QUANTUM COMPUTING

PROFESSOR/PROFESSEUR - VICTOR ROSETTI – PROFVICTOR.QUIROZ@FIAP.COM.BR

METAS / OBJETIVOS

- Entender as diferenças entre a computação clássica e a computação quântica
- Lembrar de álgebra linear, probabilidade e trigonometria
- Aprender sobre portas lógicas e algoritmos
- Criar um algoritmo quântico

PROGRAMA EDUCACIONAL (1/2)

- Configuração do ambiente para IBM Qiskit
- Computação Clássica
  - Modelo de máquina clássica (Máquina de Turing)
  - Python e problemas usuais
  - Lógica e Operações
  - Portas e circuitos lógicos
  - Problemas complexos
  - Problemas computáveis e não computáveis
- Matemática de computação clássica

PROGRAMA EDUCACIONAL (2/2)

- Matemática para Computação Quântica
  - Trigonometria
  - Números complexos
  - Probabilidade
- Mecânica quântica
- Computação quântica
  - Qubits
  - Esfera e Estados de Bloch
  - Portas Quânticas de bit único
  - Portas Quânticas Multibit
- Algoritmos de computação quântica

MÉTODOS E MEIOS

- Suporte visual (vídeos e slides)
- Demonstração
- Pesquisas

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

- -

COMPUTADORES CLÁSSICOS

- Os computadores clássicos funcionam apenas através de bits, cada bit possui 2 possibilidades (0 ou 1). O TRANSISTOR é o componente que permite aos computadores converterem sinais de energia em bits (0 – sem sinal/energia e 1-sinal/pulso de energia)

Vários tipos de transistores. Referência: Wikipédia (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Transistor-photo.JPG)

COMPUTADORES CLÁSSICOS

- Os Computadores Clássicos operam através do WORDS, um comando binário com determinada quantidade de bits que depende do processador. Um processador de 32 bits pode ler PALAVRAS de 32 bits.

0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

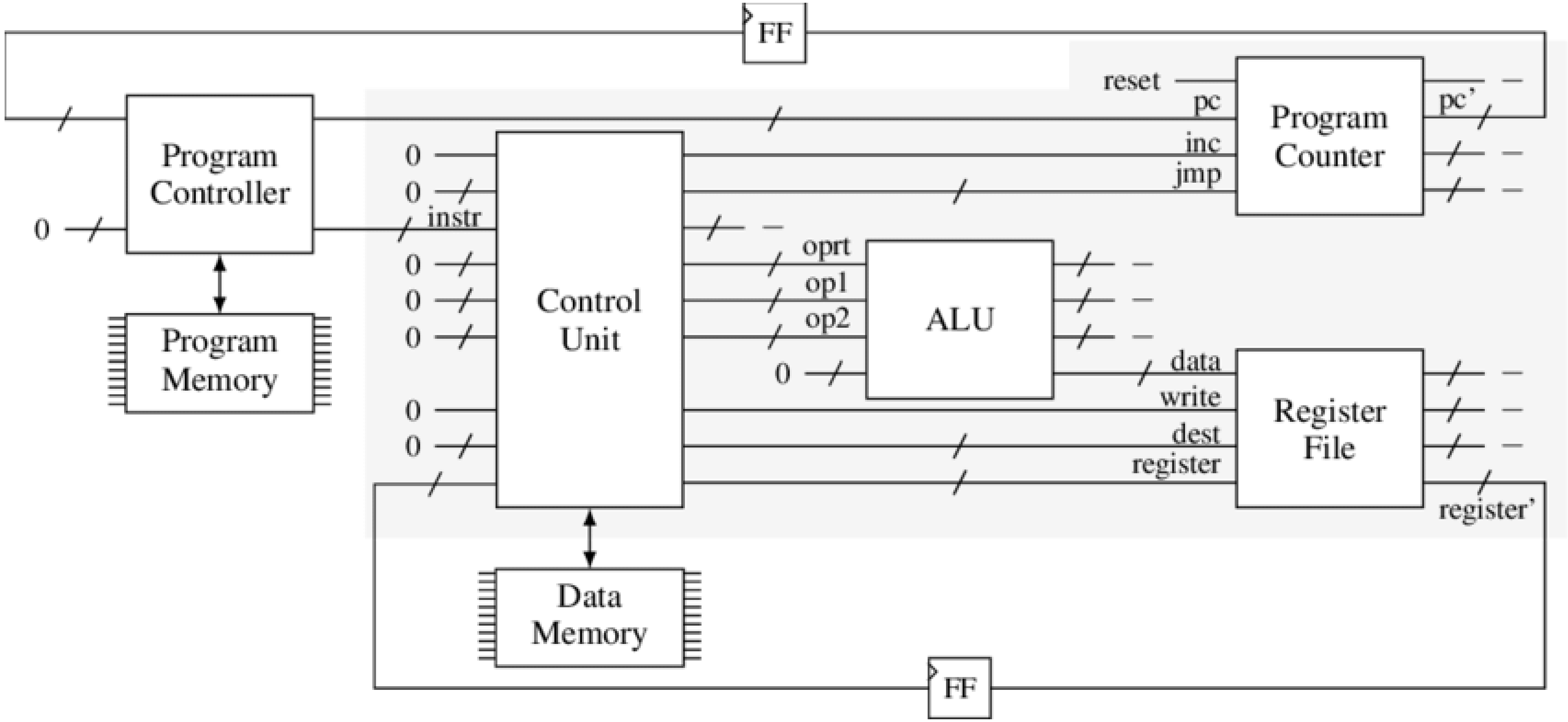
Operação/Comando (ADD) | Registrador A(RA) | Registrador B(RB) | Sinalizadores ou bits não utilizados

