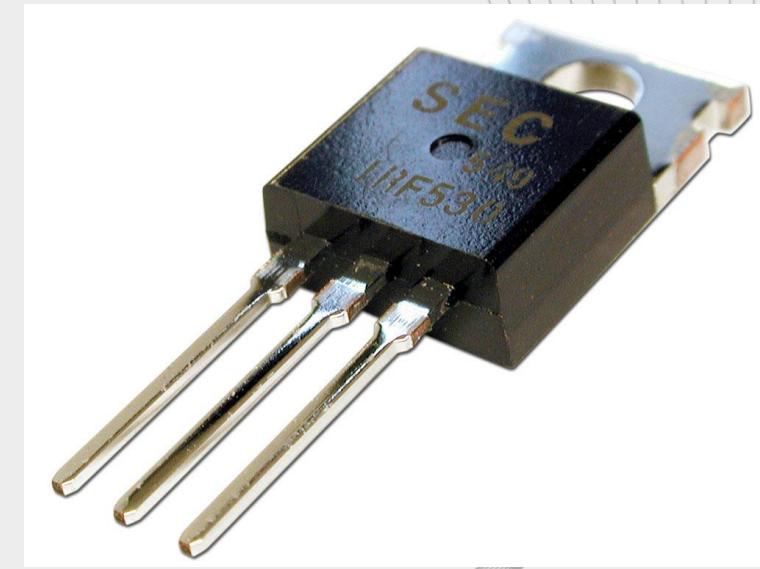
Tecnologias Quânticas de 1^a Geração



Laser e fotodetector

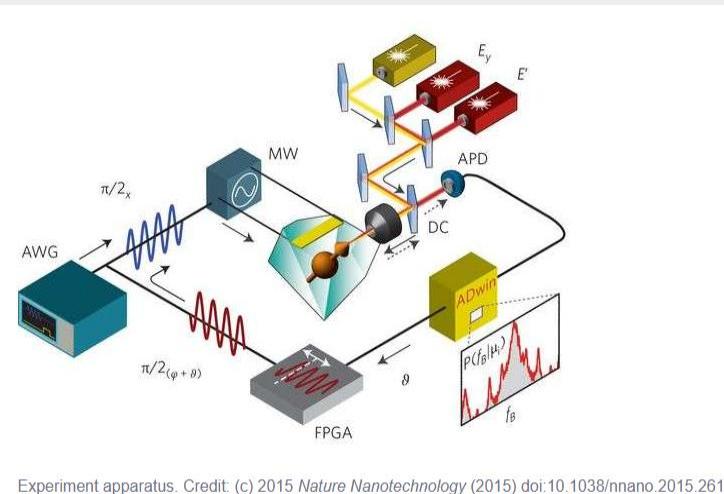


Vela automotiva

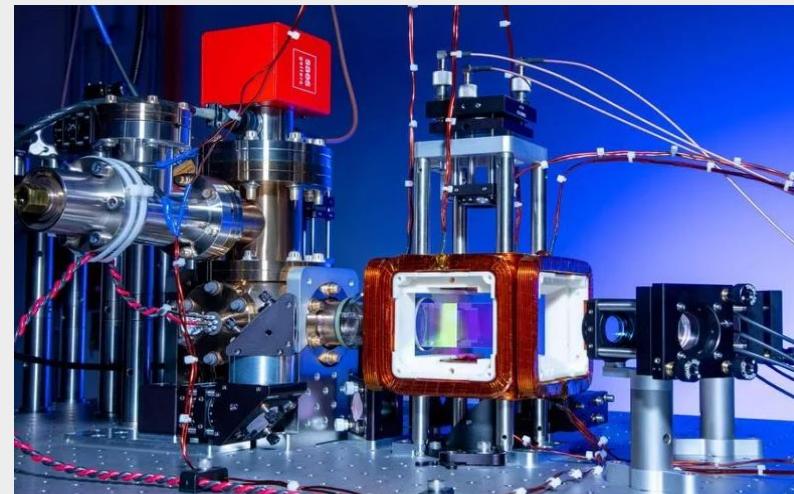


Transistor

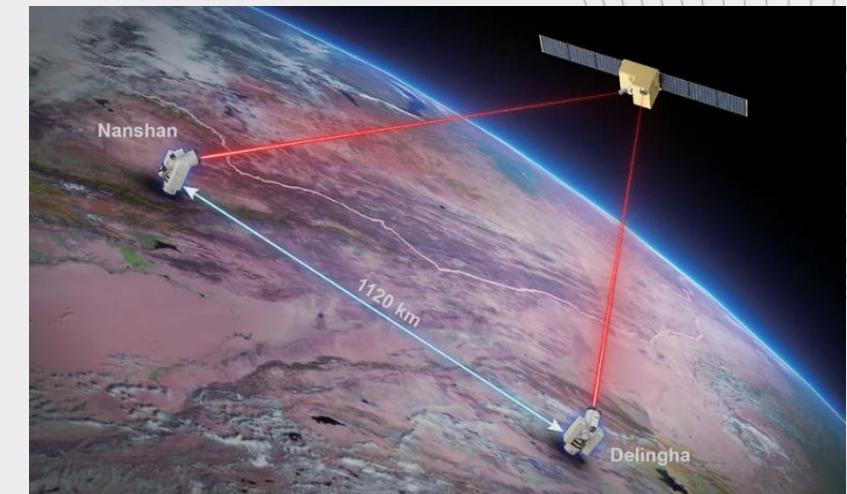
Tecnologias Quânticas de 2^a Geração



Sensores Quânticos

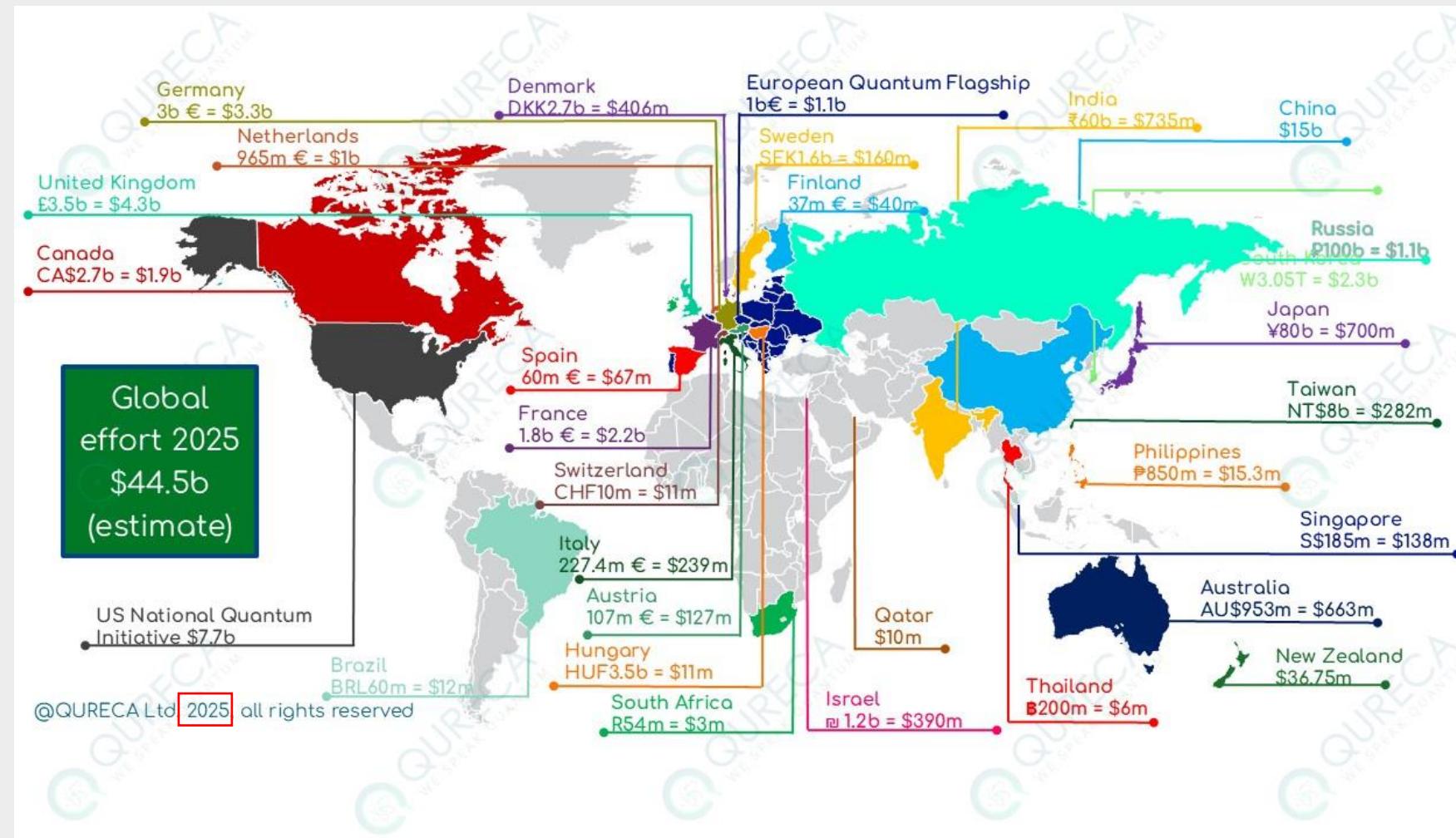


Computação Quântica

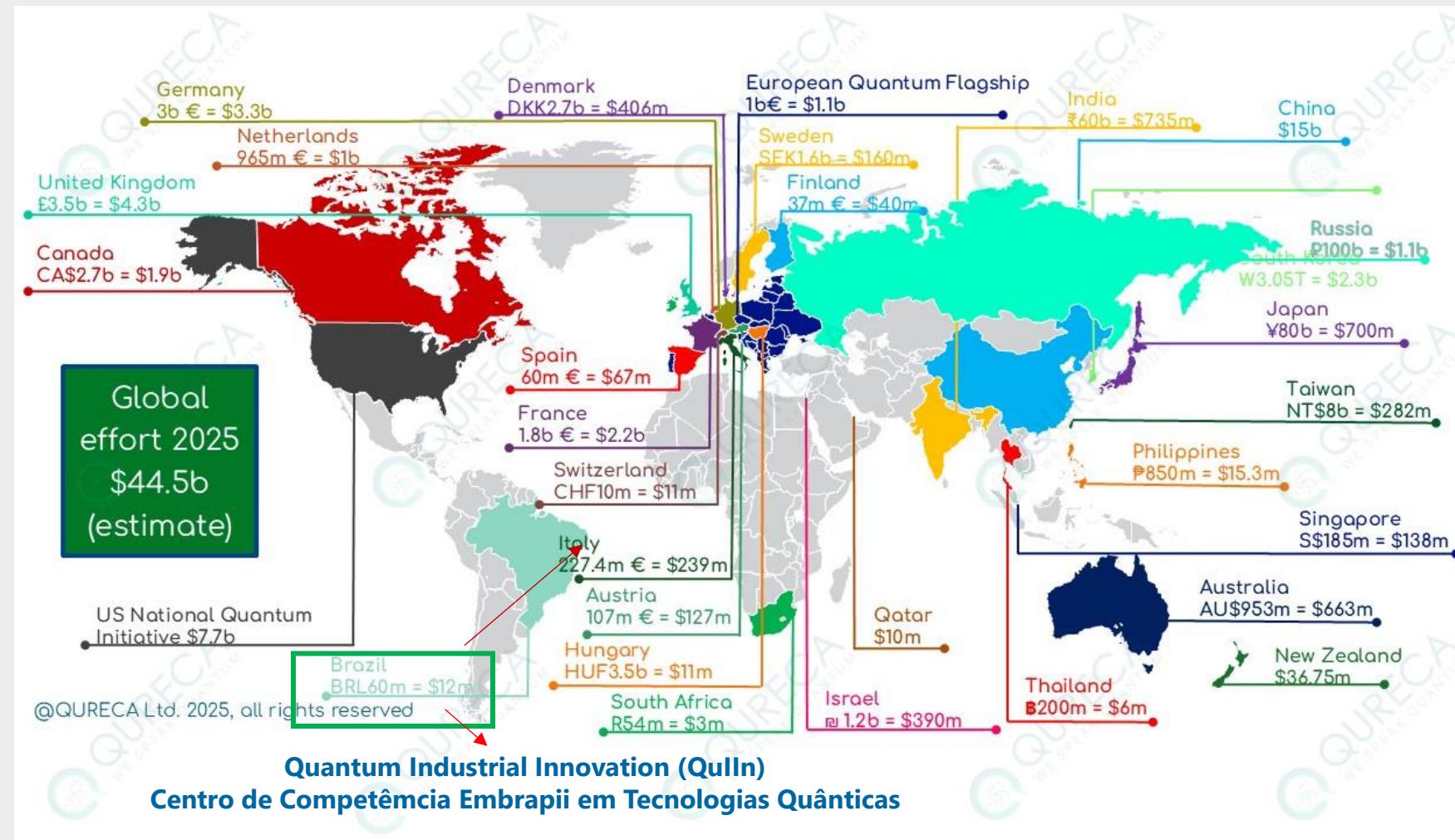


Comunicação Quântica

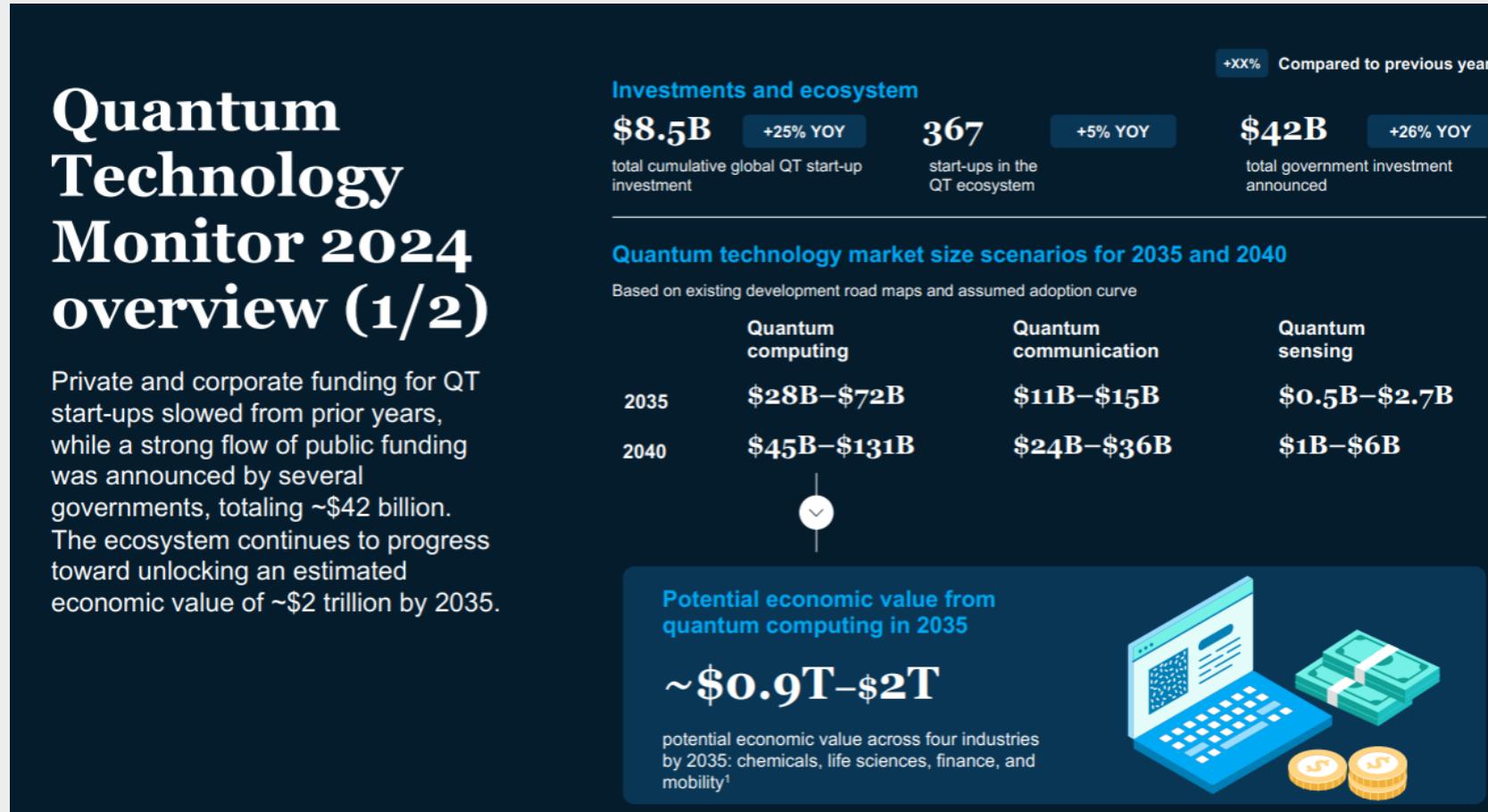
Investimentos em Tecnologias Quânticas



Investimentos em Tecnologias Quânticas

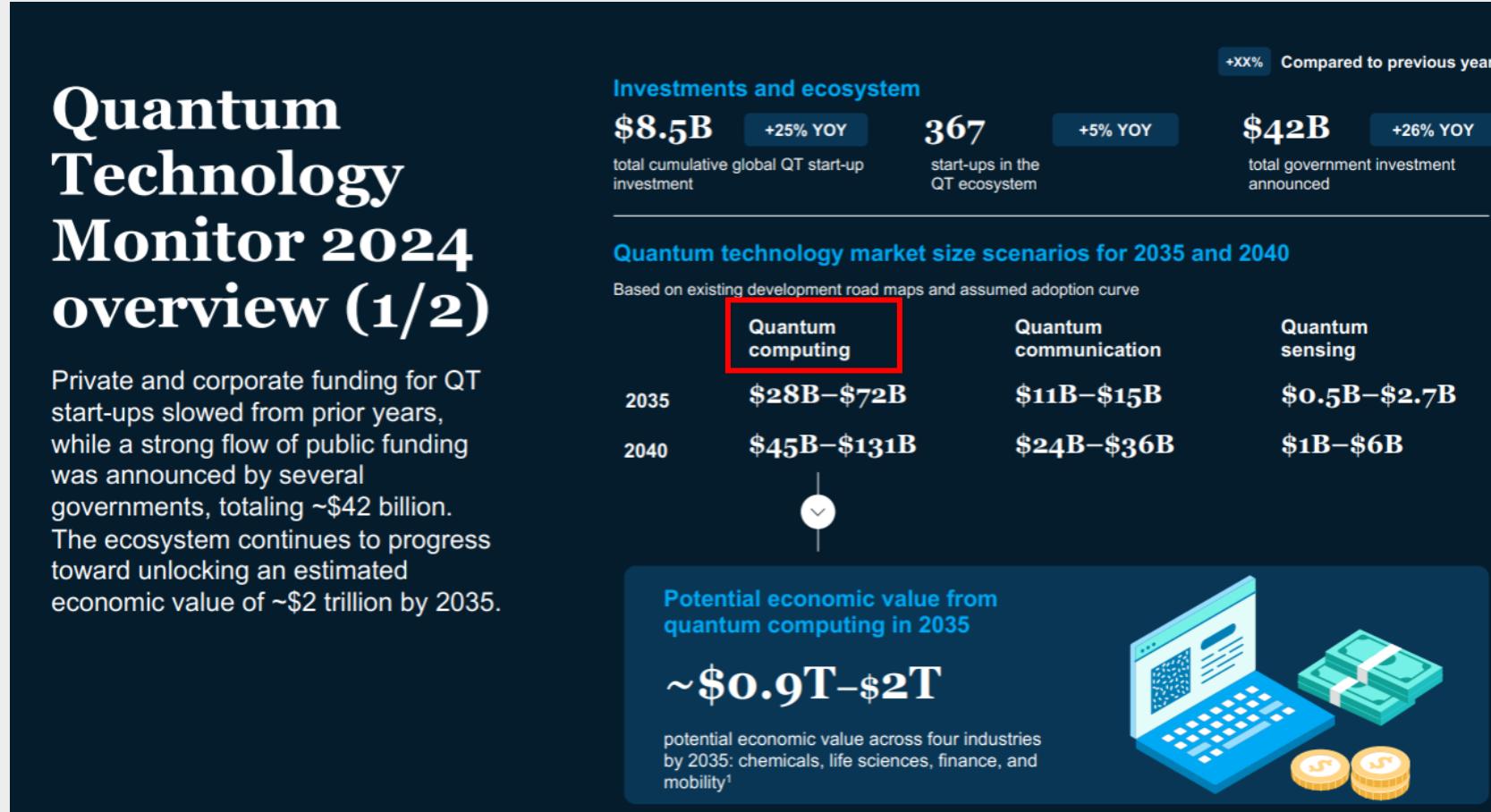


Investimentos em Tecnologias Quânticas



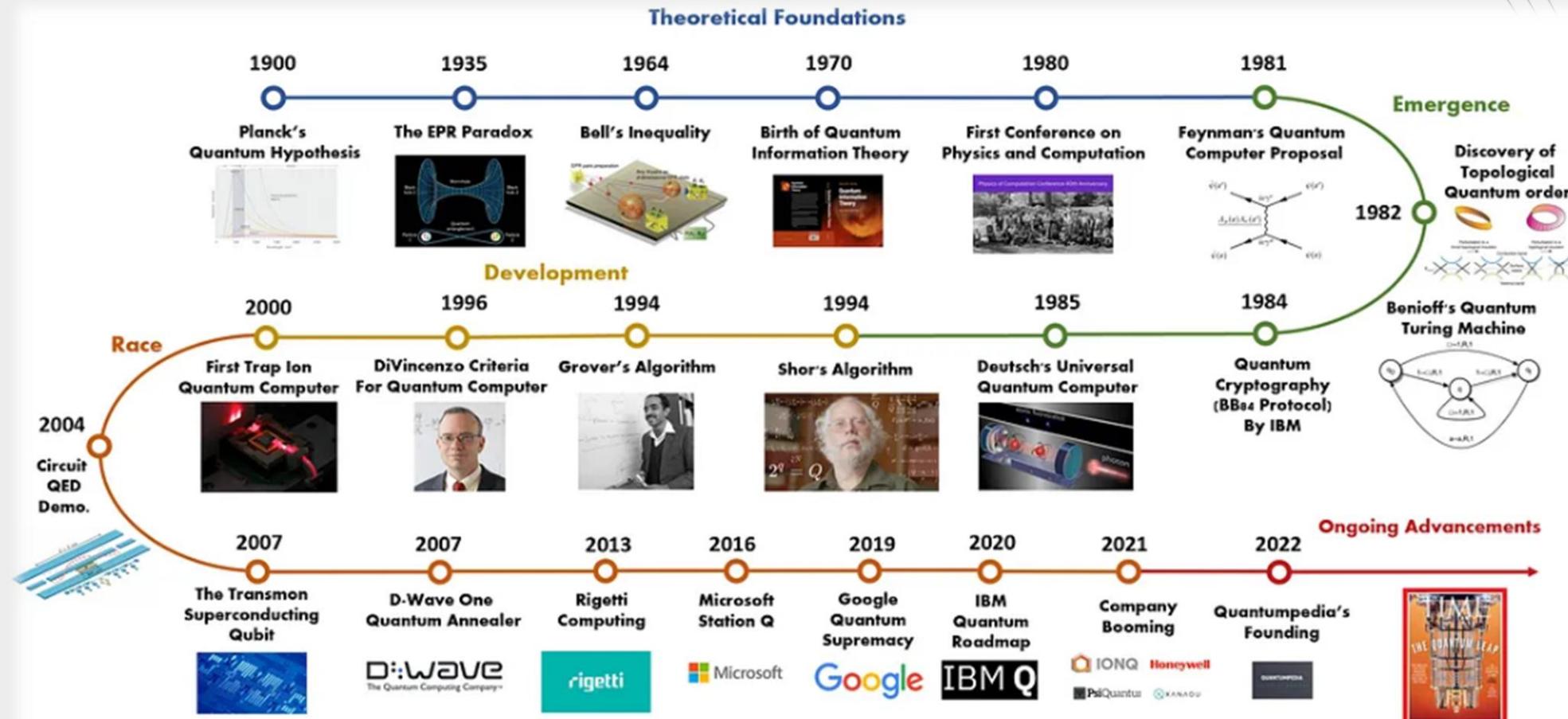
McKinsey & Company, Quantum technology monitor, abr. 2024.