- Comando em montagem/Assembly: **ADD(RA,RB)**

- Comando no código: **variávelA + variávelB**

COMPUTADORES CLÁSSICOS

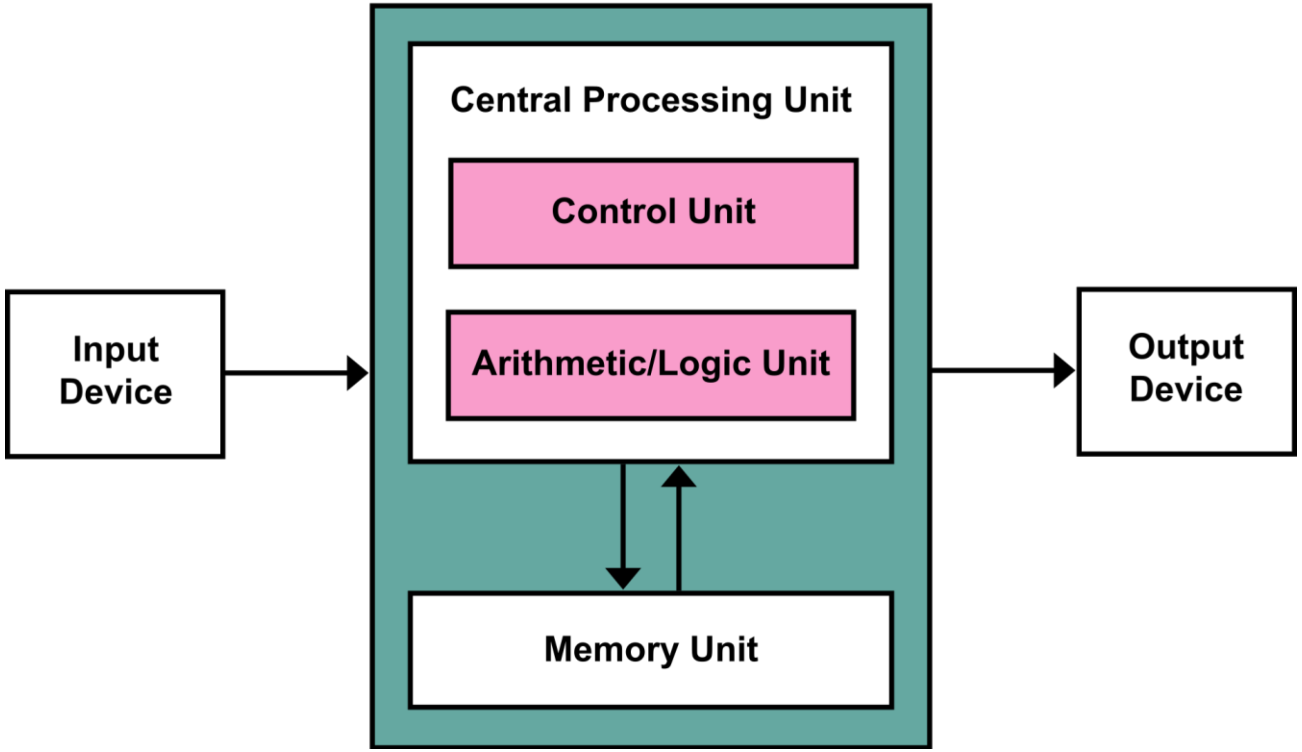
- Ao analisar a arquitetura de um processador é possível compreender como um processo é processado.