Investimentos em Tecnologias Quânticas



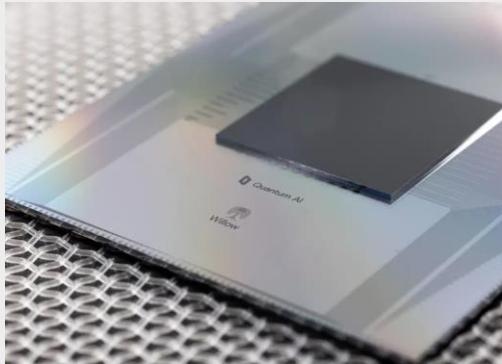
McKinsey & Company, Quantum technology monitor, abr. 2024.

Linha do Tempo

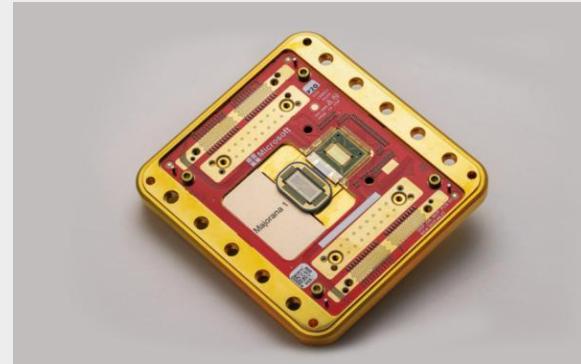


A Brief History of Quantum Computing (Copyright: [Quantumpedia](#))

Linha do Tempo – 2024/2025



Willow (Google)
Supercondutor
Dez. 2024

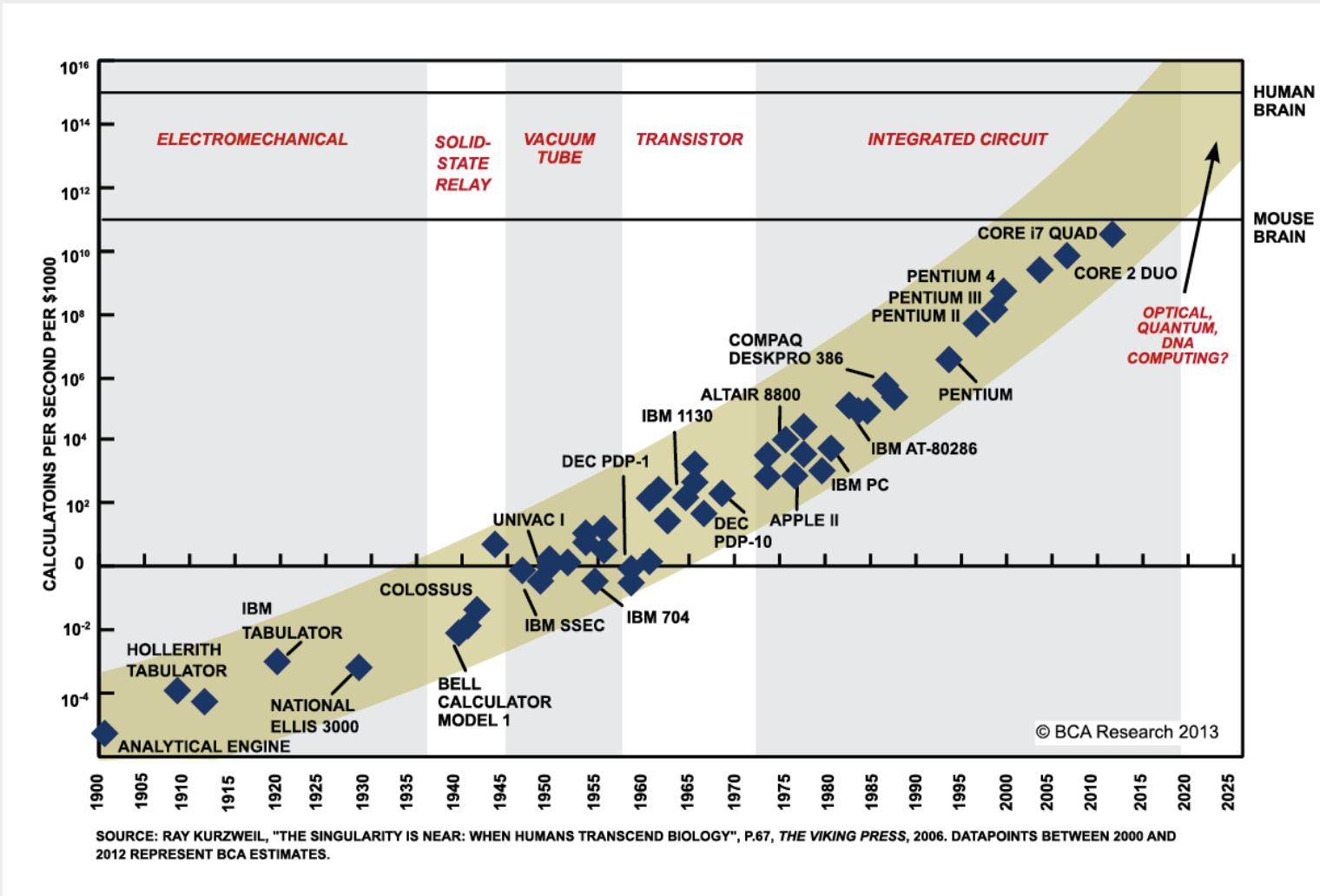
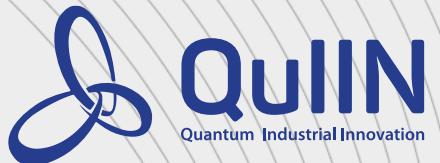


Majorana 1 (Microsoft)
Topológico
Fev. 2025

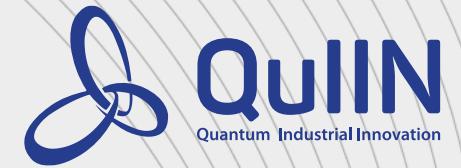


Zuchongzhi-3 (USTC)
Supercondutor
Mar. 2025

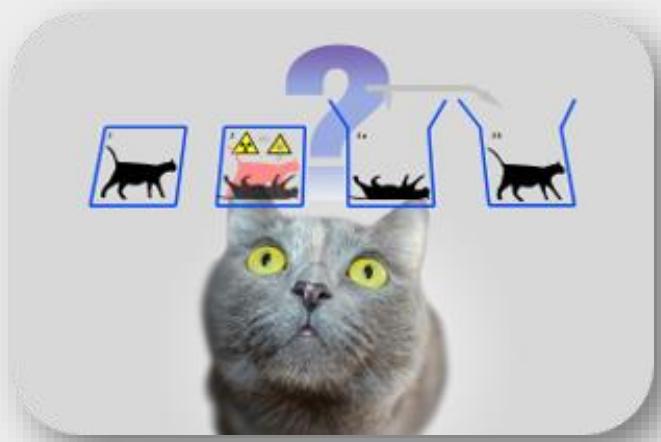
Fmda Lei de Mbole?



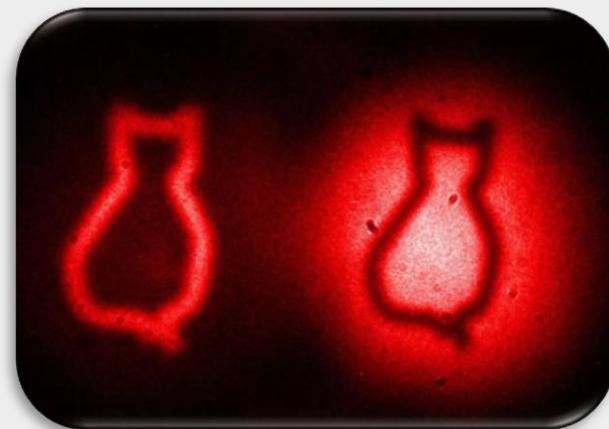
Ingredientes para computação quântica



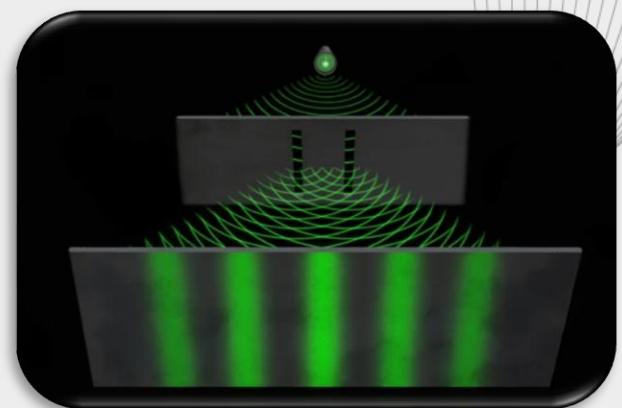
- A computação quântica é a computação que faz uso de fenômenos da mecânica quântica



Superposição



Emaranhamento

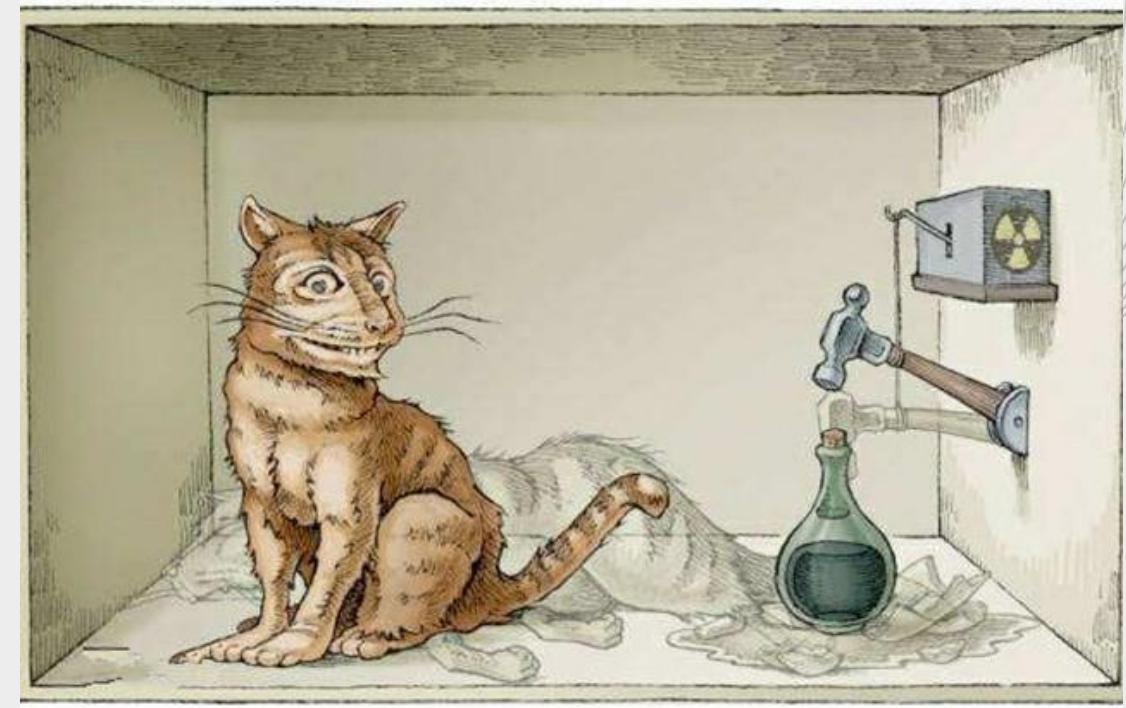
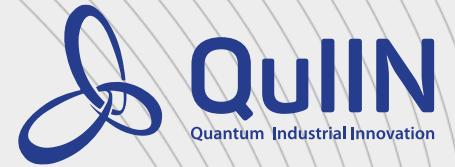


Interferência

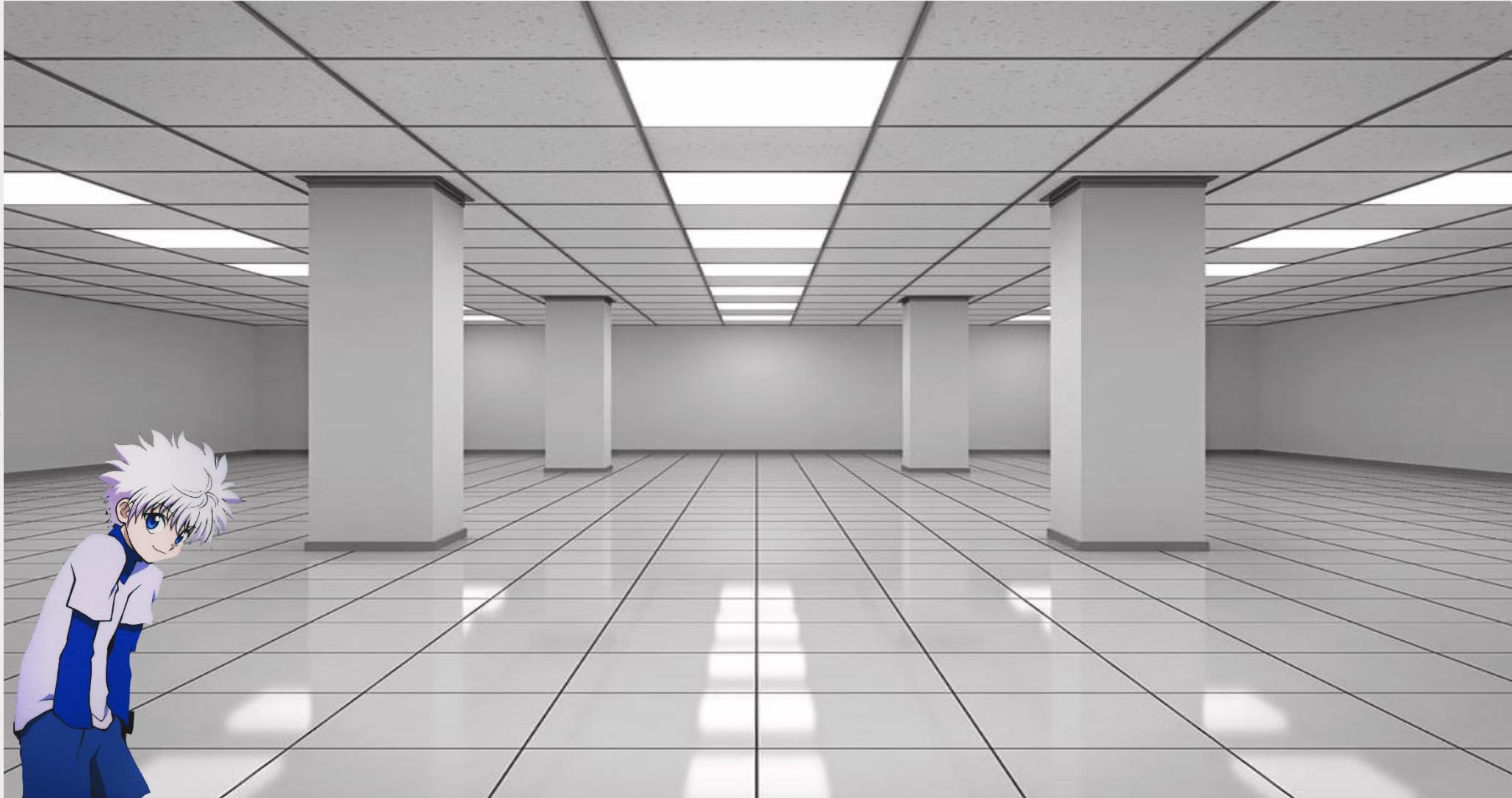
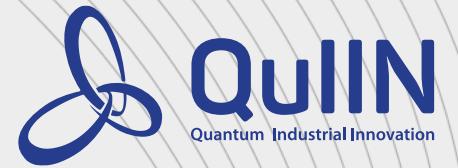
Superposição



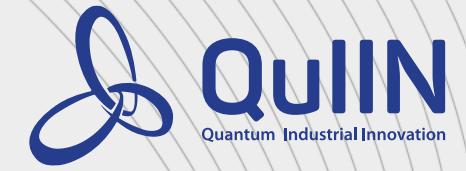
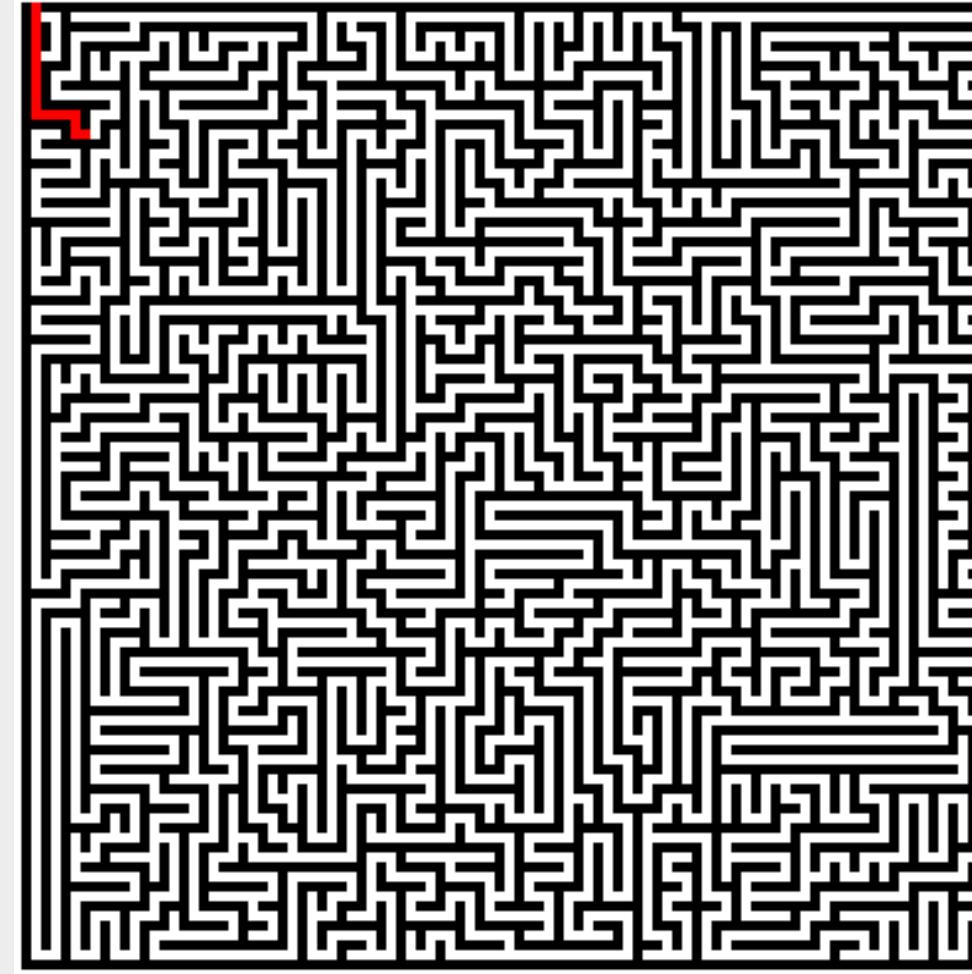
É um princípio da mecânica quântica que afirma que em um sistema quântico, é possível ter uma combinação linear dos estados do sistema em um certo instante de tempo.



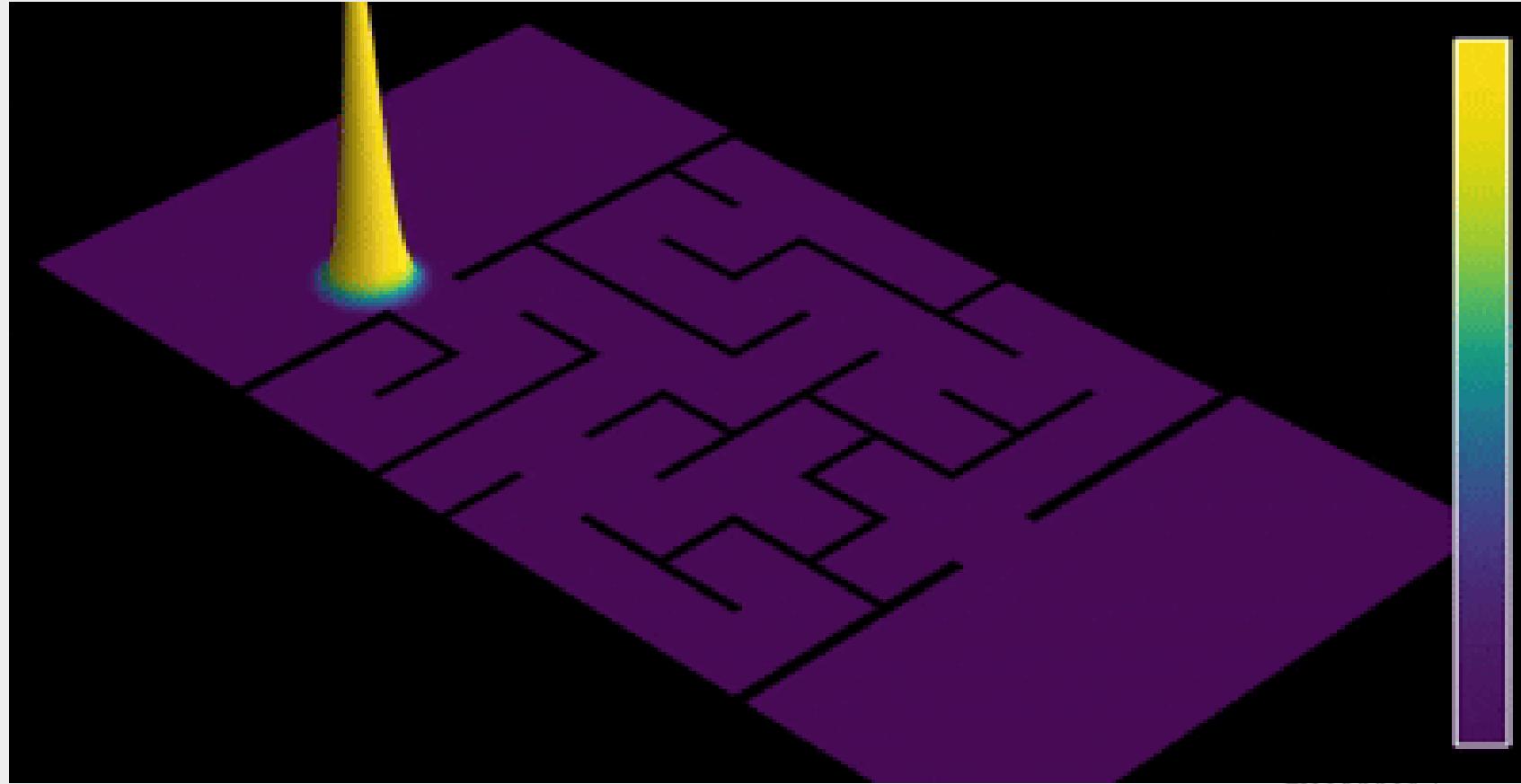
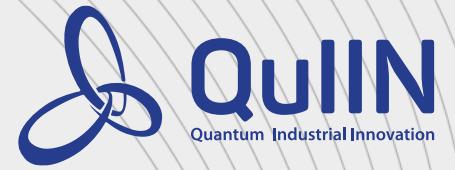
Superposição



Superposição

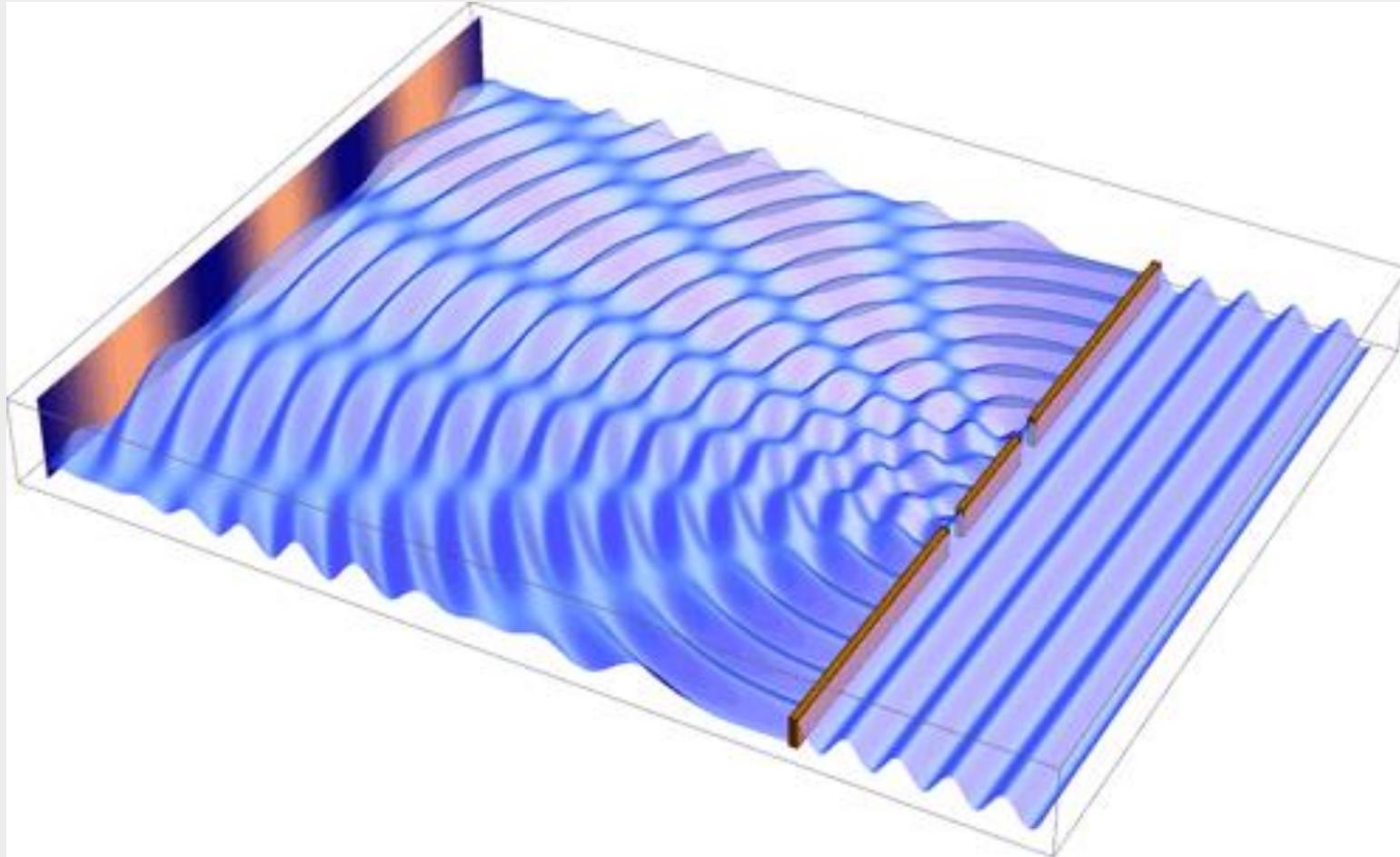


Superposição



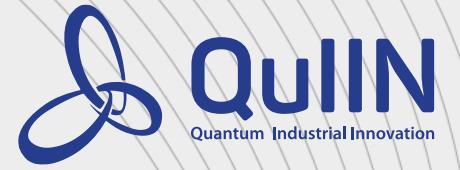
Quantum maze: Solved and not solved at the same time, Nils Berglund, Youtube, 2023. Disponível em:
https://youtu.be/Boz9QRgud4w?si=o_U0PFDp7r3FevJL

Interferência



Processo de interferência: a medida que as onda interagem, criam-se interferências construtivas e destrutivas, que podem ser visualizadas no aparato

Interferência



Processo de interferência: a medida que as onda interagem, criam-se interferências construtivas e destrutivas, que podem ser visualizadas no aparato

Interferência



Na quântica, consideramos que a probabilidade de ocorrência de um evento é afetada pelas amplitudes de probabilidade das diferentes maneiras pelas quais esse evento pode ocorrer.

-  Superposição de Estados
-  Amplitudes de Probabilidade
-  Interferência construtiva e destrutiva

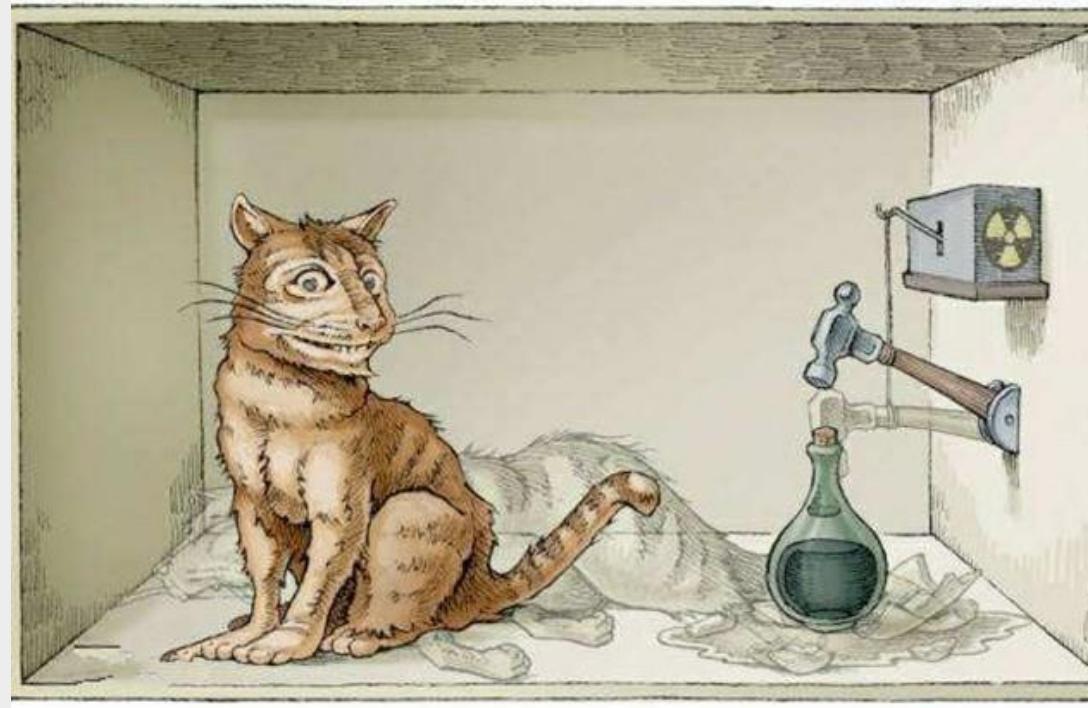
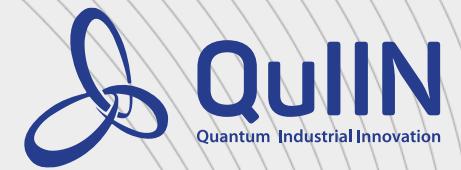
Emaranhamento



- ⚛️ Também conhecido como entrelaçamento quântico, Objetos que estão separados fisicamente ainda podem ser correlacionados, a grosso modo o que acontece com um também afetará o outro



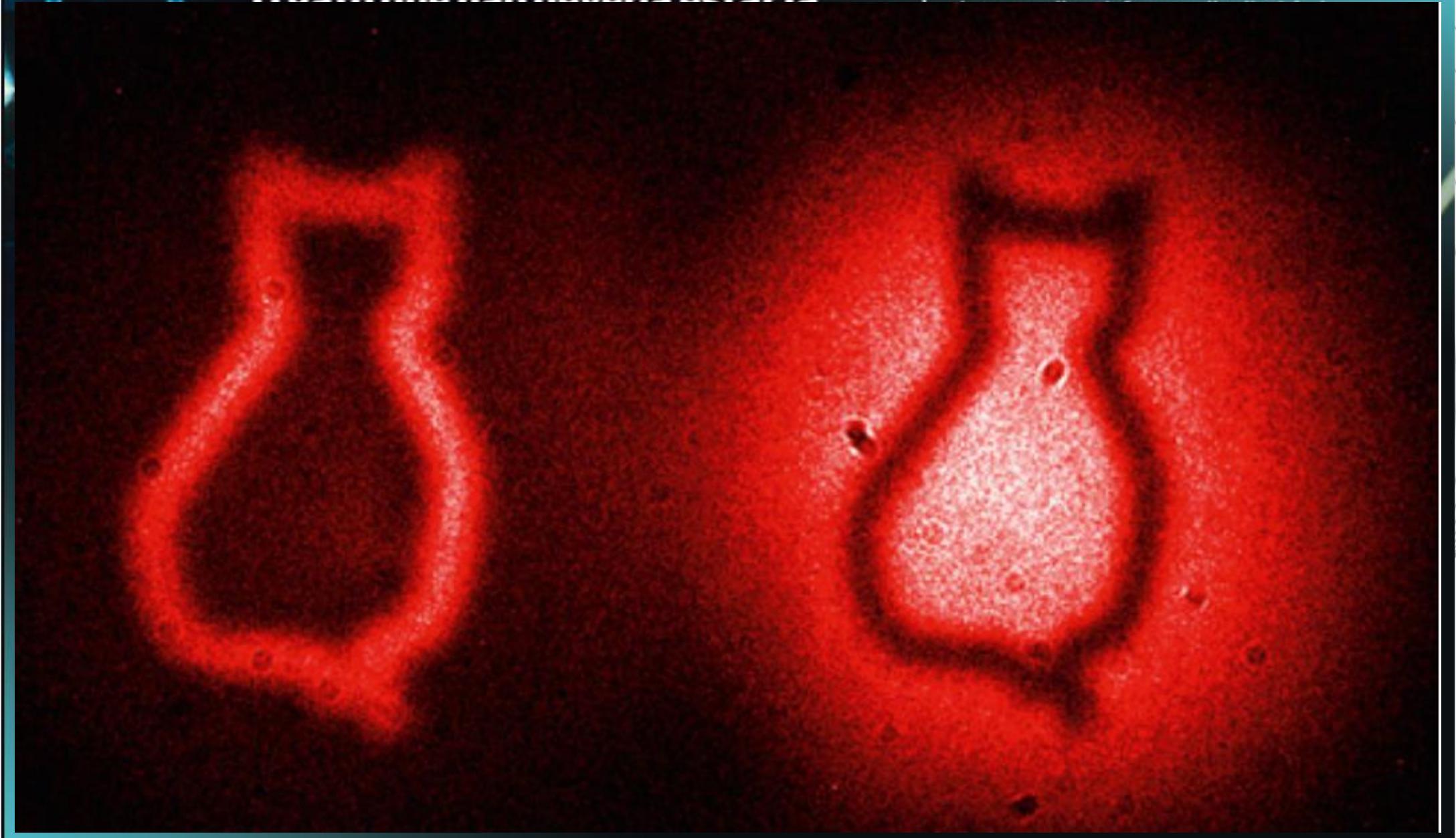
Emaranhamento



**ADICIONAR EQUAÇÃO ESTADOS
EMARANHADOS**

O gato que não deveria estar lá

O cristal separa o laser em dois tipos de



Computação Clássica vs Computação Quântica

Computação Clássica

bits (0,1)

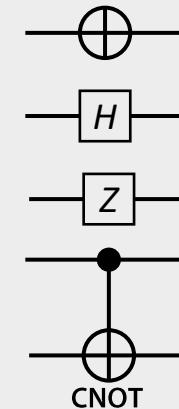
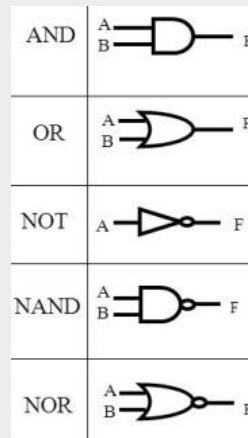
Operadores booleanos

representam *portas lógicas*



Saída

01011010001...



Computação Quântica

quantum bits : qubits (0 and 1)

qubit é um sistema quântico de 2 estados

Álgebra Linear, vetores e matrizes

representam *portas quânticas*

(e.g; NOT, Hadamard, phase shift, CNOT)

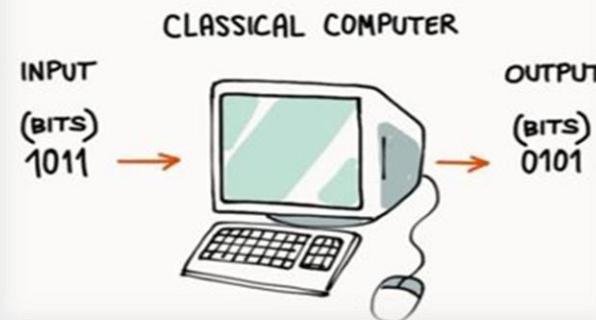


Medida



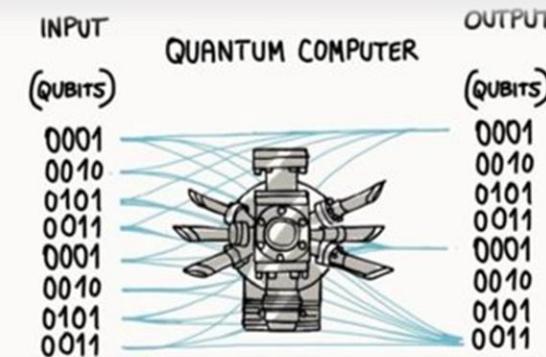
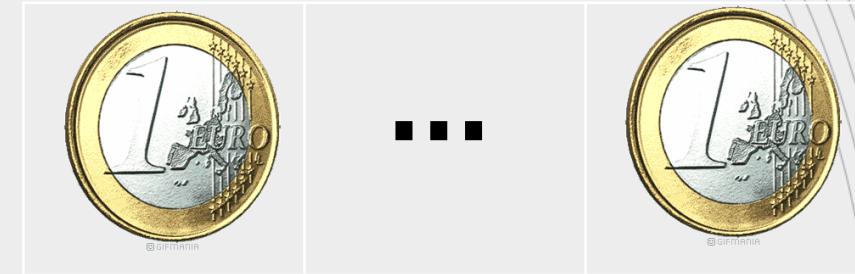
Computação Clássica vs Computação Quântica

bits clássicos ou “bits”: **1|0**



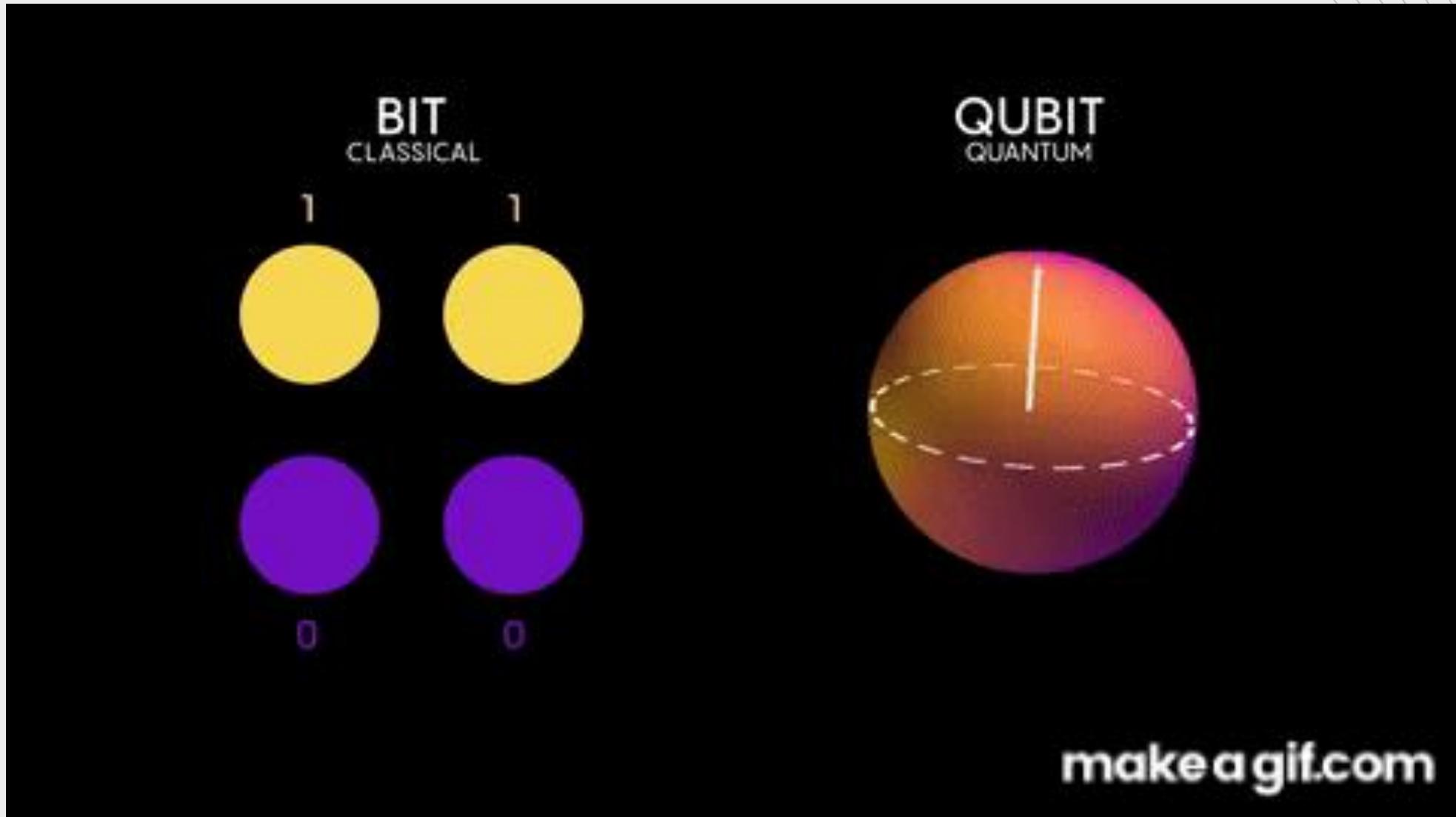
Informação: n bits → n saídas

bits quânticos ou “qubits”: $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$



Informação: n qubits → 2^n estados

Computação Clássica vs Computação Quântica



Tipos de Computadores Quânticos

Quantum Annealing



Limited to optimization algorithms

Super-conducting



Trapped ions



Topological qubits



Photons



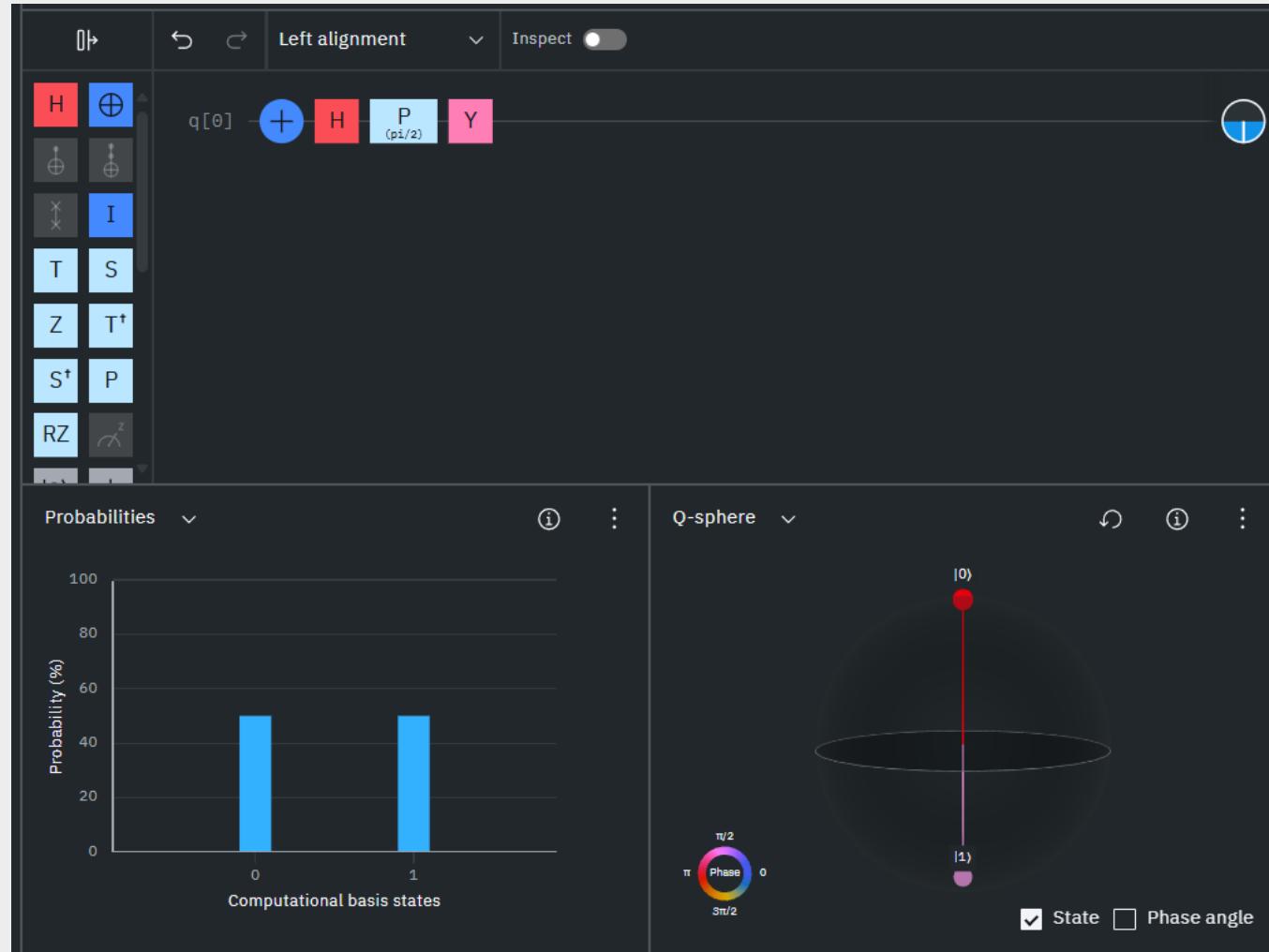
Silicon qubits



Misc.