Projetando uma CPU RISC em lógica reversível - Figura Científica no ResearchGate. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-the-CPU-implementation_fig2_224247580

COMPUTADORES CLÁSSICOS

- Um dos problemas que ainda enfrentamos é conhecido pelo gargálo de Von Neumann, onde o acesso aos dados da memória RAM é afetado pela velocidade da memória e pelo barramento.



Von Neumann architecture. Reference: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Von_Neumann_architecture#/media/File:Von_Neumann_Architecture.svg)

CLASSICAL COMPUTERS

- A placa mãe do PS5 possuí várias modificações para amenizar os problemas encontrados anteriormente.

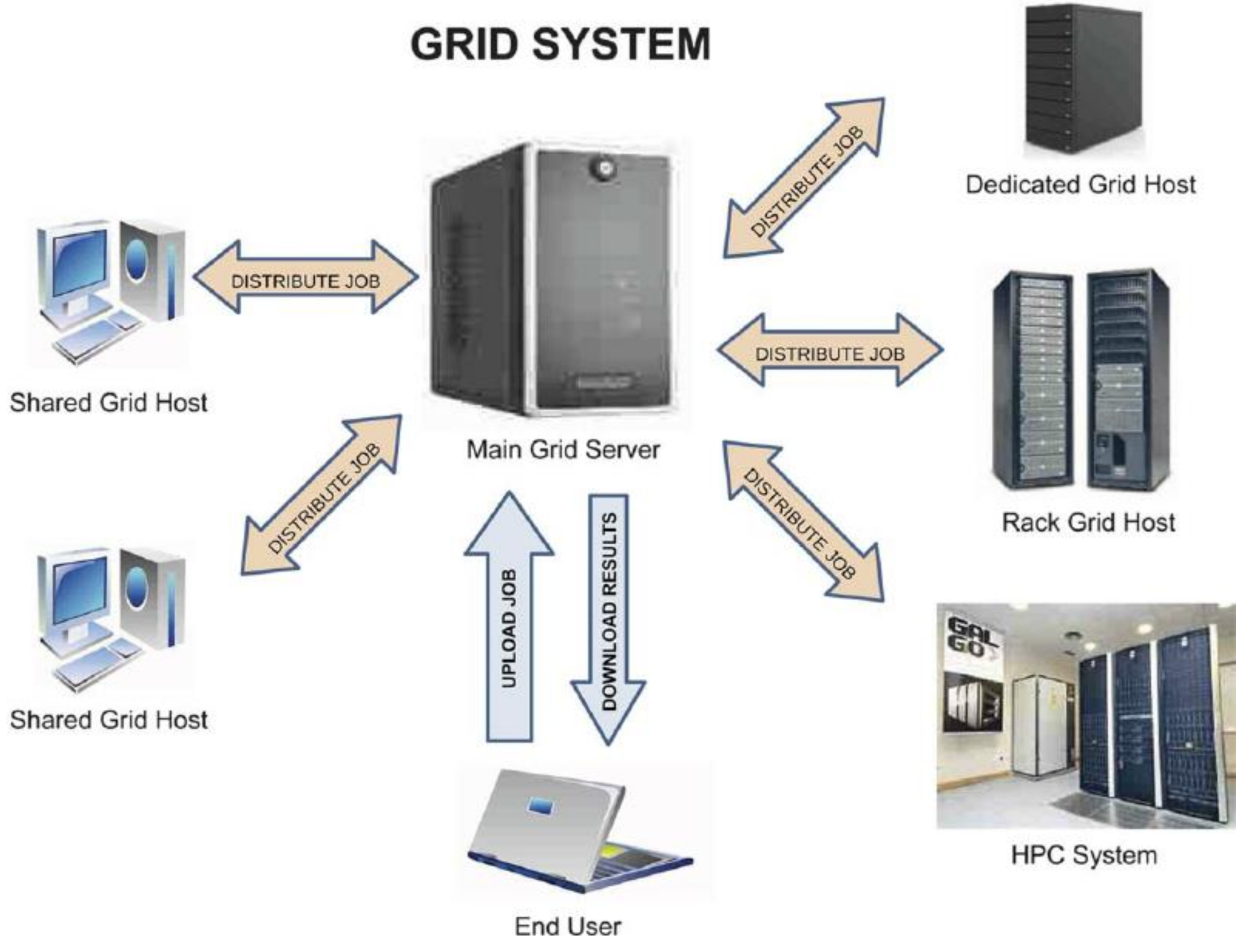
PS5 Teardown. Reference: Playstation Official Channel Youtube (https://www.youtube.com/watch?v=CaAY-jAjm0w)