Computação Quântica com 1 qubit



Qubits



- O qubit pode existir em diversos estados antes de ser medido, representado por:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

- A medição nos dá apenas um resultado
- A probabilidade do qubit ser medido em um determinado estado, é dada por:

$$\begin{aligned} |0\rangle &\Rightarrow |\alpha|^2 \\ |1\rangle &\Rightarrow |\beta|^2 \end{aligned}$$

- A soma das probabilidades deve ser igual a 100%, portanto:

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Qubits: Superposição e medição



Notação
Vetorial

Um qubit pode ser representado como um **Vetor Complexo**:

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$$

Qubits: Superposição e medição

Notação
Vetorial

Um qubit pode ser representado como um **Vetor Complexo**:

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$$

Mas a medição nos dá apenas 0 ou 1 com uma certa probabilidade

Qubits: Superposição e medição

Notação
Vetorial

Um qubit pode ser representado como um **Vetor Complexo**:

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$$

Mas a medição nos dá apenas 0 ou 1 com uma certa probabilidade

0 com probabilidade $|\alpha|^2$

1 com probabilidade $|\beta|^2$

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Qubits: Base Computacional



Notação
Vetorial

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \alpha \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Base computacional de um qubit

Qubits: Base Computacional

Notação de
Dirac



$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \alpha \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

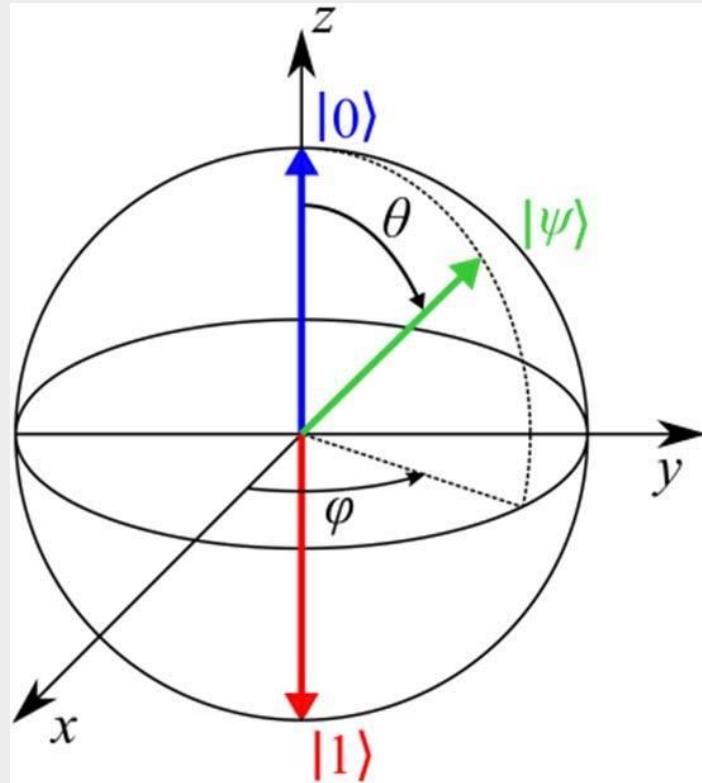
Base computacional de um qubit

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

Notação de Dirac

Representação de um qubit

Esfera de
Bloch

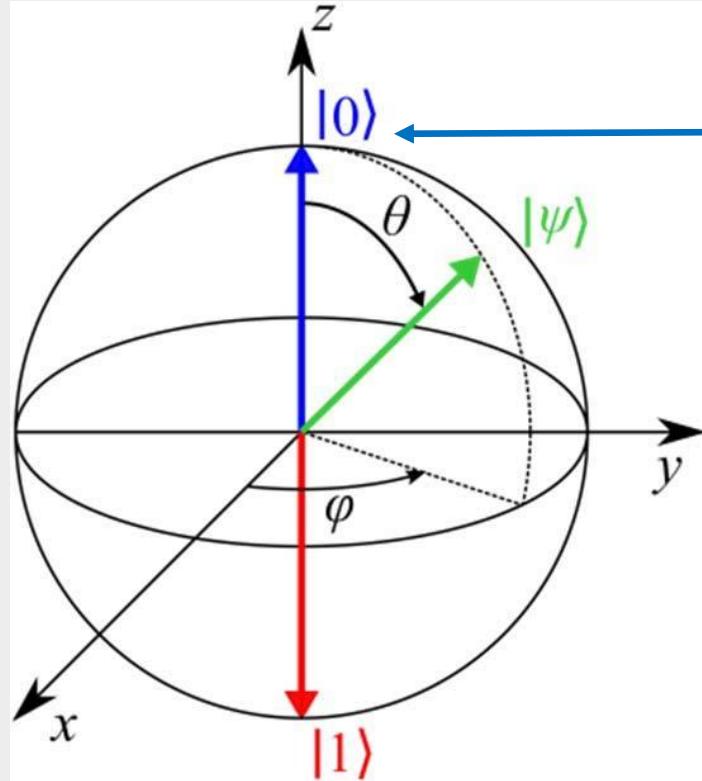


autor: Fabio Sebastian

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

Representação de um qubit

Esfera de
Bloch



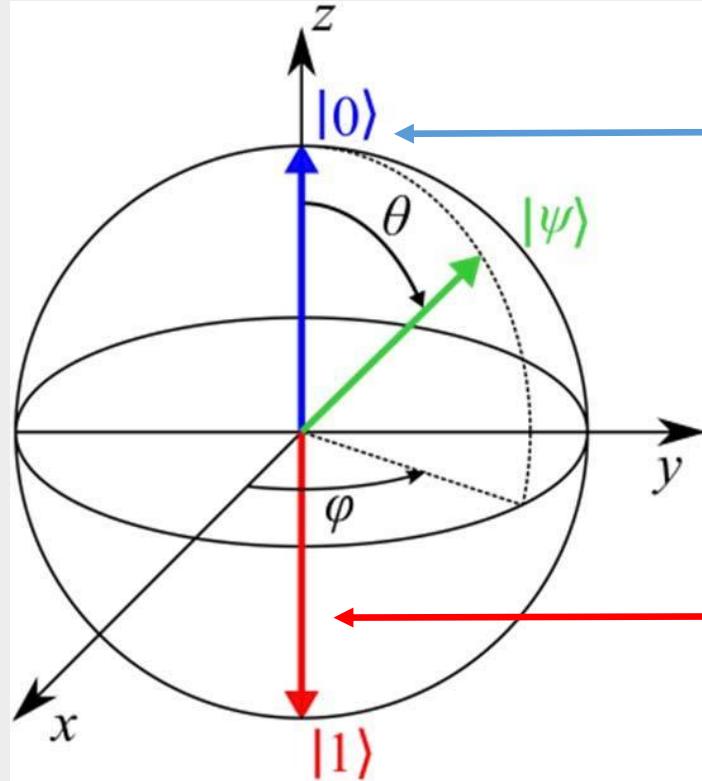
$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

↑
Estado Fundamental

author: Fabio Sebastian

Representação de um qubit

Esfera de
Bloch



$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

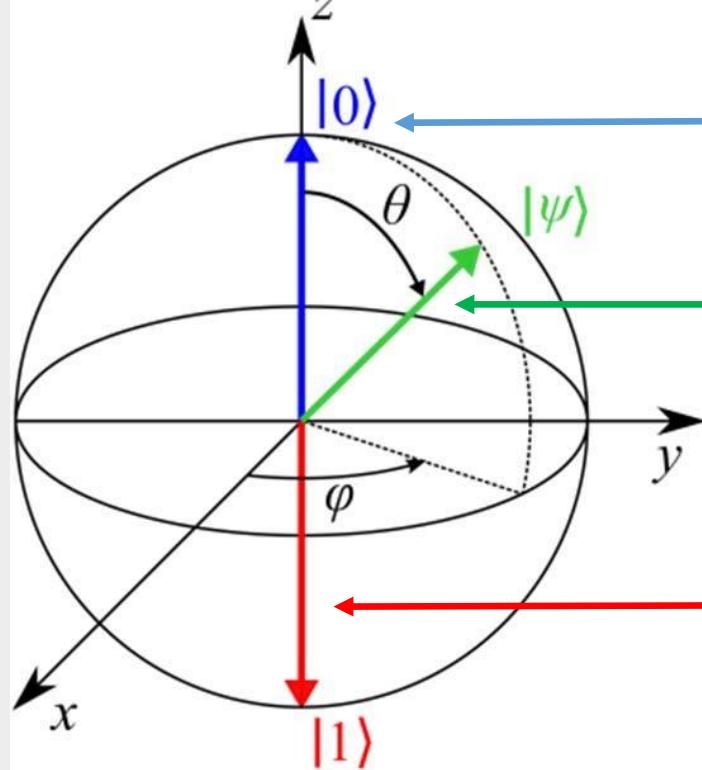
Estado Fundamental

Estado Excitado

author: Fabio Sebastian

Representação de um qubit

Esfera de
Bloch



author: Fabio Sebastian

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$

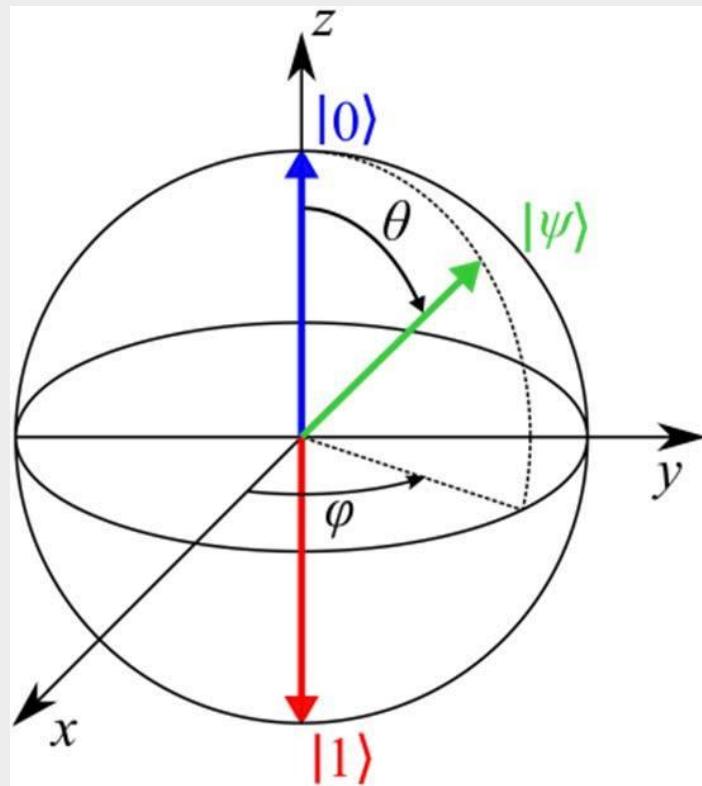
Estado Fundamental

Estado Intermediário

Estado Excitado

Adicionando Vetores e Ângulos

Esfera de
Bloch

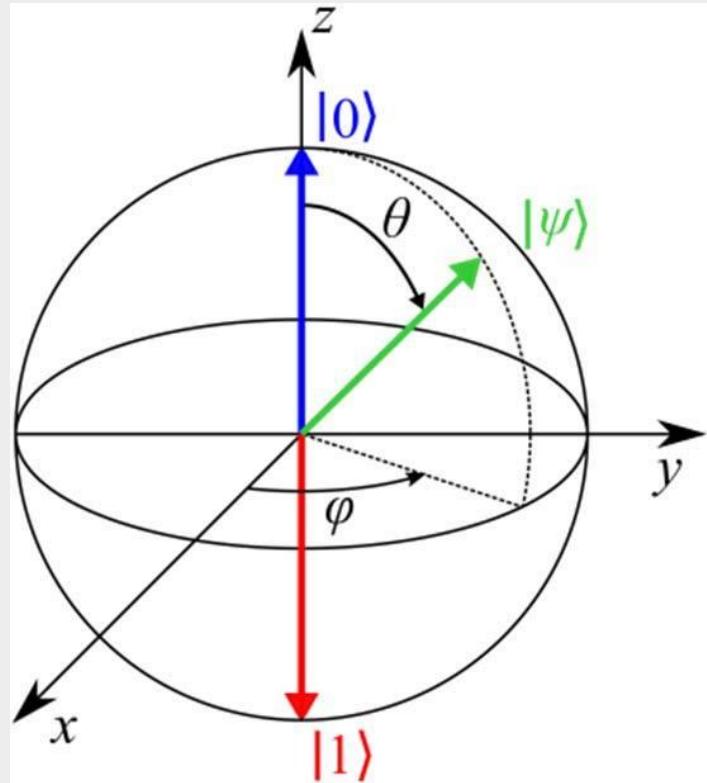


author: Fabio Sebastian

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$
$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Adicionando Vetores e Ângulos

Esfera de
Bloch



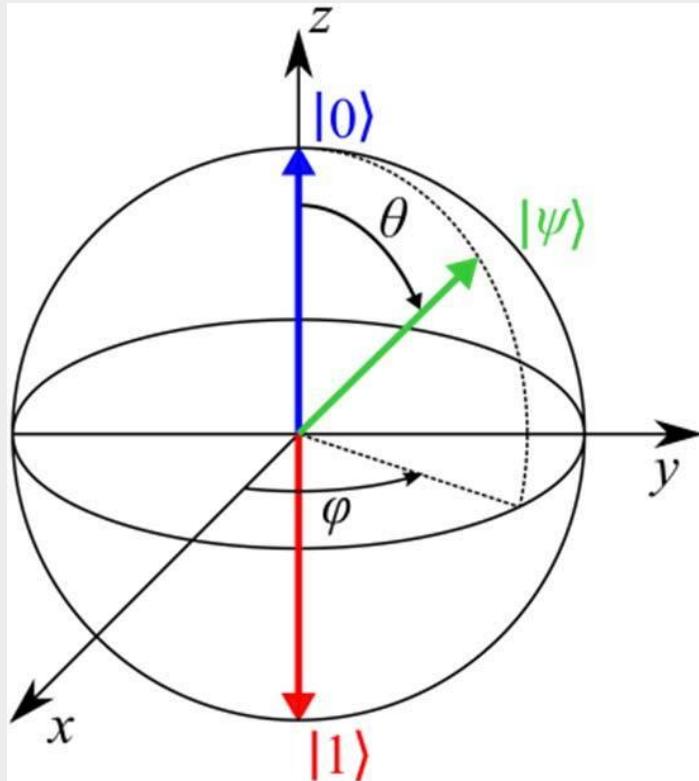
author: Fabio Sebastian

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$$
$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

$$|\psi\rangle = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$$

Adicionando Vetores e Ângulos

Esfera de Bloch



author: Fabio Sebastian



IMPORTANTE:

A esfera de Bloch pode ser utilizada para representação visual do estado de um qubit, porém não pode ser estendida para representar um sistema de múltiplos qubits devido a complexidade.

Hands on - Esfera de Bloch

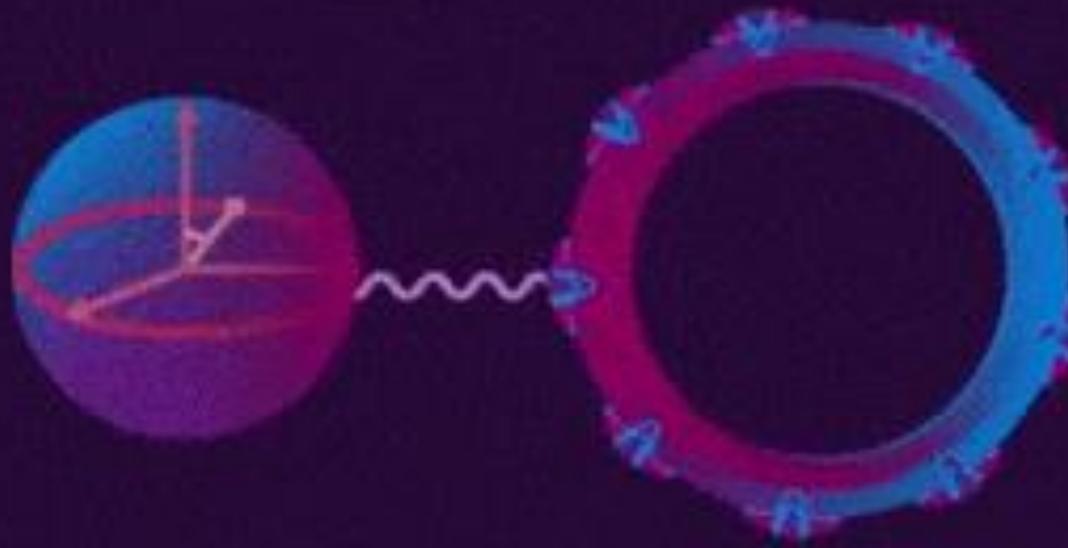


- 1) Utilizando o site <https://bloch.kherb.io/> visualize os estados de um qubit na esfera de Bloch.
 - 2) Faça uma busca e responda: qual é a relação entre a esfera de Bloch e o sistema de coordenadas esféricas?
- Bônus: Faça uma busca e responda: qual a diferença entre estados que se encontraram na superfície da esfera de Bloch vs os estados do interior da esfera de Bloch?

Portas Lógicas Quânticas



QUANTUM GATE



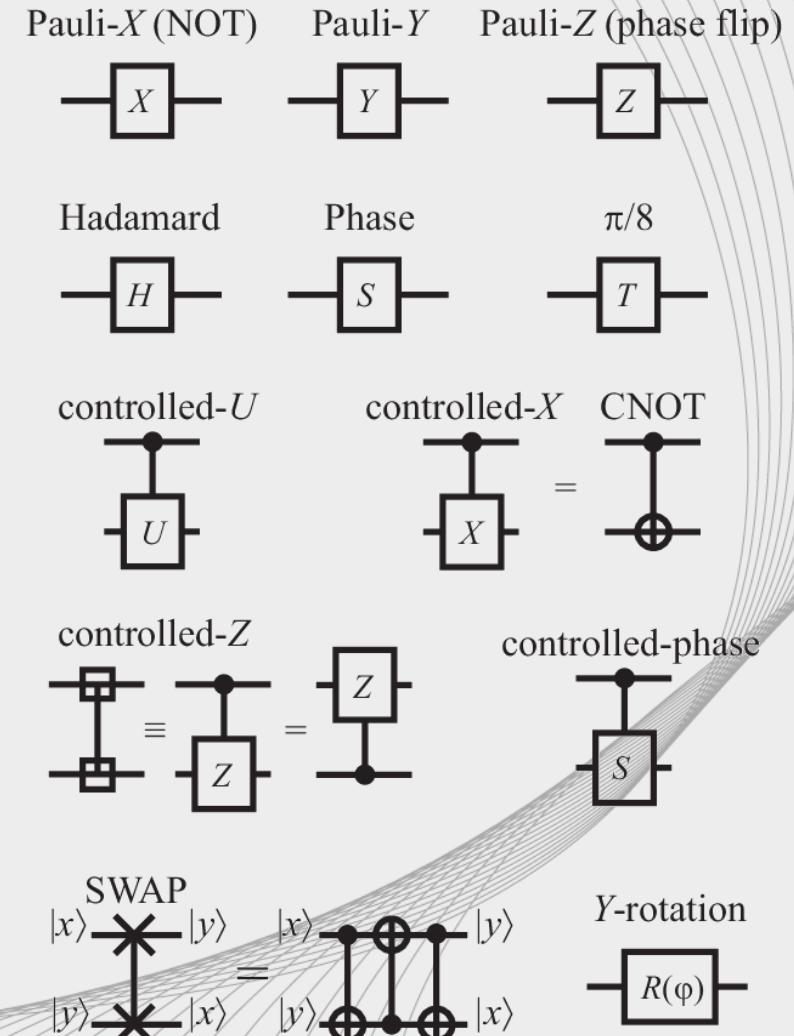
Portas Lógicas Quânticas



- Manipulam o estado do qubit através de certas operações.
- Podem ser representadas por matrizes
- As matrizes devem ser unitárias

$$UU^\dagger = U^\dagger U = I$$

- Trataremos da parte algébrica



Portas Lógicas Quânticas

Pauli-X

X

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Pauli-Y

Y

$$\begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$$

Pauli-Z

Z

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Phase

S

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}$$

Phase Shift

PH[θ]

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\theta} \end{pmatrix}$$

X Rotation

RX[θ]

$$\begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) & -i \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ -i \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) & \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \end{pmatrix}$$

Y Rotation

RY[θ]

$$\begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) & -\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) & \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \end{pmatrix}$$

Z Rotation

RZ[θ]

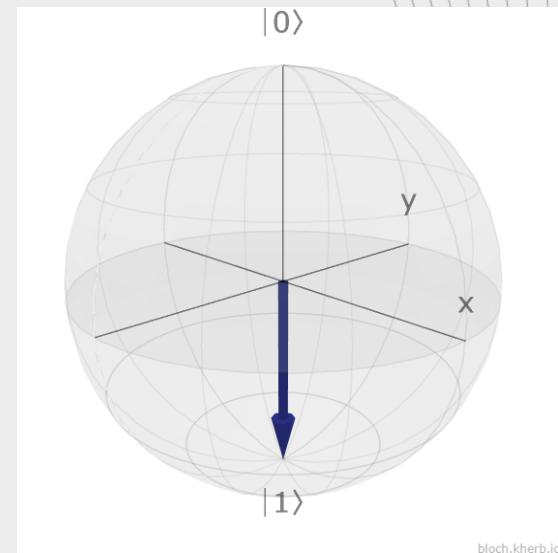
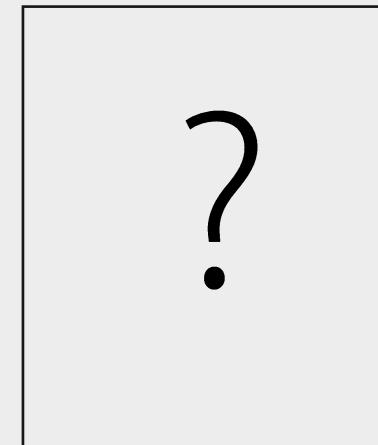
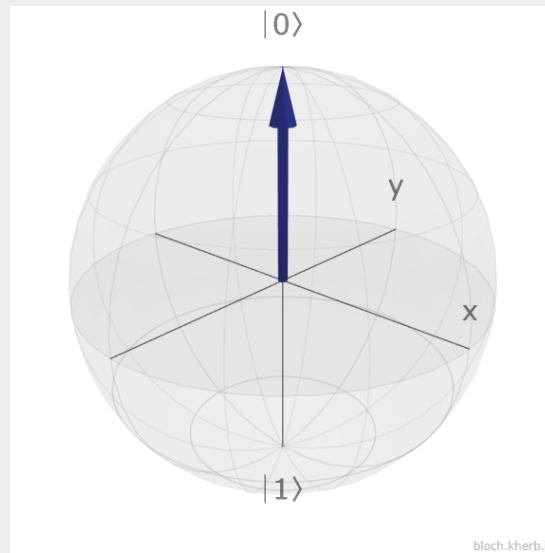
$$\begin{pmatrix} e^{-i\frac{\theta}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\theta}{2}} \end{pmatrix}$$