CLASSICAL COMPUTERS

Clusters. Reference: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_cluster)

COMPUTADORES CLÁSSICOS

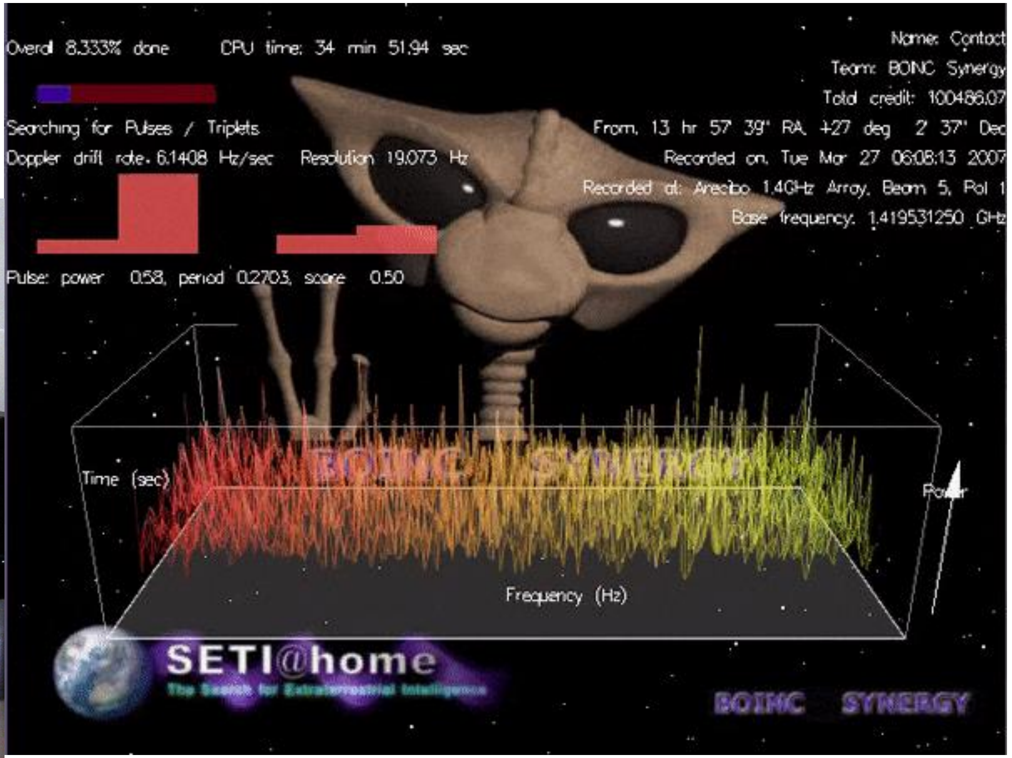
- No slide anterior temos Clusters, conjuntos de máquinas homogêneas, conectadas por redes e um sistema operacional distribuído.
- Ao lado um Grid, um conjunto de máquinas heterogêneas conectadas via software.



Precipitation estimates for hydroelectricity - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Grid-computing-architecture-The-computing-load-is-distributed-by-the-main-grid-server_fig3_257084882

COMPUTADORES CLÁSSICOS