Portas Lógicas Quânticas



$|0\rangle$

$|1\rangle$



ENTRADA

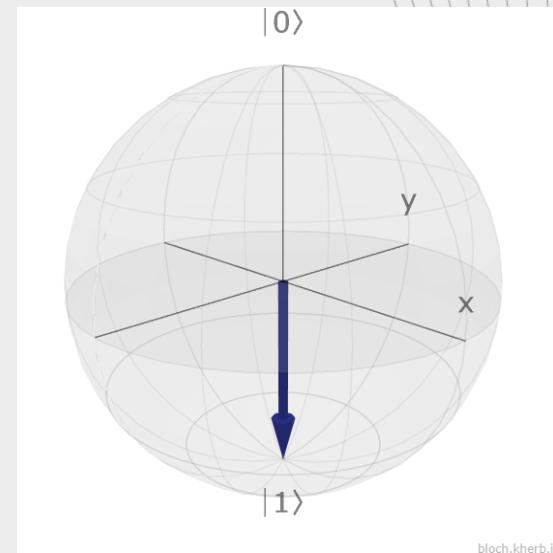
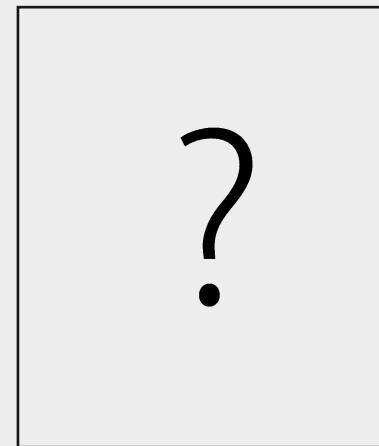
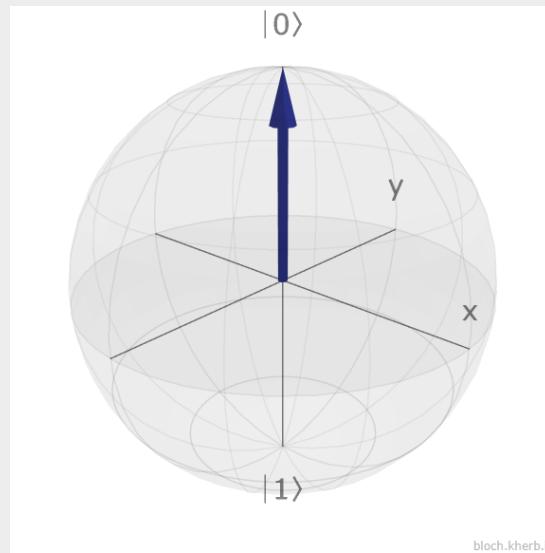
SAÍDA

Portas Lógicas Quânticas



$|0\rangle$

$|1\rangle$

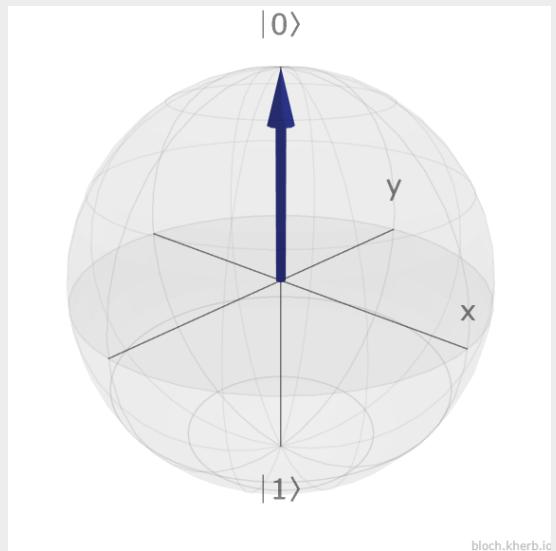


$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{?}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

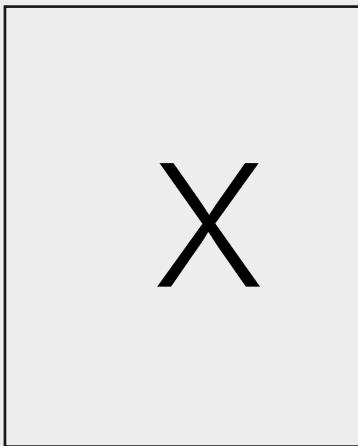
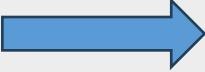
Portas Lógicas Quânticas - NOT (Pauli X)



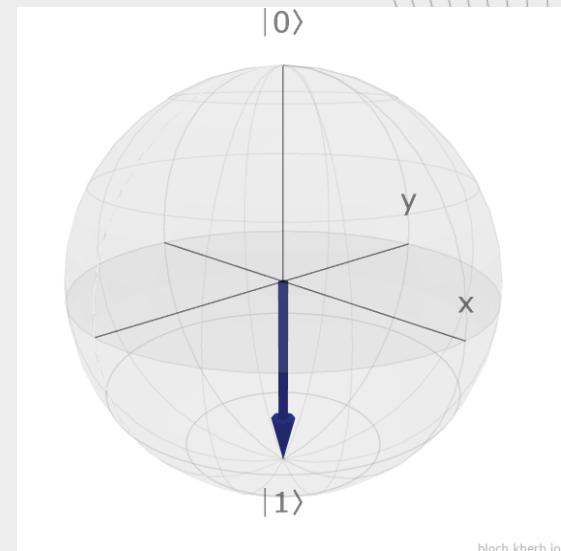
$|0\rangle$



ENTRADA



$|1\rangle$

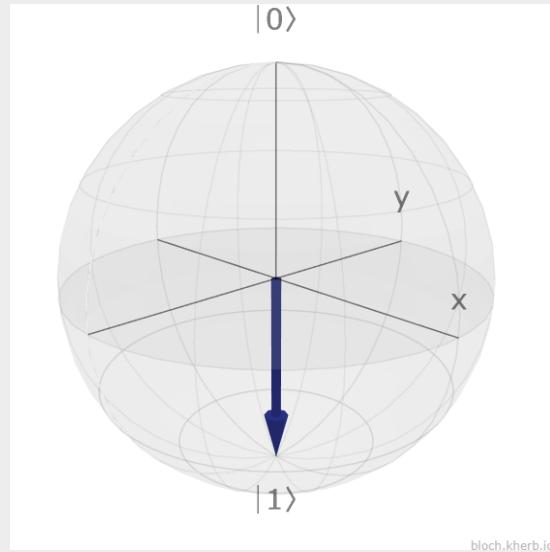


SAÍDA

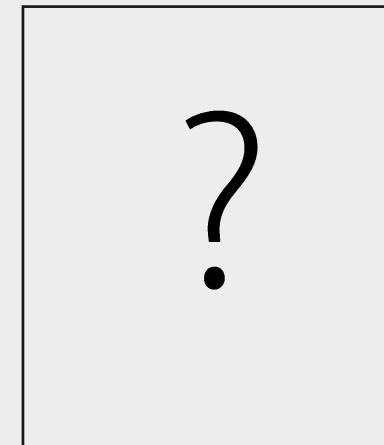
$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{NOT}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Portas Lógicas Quânticas

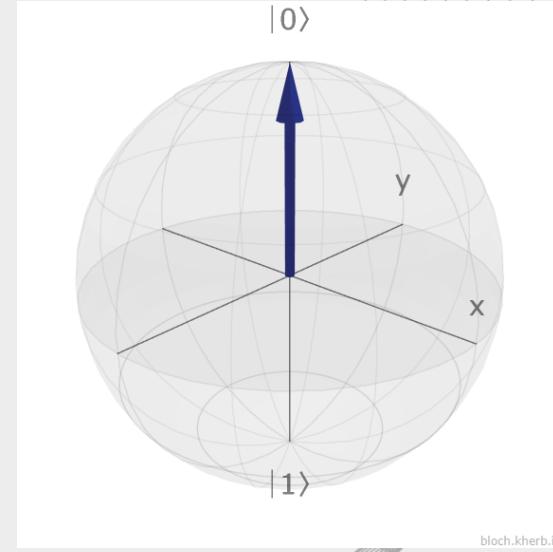
$|1\rangle$



ENTRADA



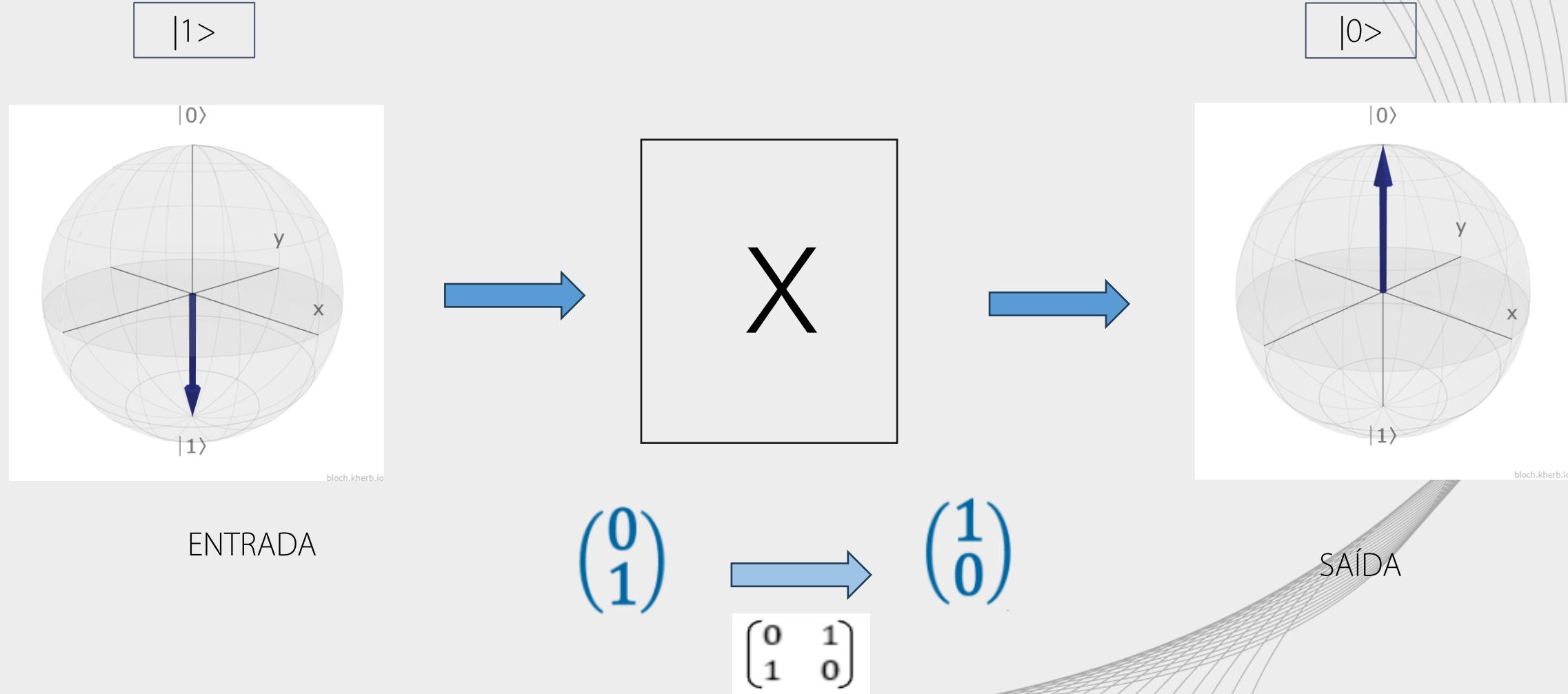
$|0\rangle$



SAÍDA

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{?}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

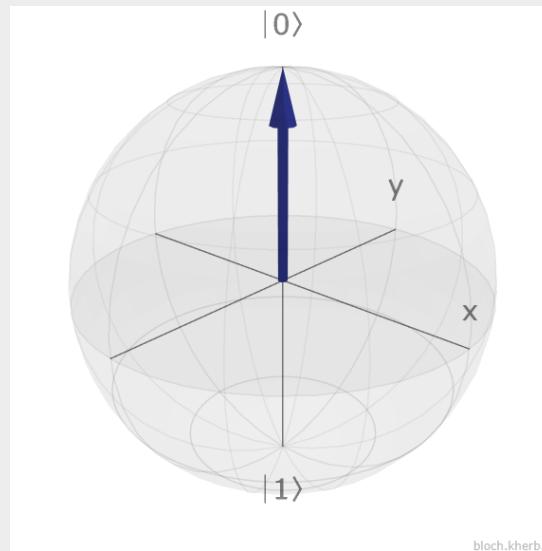
Portas Lógicas Quânticas - NOT (Pauli X)



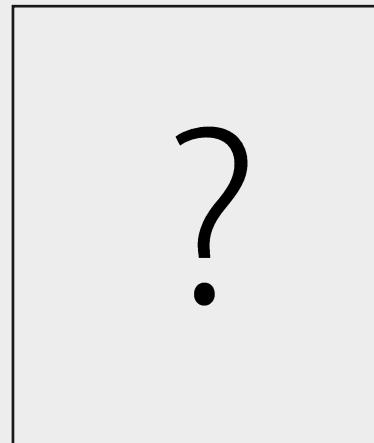
Portas Lógicas Quânticas



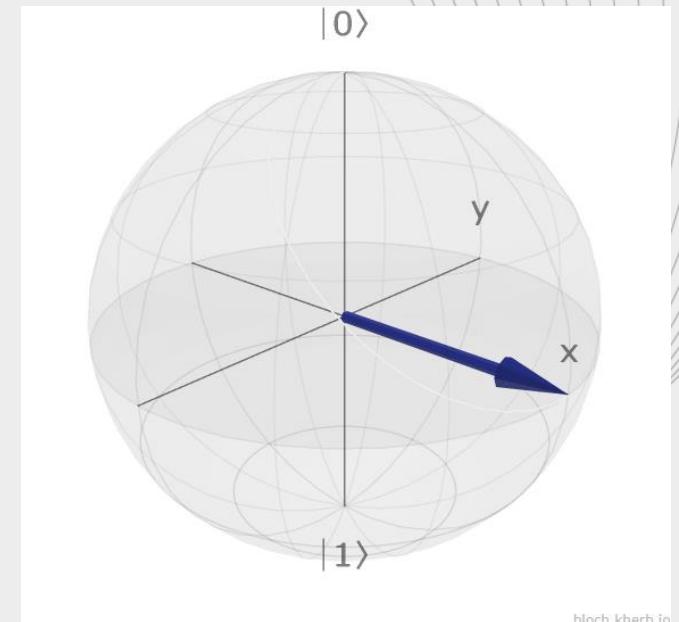
$|0\rangle$



ENTRADA



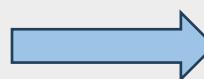
$|+\rangle = (|0\rangle + |1\rangle) / 2^{(1/2)}$



SAÍDA

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

?

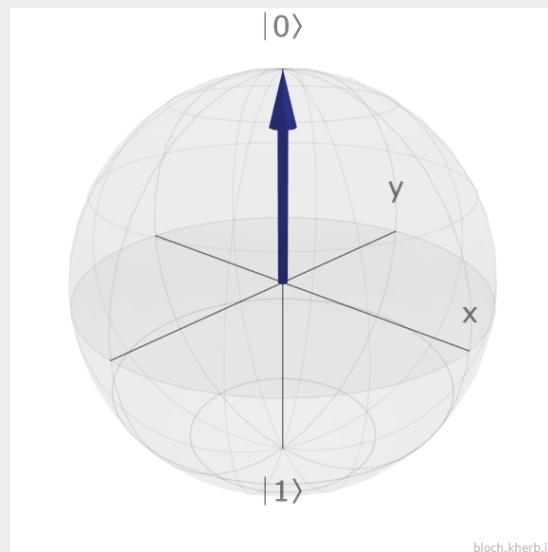


$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Portas Lógicas Quânticas - Hadamard



$|0\rangle$



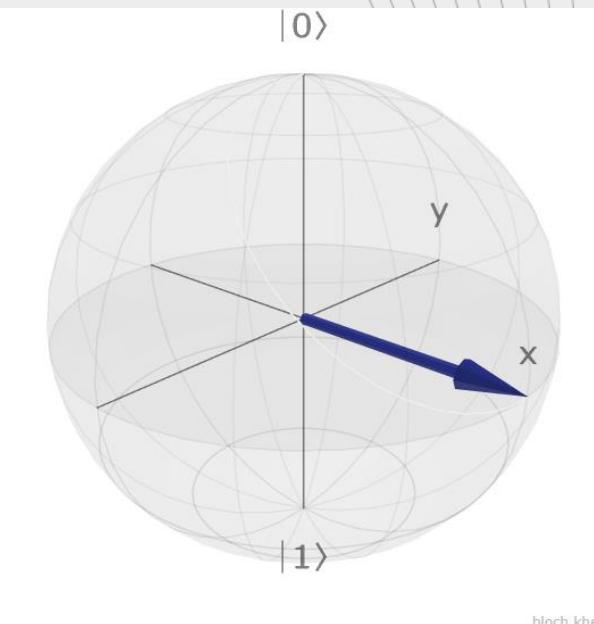
ENTRADA

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

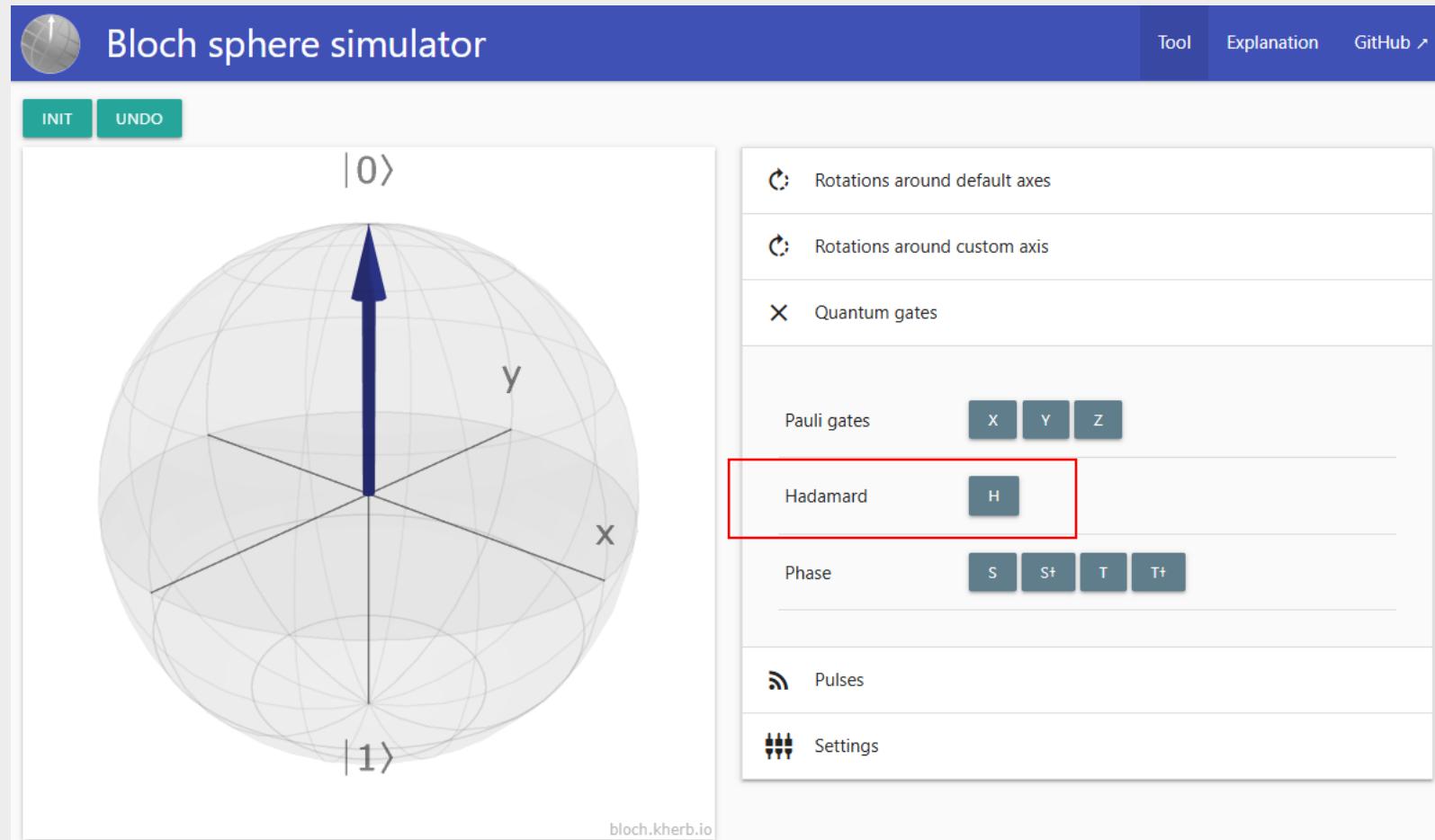
$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$|+\rangle = (|0\rangle + |1\rangle) / 2^{(1/2)}$



SAÍDA

Porta Hadamard e Esfera de Bloch



USE O SITE

<https://bloch.kherb.io/>

Hands on - Porta Hadamard e Esfera de Bloch

- 1) O que ocorre se aplicarmos as seguintes portas quânticas no estado $|0\rangle$?
 - a) Hadamard
 - b) NOT (Pauli X) , Hadamard
 - c) Hadamard, NOT (Pauli X)
 - d) Hadamard, Hadamard
 - E) NOT, NOT

USE O SITE

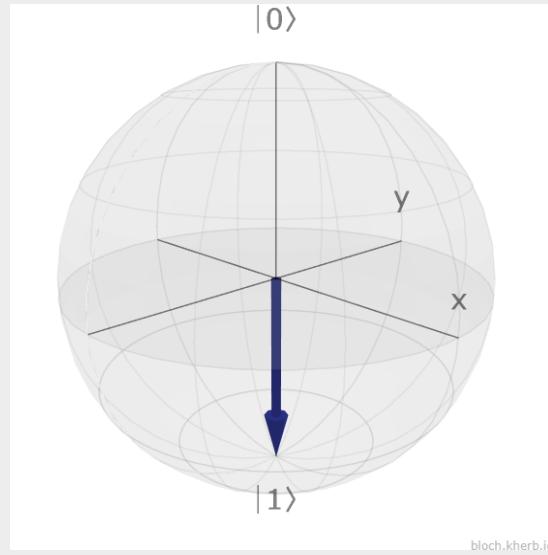
<https://bloch.kherb.io/>

Portas Lógicas Quânticas



$|1\rangle$

$$|-\rangle = (|0\rangle - |1\rangle) / 2^{(1/2)}$$



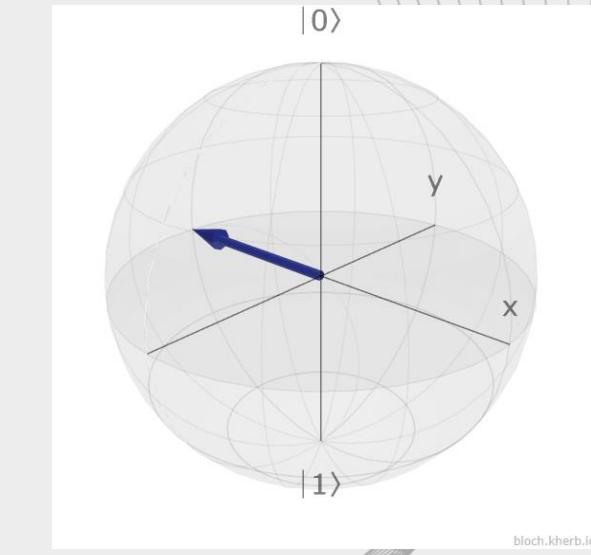
ENTRADA

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

?



$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}$$



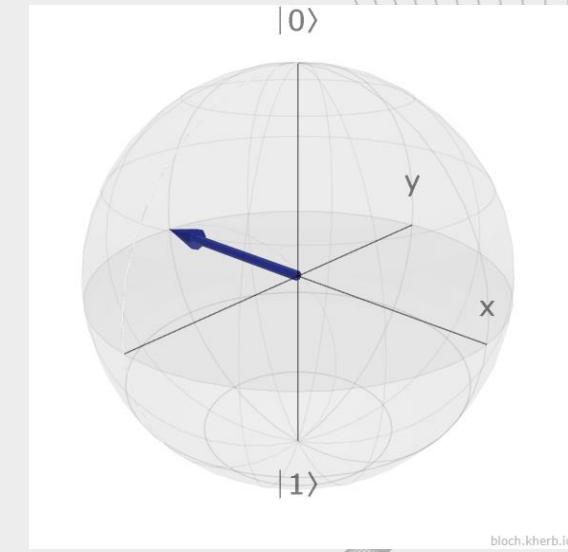
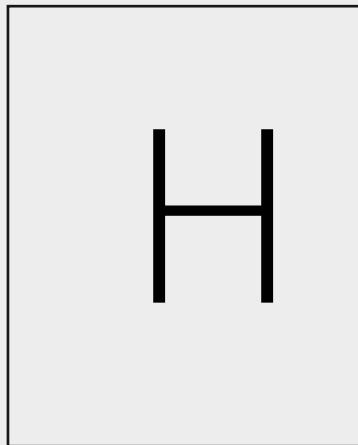
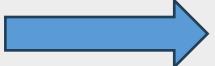
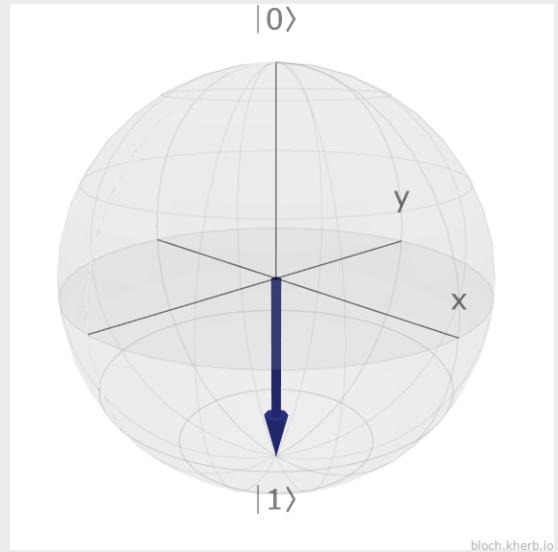
SAÍDA

Portas Lógicas Quânticas- Hadamard



$|1\rangle$

$$|-\rangle = (|0\rangle - |1\rangle) / 2^{(1/2)}$$



ENTRADA

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$



$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

SAÍDA

Porta Hadamard



- $H^2 = I$
- Aplicar H duas vezes em um mesmo estado não irá fazer nada
- $H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}$
- $H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix} = \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}$

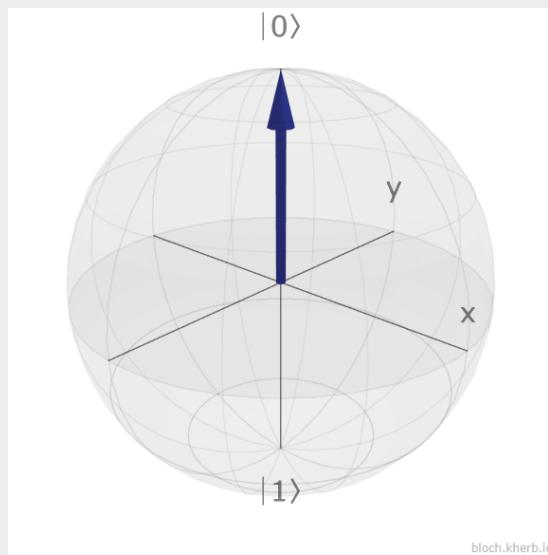
Matrizes de Pauli

$$\sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \sigma_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \quad \sigma_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

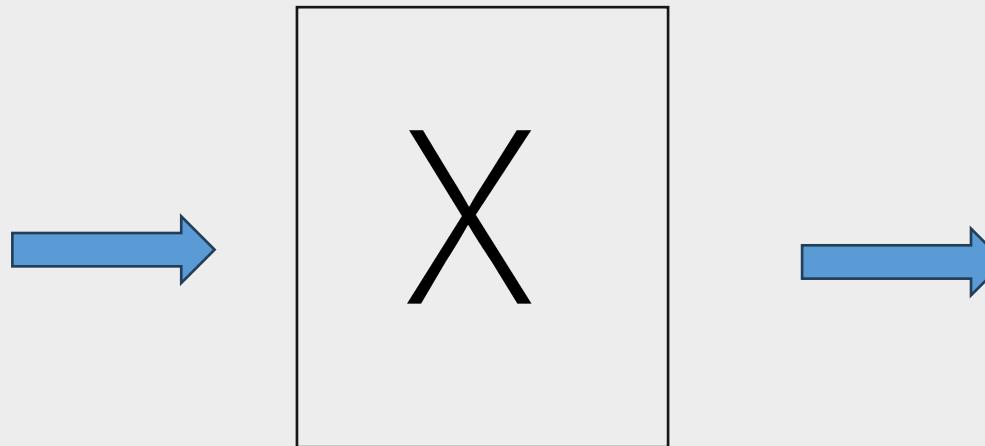
Portas Lógicas Quânticas



$|0\rangle$



ENTRADA



?

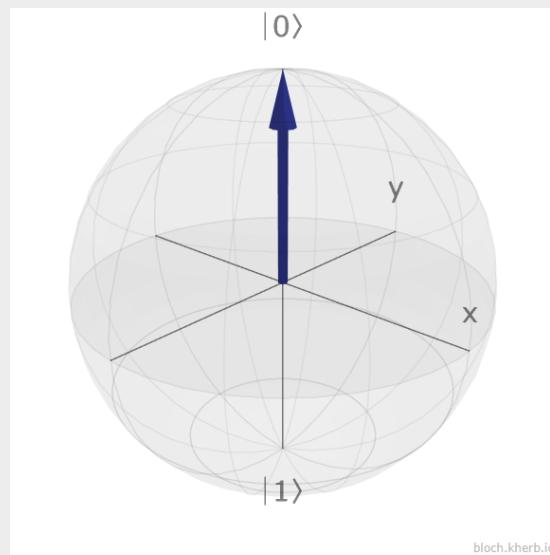
$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \xrightarrow{\quad \text{?} \quad} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

SAÍDA

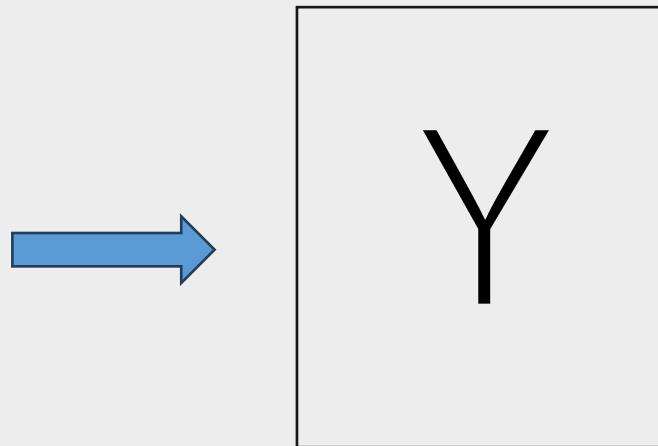
Portas Lógicas Quânticas



$|0\rangle$



ENTRADA



$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{\quad} ?$$

$$\begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$$

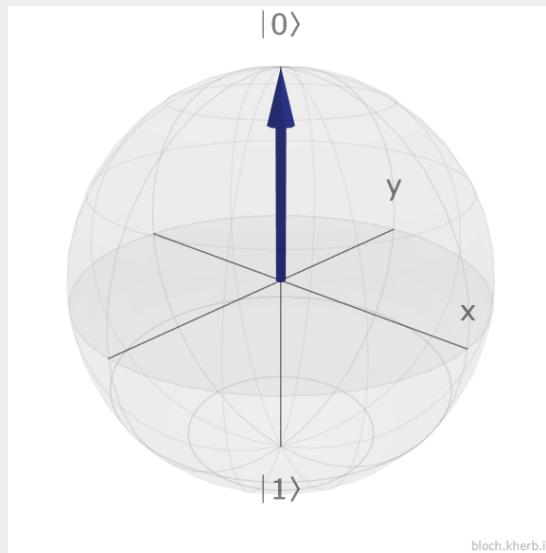
?

SAÍDA

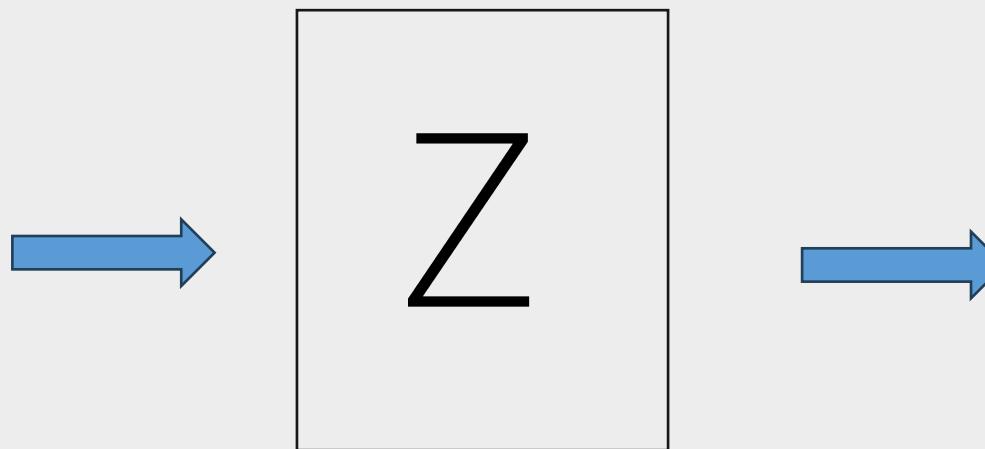
Portas Lógicas Quânticas



$|0\rangle$



ENTRADA



$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{?}} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

?

SAÍDA

Matrizes de Pauli

Bloch sphere simulator

INIT UNDO

|0>

y

x

|1>

Rotations around default axes

Rotations around custom axis

Quantum gates

Pauli gates X Y Z

Hadamard H

Phase S S† T T†

Pulses

Settings

bloch.kherb.io

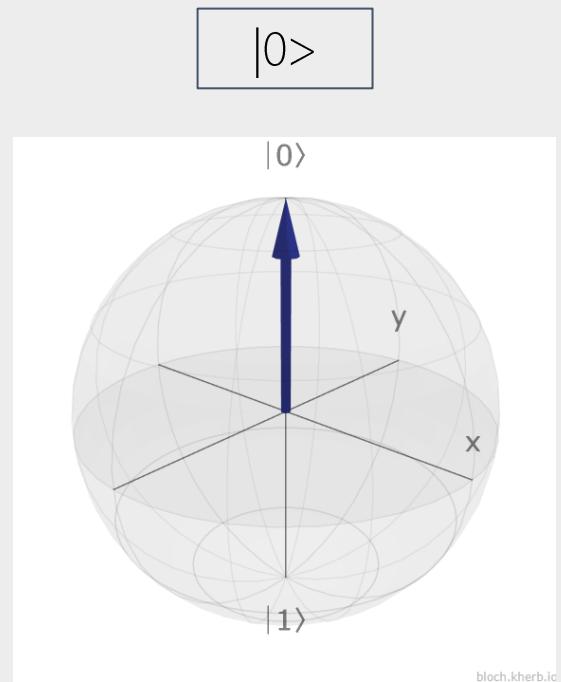
Hands on - Matrizes de Pauli e Esfera de Bloch

- 1) Implemente a **Pauli X**, o que ocorreu com o estado inicial $|0\rangle$?
- 2) Implemente a **Pauli Y**, o que ocorreu com o estado inicial $|0\rangle$?
- 3) Implemente a **Pauli Z**, o que ocorreu com o estado inicial $|0\rangle$?

USE O SITE

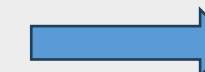
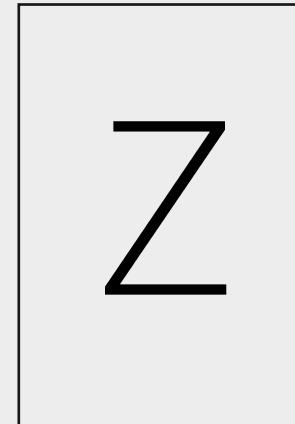
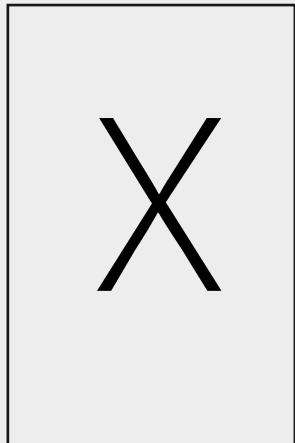
<https://bloch.kherb.io/>

Portas Lógicas Quânticas em Sequência



ENTRADA

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

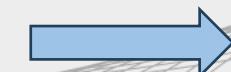


?

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

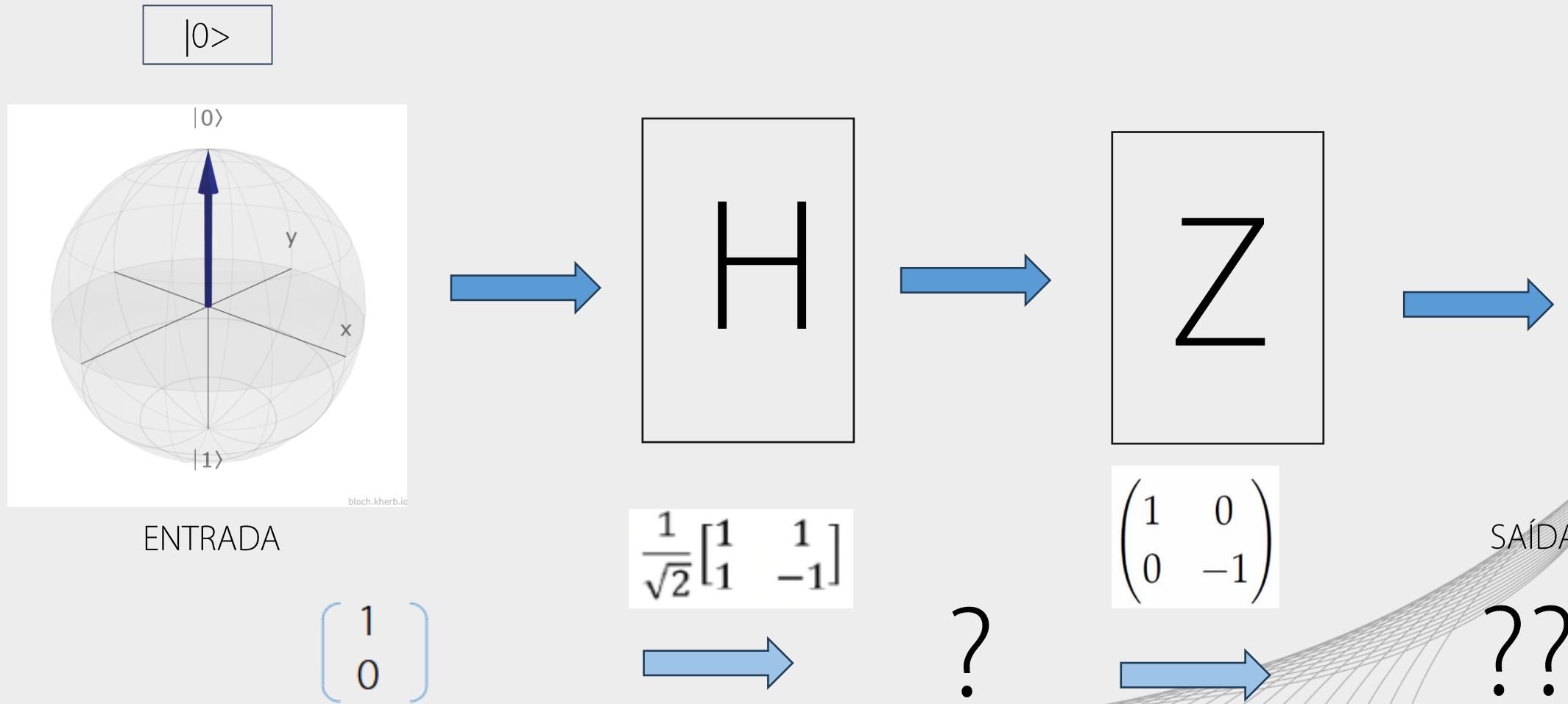


$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$



SAÍDA

Portas Lógicas Quânticas em Sequência



Hands on - Matrizes de Pauli e Esfera de Bloch

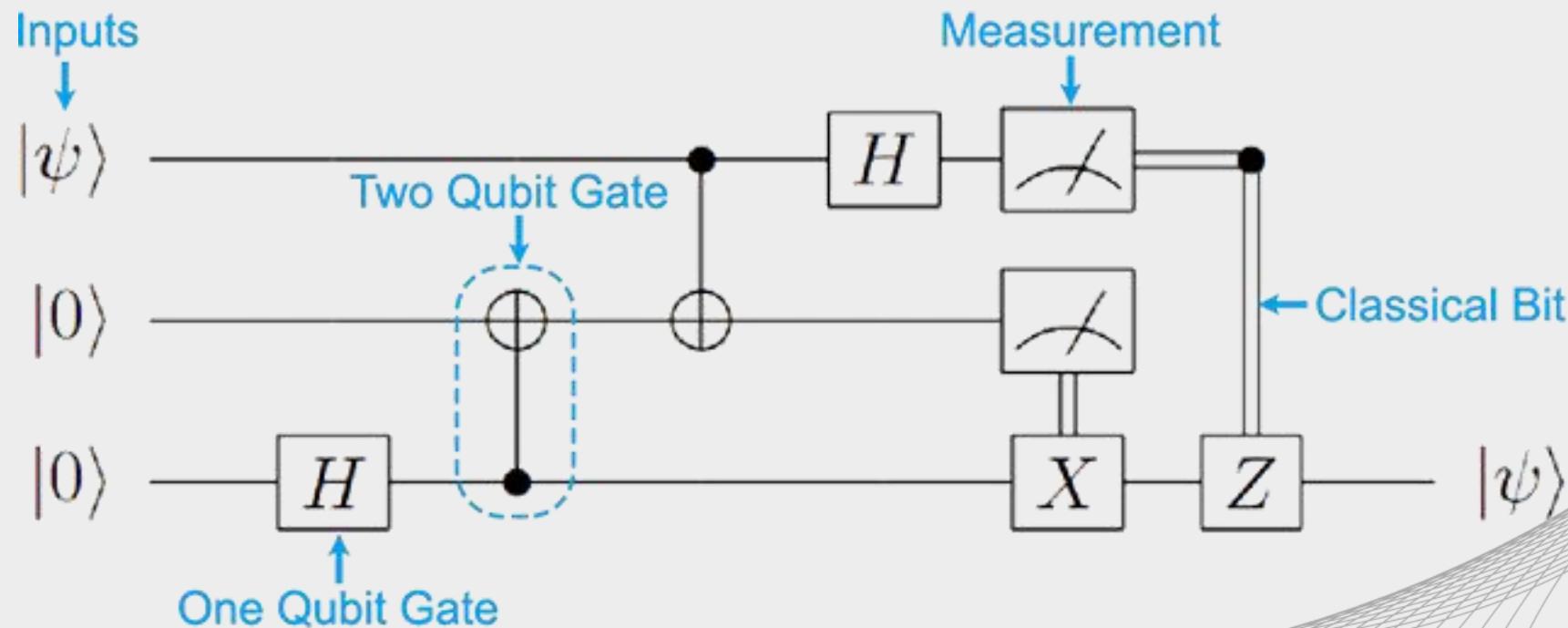
- 1) Implemente a **Pauli X** e na sequência uma **Pauli Z**. O que ocorreu com o estado $|0\rangle$?
- 2) Implemente a **Pauli Y** e na sequência uma **Pauli Z**. O que ocorreu com o estado inicial $|0\rangle$?
- 3) Implemente a **porta Hadamard** e na sequência uma **Pauli Z**. O que ocorreu com o estado inicial $|0\rangle$?
- 4) Implemente a **porta Hadamard** e na sequência uma **Pauli Y**. O que ocorreu com o estado inicial $|0\rangle$?

USE O SITE

<https://bloch.kherb.io/>

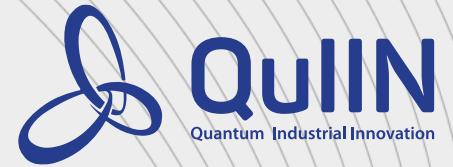
Circuitos Quânticos

- Representa a evolução temporal do estado
- Cada linha é um qubit
- O circuito é lido da esquerda pra direita
- Cada caixa é uma porta quântica



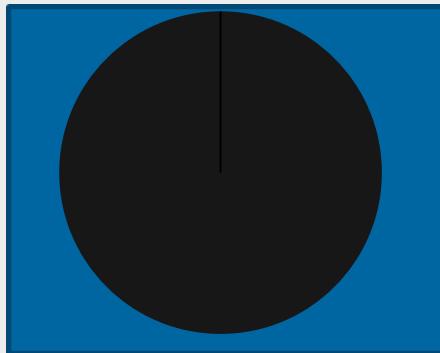
Círculo do Teleporte

Sistemas Compostos



- 1 bit clássico: 0 or 1, Branco ou Preto
- 1 qubit: superposição do branco $|0\rangle$ e preto $|1\rangle$

Medição



Inicializando o qubit:
Escolhemos nesse exemplo
30% Branco - $|0\rangle$
70% Preto - $|1\rangle$

O qubit está em um estado cinza

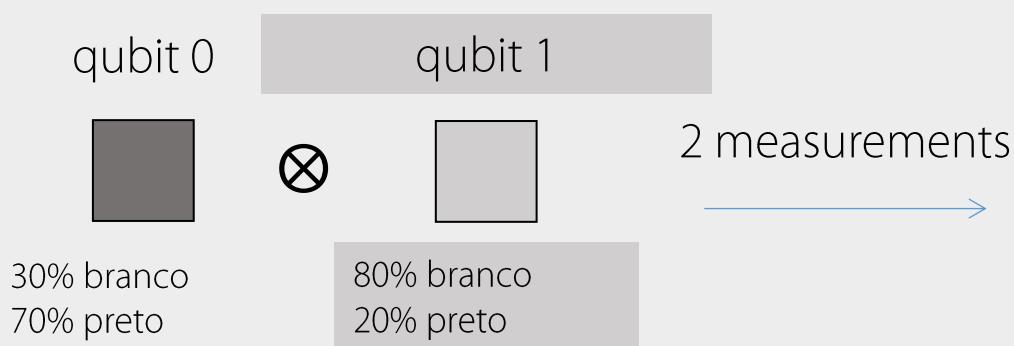
Não observamos o qubit

Quando você olha para ele, o qubit assume a cor vista

Se você quiser obter outro resultado: tente novamente desde o início

Dois qubits

- 2 qubits = 4 Estados



$$30\% \times 80\% = 24\% \text{ dos casos}$$

$$30\% \times 20\% = 6\% \text{ dos casos}$$

$$70\% \times 80\% = 56\% \text{ dos casos}$$

$$70\% \times 20\% = 14\% \text{ dos casos}$$

Soma das prob.= 100 % (sempre)

Dois qubits

qubit 0 qubit 1

$$\square \quad \square = 00 = 0$$

$$\square \quad \blacksquare = 01 = 1$$

$$\blacksquare \quad \square = 10 = 2$$

$$\blacksquare \quad \blacksquare = 11 = 3$$

$$|\psi_0\rangle = \alpha_0 |0\rangle + \beta_0 |1\rangle$$

$$|\psi_1\rangle = \alpha_1 |0\rangle + \beta_1 |1\rangle$$

Dois qubits

qubit 0 qubit 1

$$\square \quad \square = 00 = 0$$

$$\square \quad \blacksquare = 01 = 1$$

$$\blacksquare \quad \square = 10 = 2$$

$$\blacksquare \quad \blacksquare = 11 = 3$$

$$|\psi_0\rangle = \alpha_0 |0\rangle + \beta_0 |1\rangle$$

$$|\psi_1\rangle = \alpha_1 |0\rangle + \beta_1 |1\rangle$$

$$|\psi_{tot}\rangle = |\psi_0\rangle \otimes |\psi_1\rangle$$

Dois qubits

qubit 0 qubit 1

$$\square \quad \square = 00 = 0$$

$$\square \quad \blacksquare = 01 = 1$$

$$\blacksquare \quad \square = 10 = 2$$

$$\blacksquare \quad \blacksquare = 11 = 3$$

$$|\psi_0\rangle = \alpha_0 |0\rangle + \beta_0 |1\rangle$$

$$|\psi_1\rangle = \alpha_1 |0\rangle + \beta_1 |1\rangle$$

$$\begin{aligned} |\psi_{tot}\rangle &= |\psi_0\rangle \otimes |\psi_1\rangle \\ &= |\psi_0\rangle |\psi_1\rangle \end{aligned}$$

Dois qubits

qubit 0 qubit 1

$$\square \quad \square = 00 = 0$$

$$\square \quad \blacksquare = 01 = 1$$

$$\blacksquare \quad \square = 10 = 2$$

$$\blacksquare \quad \blacksquare = 11 = 3$$

$$|\psi_0\rangle = \alpha_0 |0\rangle + \beta_0 |1\rangle$$

$$|\psi_1\rangle = \alpha_1 |0\rangle + \beta_1 |1\rangle$$

$$\begin{aligned} |\psi_{tot}\rangle &= |\psi_0\rangle \otimes |\psi_1\rangle \\ &= |\psi_0\rangle |\psi_1\rangle \\ &= |\psi_0\psi_1\rangle \end{aligned}$$

Dois qubits

qubit 0 qubit 1

$$\square \quad \square = 00 = 0$$

$$\square \quad \blacksquare = 01 = 1$$

$$\blacksquare \quad \square = 10 = 2$$

$$\blacksquare \quad \blacksquare = 11 = 3$$

$$\begin{aligned} |\psi_{tot}\rangle &= \alpha_0\alpha_1|00\rangle + \alpha_0\beta_1|01\rangle \\ &\quad + \beta_0\alpha_1|10\rangle + \beta_0\beta_1|11\rangle \\ &= \alpha_0\alpha_1|0\rangle + \alpha_0\beta_1|1\rangle \\ &\quad + \beta_0\alpha_1|2\rangle + \beta_0\beta_1|3\rangle \end{aligned}$$

Base Computacional



$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Base Computacional



$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |0\rangle \otimes |1\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 * \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\ 0 * \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = |1\rangle$$
$$|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Base Computacional

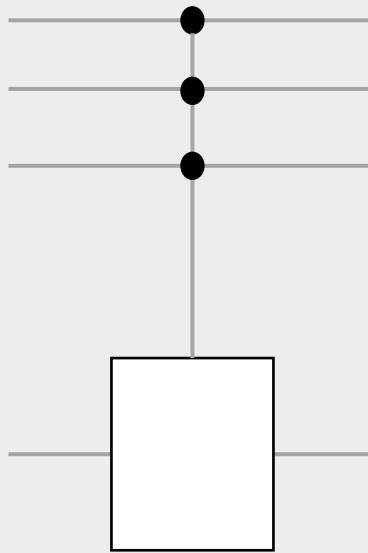
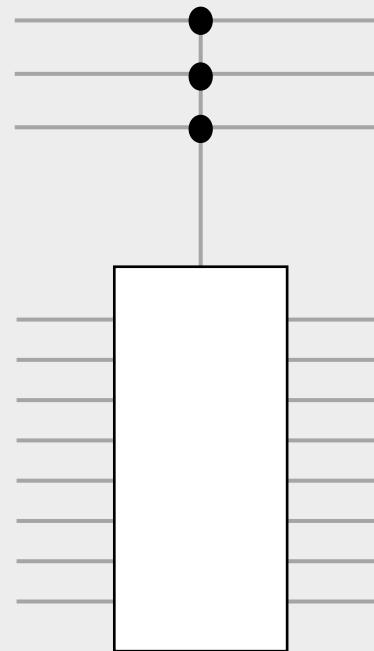
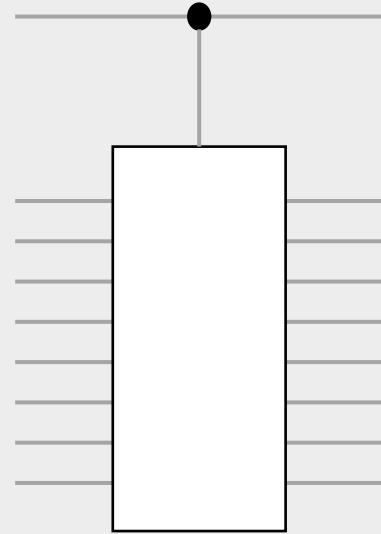
$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |0\rangle \otimes |1\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 * \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\ 0 * \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = |1\rangle$$
$$|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Base Computacional



$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |0\rangle \otimes |1\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 * \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\ 0 * \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = |1\rangle$$
$$|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

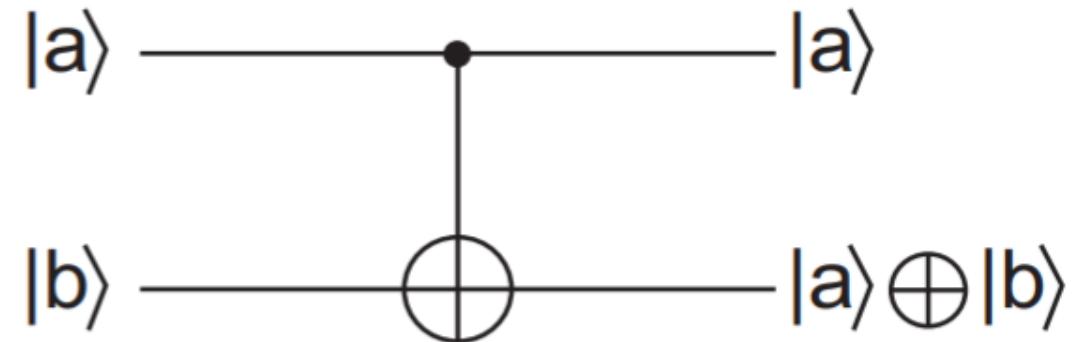
Portas Lógicas Quânticas - Controladas



Porta CNOT

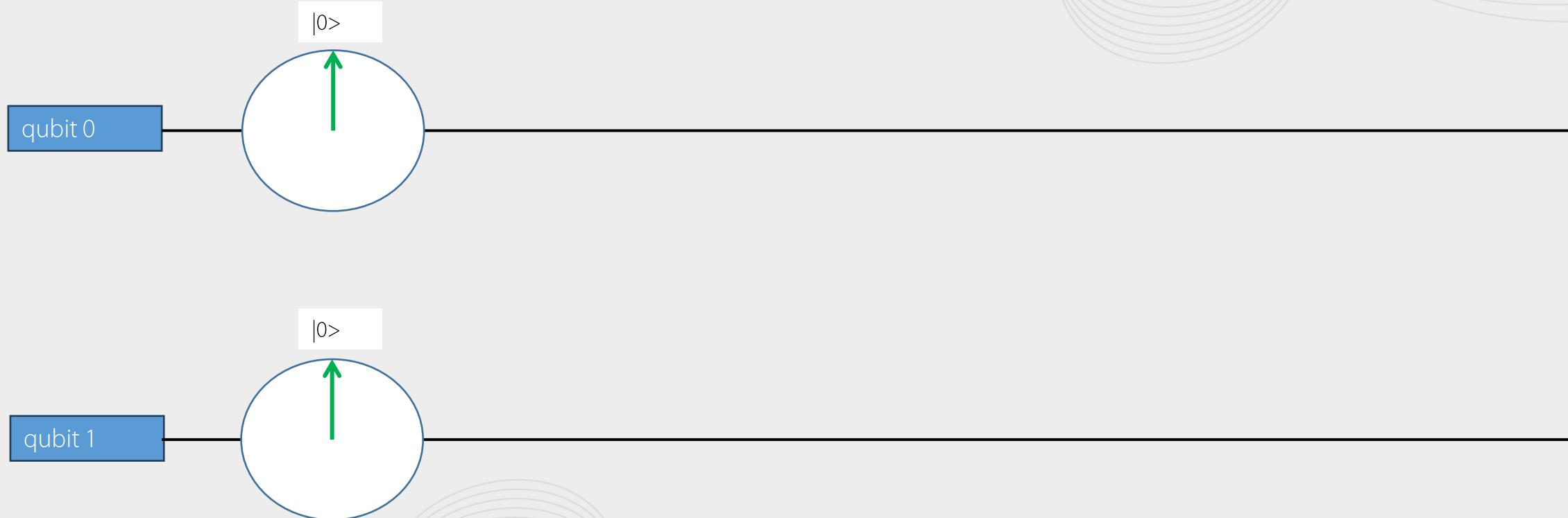
- ▶ *Controlled Not*
- ▶ Se o controle for 0, não é feito nada no alvo, caso o controle for 1, então ele irá mudar o alvo

▶ Representada nos circuitos como:

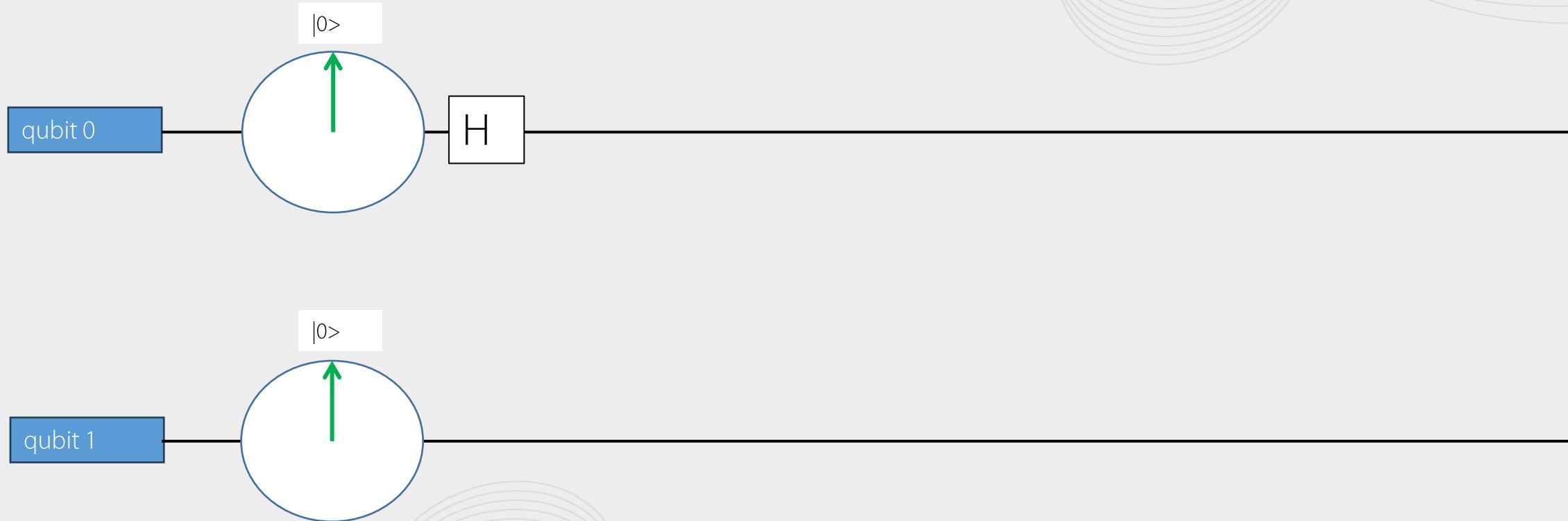


$$CNOT = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

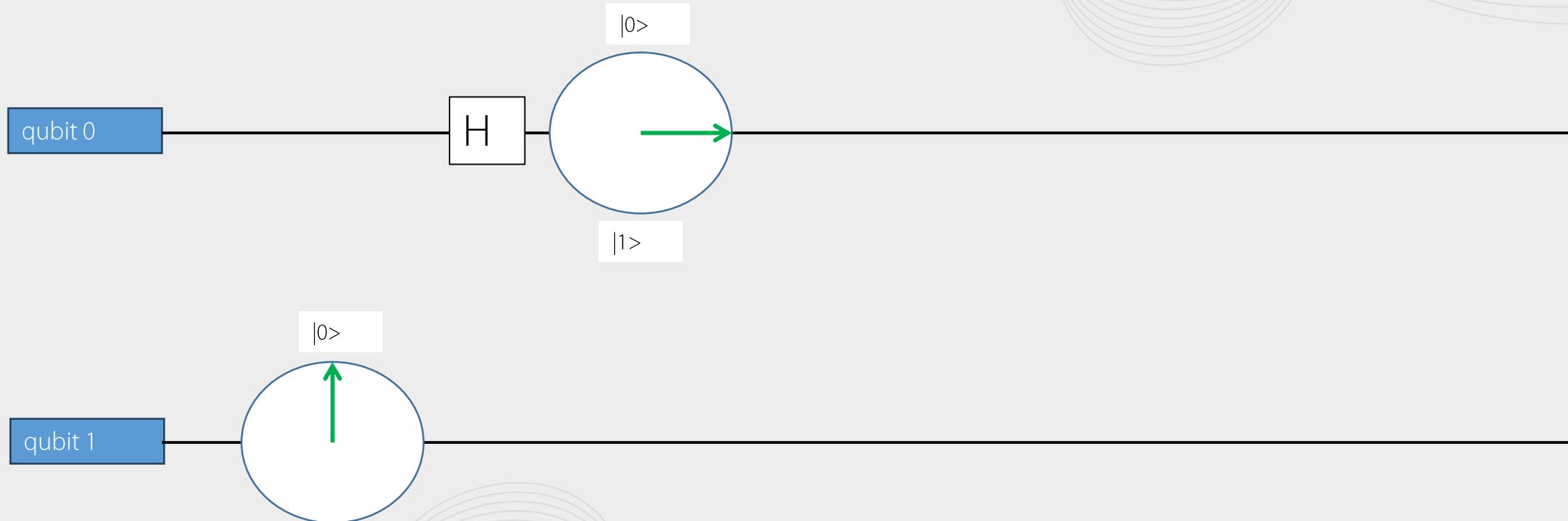
Porta CNOT



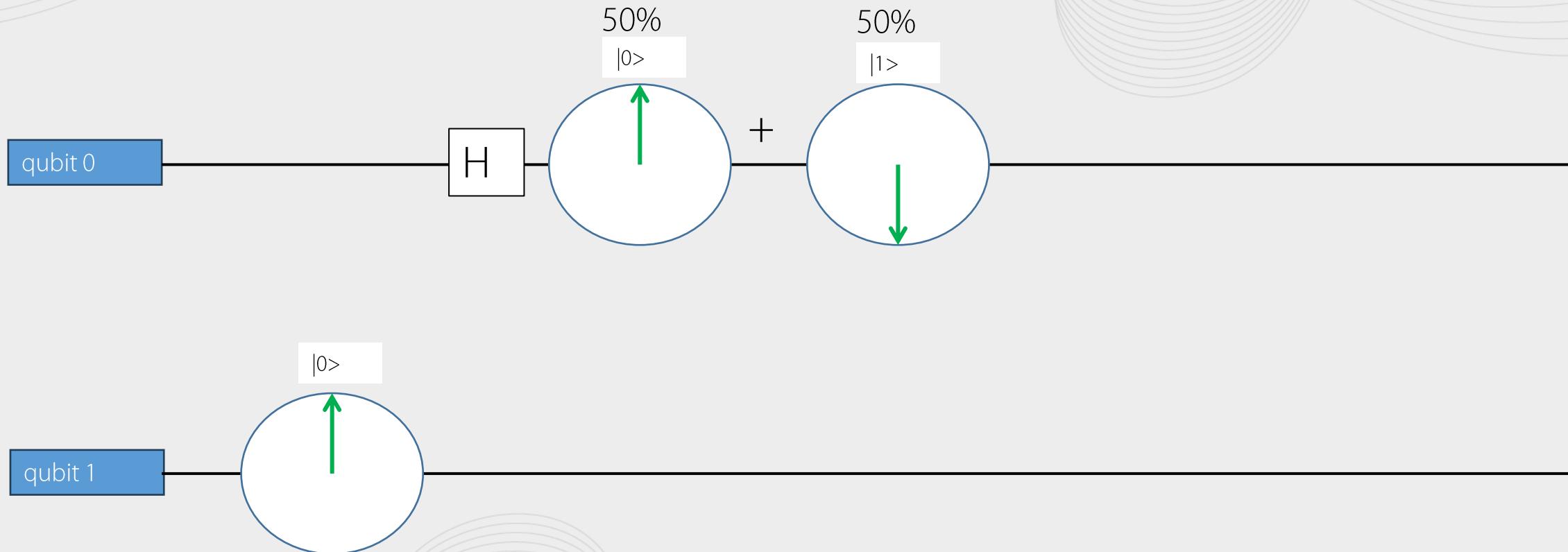
Porta CNOT



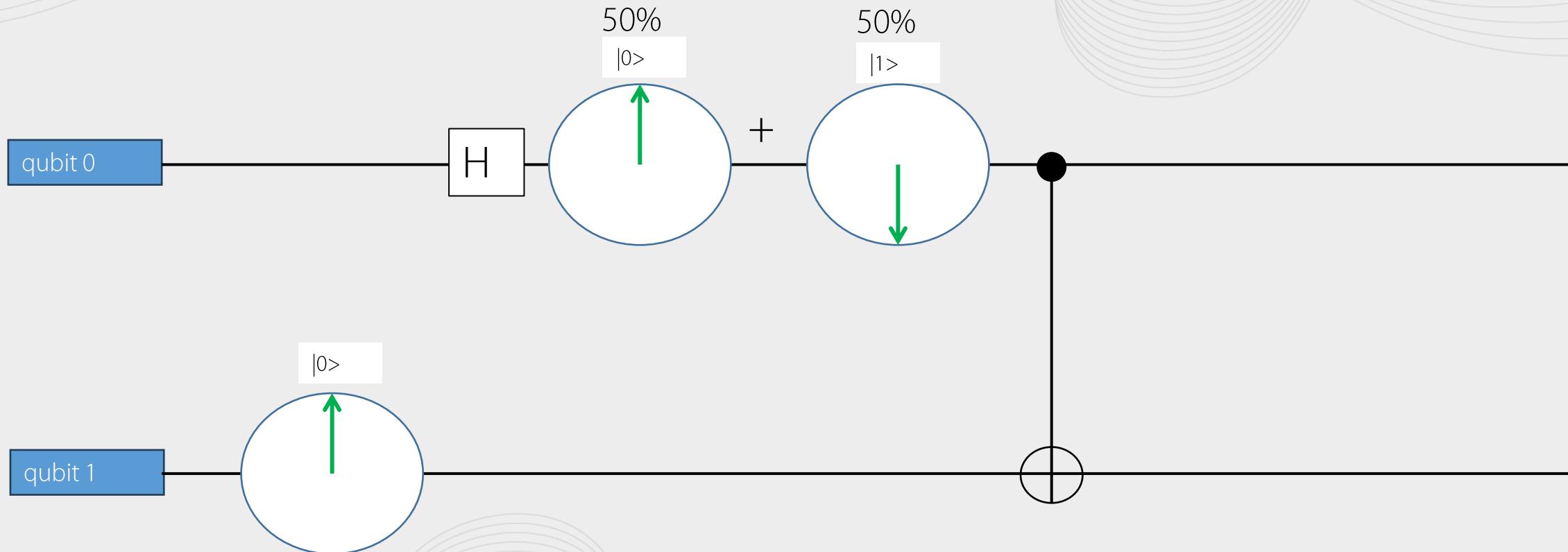
Porta CNOT



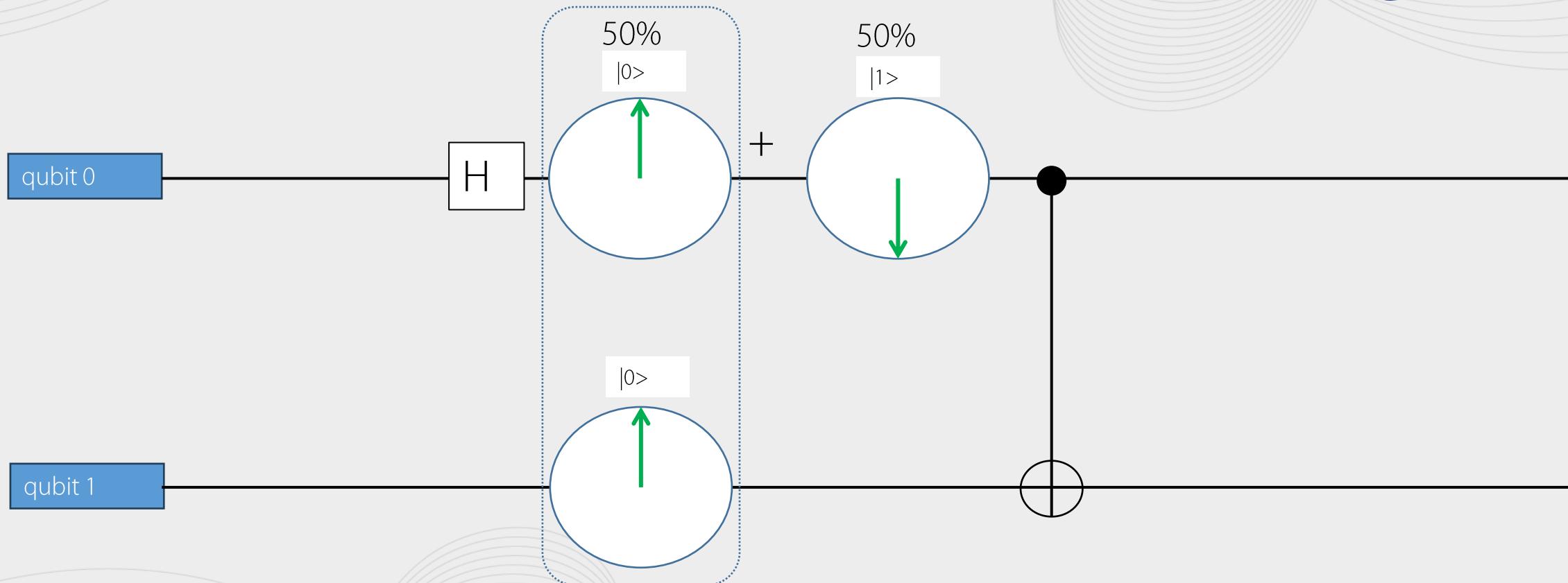
Porta CNOT



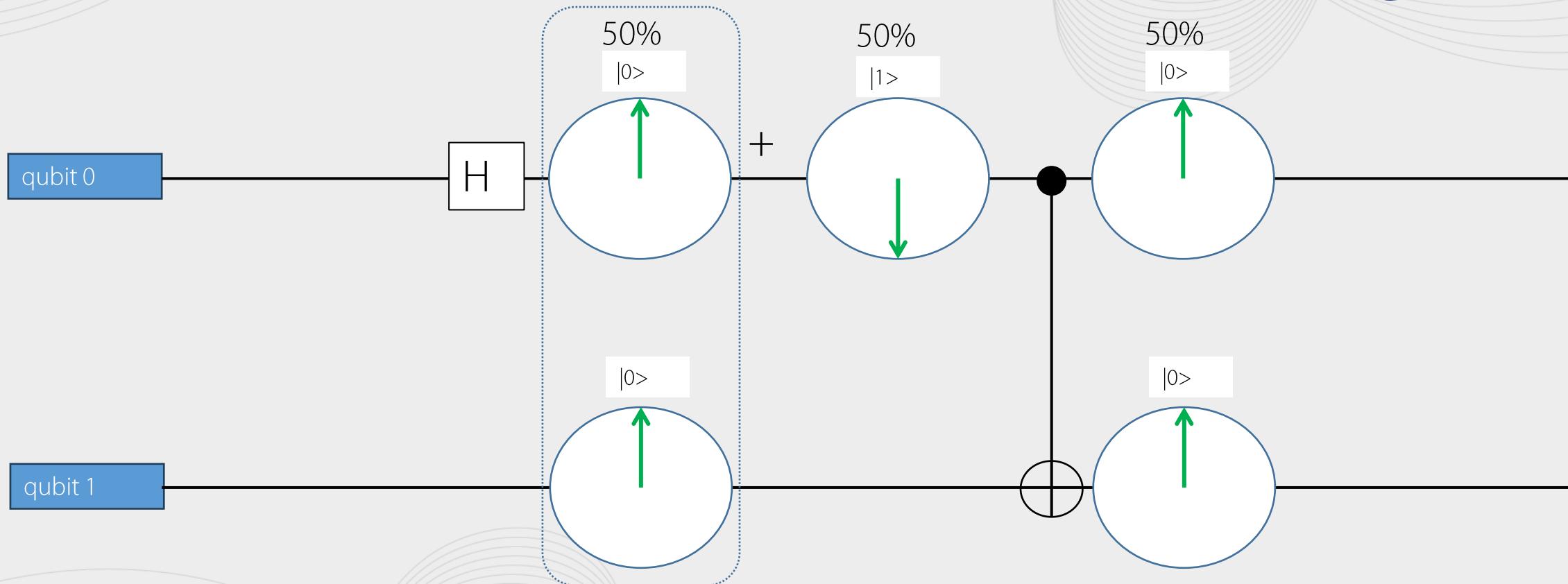
Porta CNOT



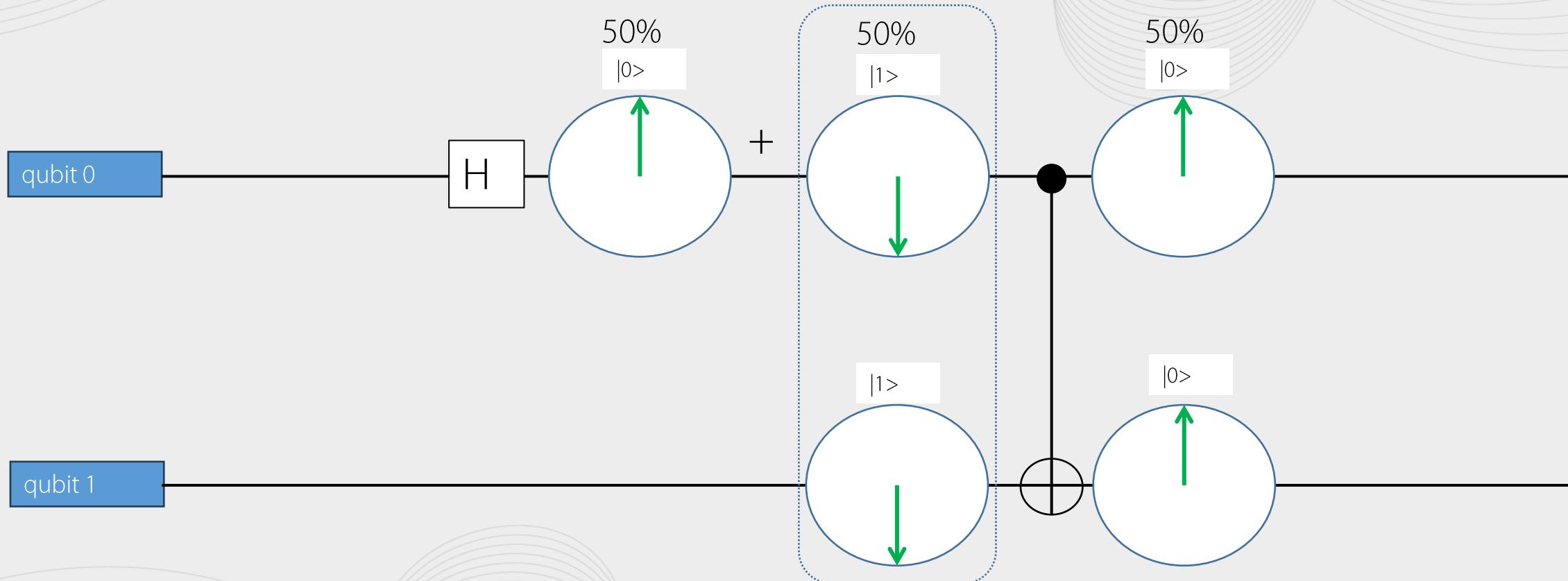
Porta CNOT



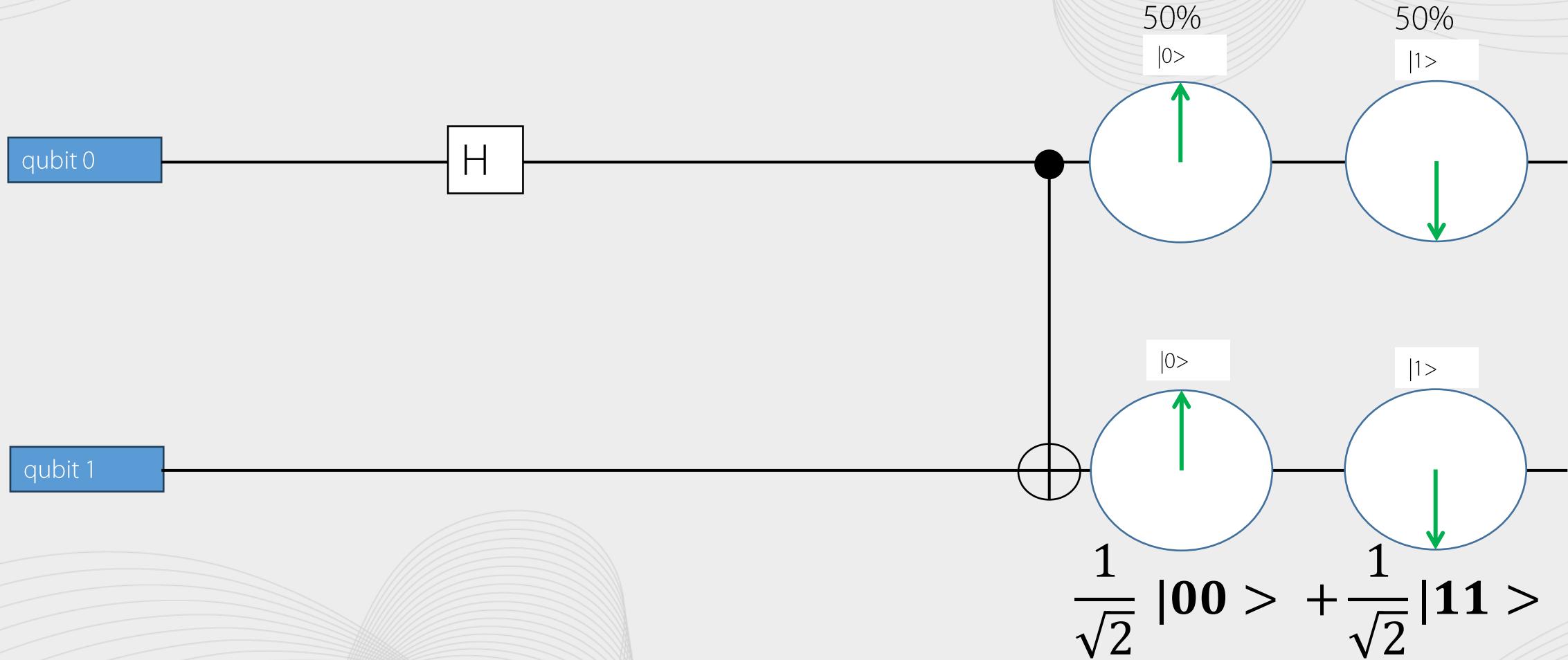
Porta CNOT



Porta CNOT



Porta CNOT



Qiskit

- Termo geral que se refere a uma coleção de software para executar programas em computadores quânticos, desenvolvido pela IBM.
- Quanto ao SDK Qiskit é um SDK de código aberto para trabalhar com computadores quânticos no nível de circuitos quânticos estendidos (estáticos, dinâmicos e programados), operadores e primitivos.

qiskit.circuit - Para inicializar e manipular registradores, circuitos, instruções, portas, parâmetros e objetos de fluxo de controle.

qiskit.circuit.library- Uma vasta gama de circuitos, instruções e portas - blocos de construção essenciais para computações quânticas baseadas em circuitos.

- Para mais informações: <https://docs.quantum.ibm.com/guides>

Qiskit

```
# Instalando o Qiskit
```

```
!pip install qiskit
```

```
# Para uma melhor visualização dos circuitos
```

```
!pip install pylatexenc
```

Para criar um circuito é necessário importar algumas bibliotecas:

```
from qiskit import QuantumCircuit  
from qiskit.providers.basic_provider import BasicProvider  
from qiskit.visualization import plot_histogram  
from qiskit.visualization import circuit_drawer  
import pylatexenc
```

Qiskit – Estrutura básica para o hands on

```
#criacao do circuito quantico com 1 qubit e 1 registrador clássico
qc = QuantumCircuit( 'quantidade de qubits', 'quantidade de registradores clássicos')

qc.'porta que deseja aplicar'('qubit onde a porta será aplicada')

qc.measure_all() #Mede o estado do qubit e armazena o resultado no registrador clássico.

qc.measure('qubit','registrador clássico') # É possível realizar a medição dessa forma também
```

Qiskit – Estrutura básica para o hands on

```
#utilizando o QASM Simulator
backend = BasicProvider().get_backend("basic_simulator") # Define um simulador quântico (basic_simulator do
# Caso deseje uma quantidade específica de execuções:
result = backend.run(qc, shots=2048).result()

result = backend.run(qc).result() # Executa o circuito e obtém o resultado da simulação
counts = result.get_counts() # O resultado é armazenado na variável counts, que contém a contagem dos estados

print(counts)
qc.draw() # Desenha o circuito quântico de forma visual.
```

Hands On: Implementando Portas Lógicas Quânticas

- 1) Implemente a porta X em um qubit inicialmente no estado $|0\rangle$ e meça o resultado.
- 2) Agora, implemente a porta X novamente, mas desta vez atuando em um qubit previamente preparado no estado $|1\rangle$. Meça o resultado.
- 3) Aplique a porta H em um qubit e realize a medição.
- 4) Repita os experimentos anteriores realizando apenas uma medição (shot = 1). O que você observa?
- 5) Agora, repita os experimentos utilizando 100 medições (shots = 100). Qual a sua conclusão sobre os resultados obtidos?
- 6) Represente graficamente os resultados das atividades 1, 2 e 3 na esfera de Bloch utilizando a ferramenta online: <https://bloch.kherb.io/>.

Hands On – Implementando Circuitos de 2 qubits

1. Crie um circuito quântico e implemente a porta CNOT.
2. Crie um circuito quântico com a porta CNOT implementada, porém ela deve ativar quando o qubit de controle estiver no estado $|0\rangle$
3. [Discussão] Como representamos a CNOT na esfera de Bloch?

Algoritmo de Deutsch

- Desenvolvido por David Deustch em 1985
- Primeiro algoritmo quântico a mostrar ganho computacional em relação a contrapartida clássica.

Problema de Deutsch: é um desafio da computação quântica onde temos um oráculo (uma "caixa preta") que implementa uma função $f: \{0,1\} \rightarrow \{0,1\}$ que recebe um número binário de n bits e retorna 0 ou 1.
A função pode ser ou **balanceada**.

O objetivo é descobrir, com o menor número possível de chamadas ao oráculo, se a função é constante ou balanceada.

Solução Clássica

- Realizar metade das medições mais uma, ou seja
- Medir $2^{n-1} + 1$
- Quanto maior o volume do problema



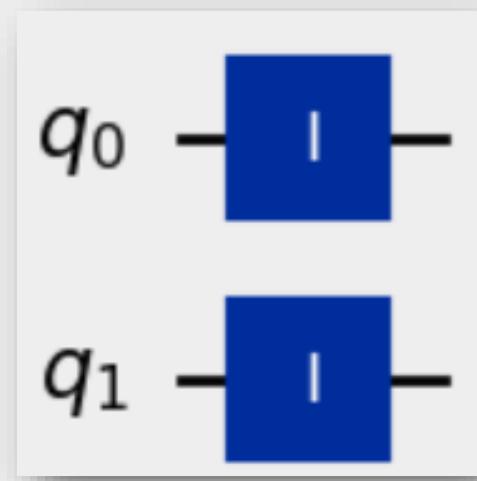
i se tornando o

Possibilidades

f_0	f_1	f_2	f_3
$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 1$

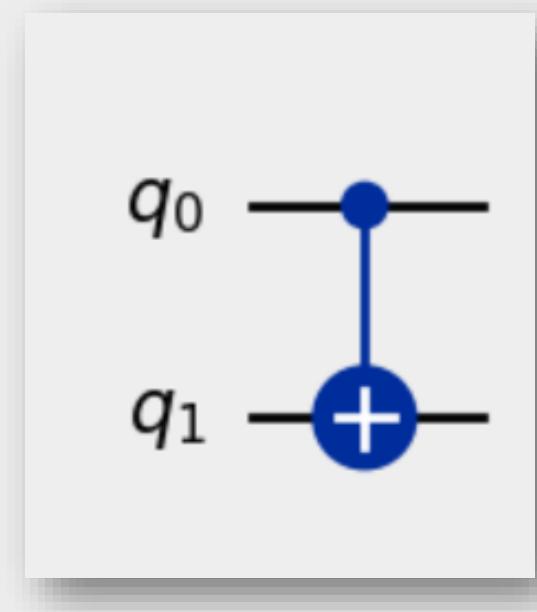
Possibilidades

f_0	f_1	f_2	f_3
$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 1$



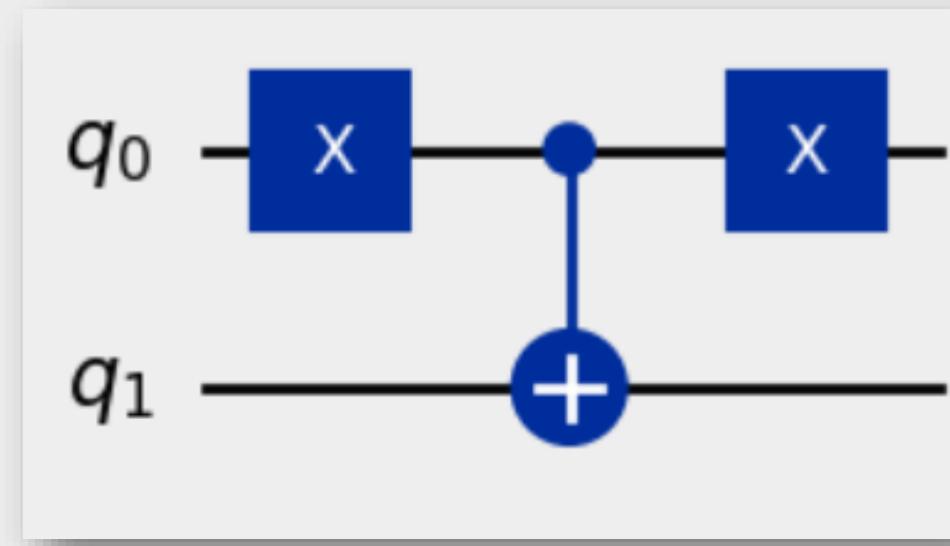
Possibilidades

f_0	f_1	f_2	f_3
$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 1$



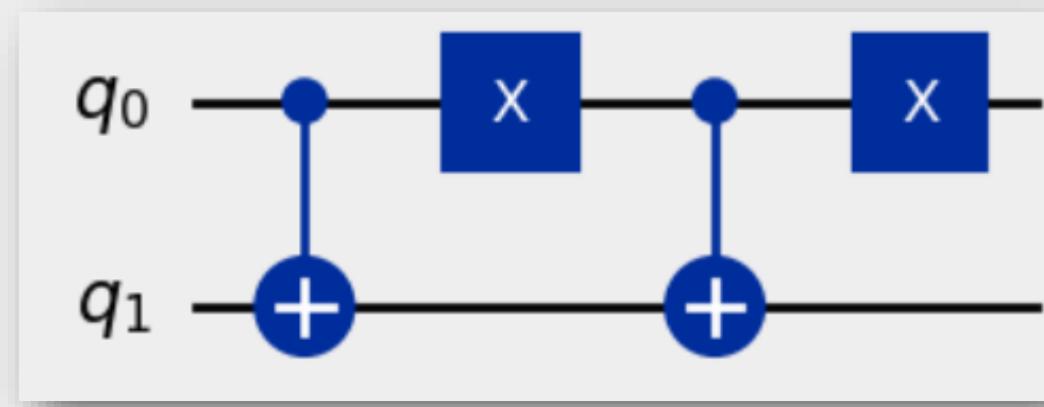
Possibilidades

f_0	f_1	f_2	f_3
$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 1$



Possibilidades

f_0	f_1	f_2	f_3
$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 0$	$0 \rightarrow 1$	$0 \rightarrow 1$
$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 0$	$1 \rightarrow 1$

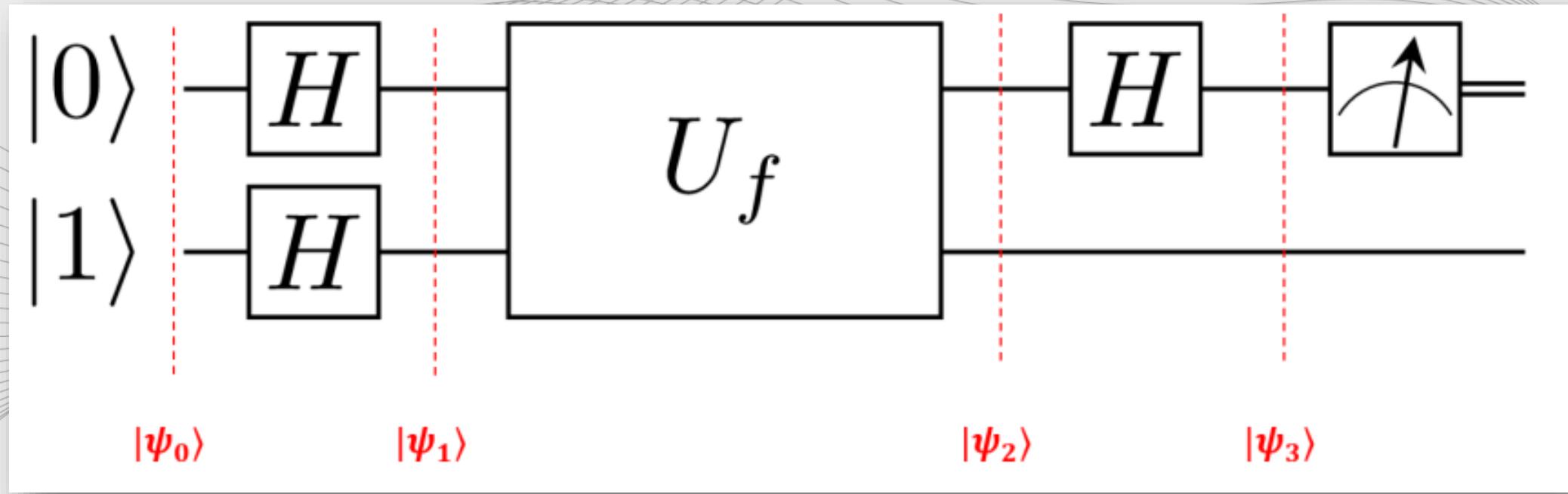


Solução Quântica

Algorimo de Deustch

Entrada	$ 0\rangle \otimes 1\rangle$
Passo 1	Preparar os estados $ 0\rangle$ e $ 1\rangle$
Passo 2	Gerar superposição aplicando H nos qubits
Passo 3	Aplicar U_f
Passo 4	Aplicar H em todos qubits
Passo 5	Medir o primeiro qubit na base computacional
Saída	$\begin{cases} 0 & \text{se } f \text{ é constante} \\ 1 & \text{se } f \text{ é balanceada} \end{cases}$

Solução Quântica



Solução Quântica

$f(0) \oplus f(1)$	Saída	Tipo da função
$0 \oplus 0$	0	Constante
$0 \oplus 1$	1	Balanceada
$1 \oplus 0$	1	Balanceada
$1 \oplus 1$	0	Constante

Implementando o Circuito de Deustch

```
from qiskit import QuantumCircuit  
from qiskit.providers.basic_provider import BasicProvider  
from qiskit.visualization import plot_histogram  
from qiskit.visualization import circuit_drawer  
import pylatexenc
```

Implementando o Circuito de Deustch

```
def deutsch_function(case: int):
    # Essa função gera um circuito quântico para um dos quatro casos possíveis.
    if case not in [1, 2, 3, 4]:
        raise ValueError(`case` must be 1, 2, 3, or 4.)

    f = QuantumCircuit(2)
    if case in [2, 3]:
        f.cx(0, 1)
    if case in [3, 4]:
        f.x(1)
    return f
```

Implementando o Circuito de Deustch

```
for i in range(1, 5):
    qc = deutsch_function(i)
    print(f"Circuito para o caso {i}:")
    display(qc.draw(output="mpl", style={"backgroundcolor": "#EEEEEE"}))
```

Implementando o Circuito de Deustch

```
def compile_circuit(function: QuantumCircuit):
    # Compilando o circuito do algoritmo de Deustch.

    n = function.num_qubits - 1
    qc = QuantumCircuit(n + 1, n)

    qc.x(n)
    qc.h(range(n + 1))

    qc.barrier()
    qc.compose(function, inplace=True)
    qc.barrier()

    qc.h(range(n))
    qc.measure(range(n), range(n))

return qc
```

Implementando o Circuito de Deustch

```
display(compile_circuit(deutsch_function(3)).draw(output="mpl", style={"backgroundcolor": "#EEEEEE"}))
```

Implementando o Circuito de Deustch

```
def deutsch_algorithm(function: QuantumCircuit):
    # Determina se a função é constante ou balanceada.

    qc = compile_circuit(function)

    result = AerSimulator().run(qc, shots=1, memory=True).result()
    measurements = result.get_memory()
    if measurements[0] == "0":
        return "constante"
    return "balanceada"
```

Implementando o Circuito de Deustch

```
for i in range(1,5):
    print(f"Caso {i}:")
    f = deutsch_function(i)
    display(deutsch_algorithm(f))
```



Obrigado !



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO

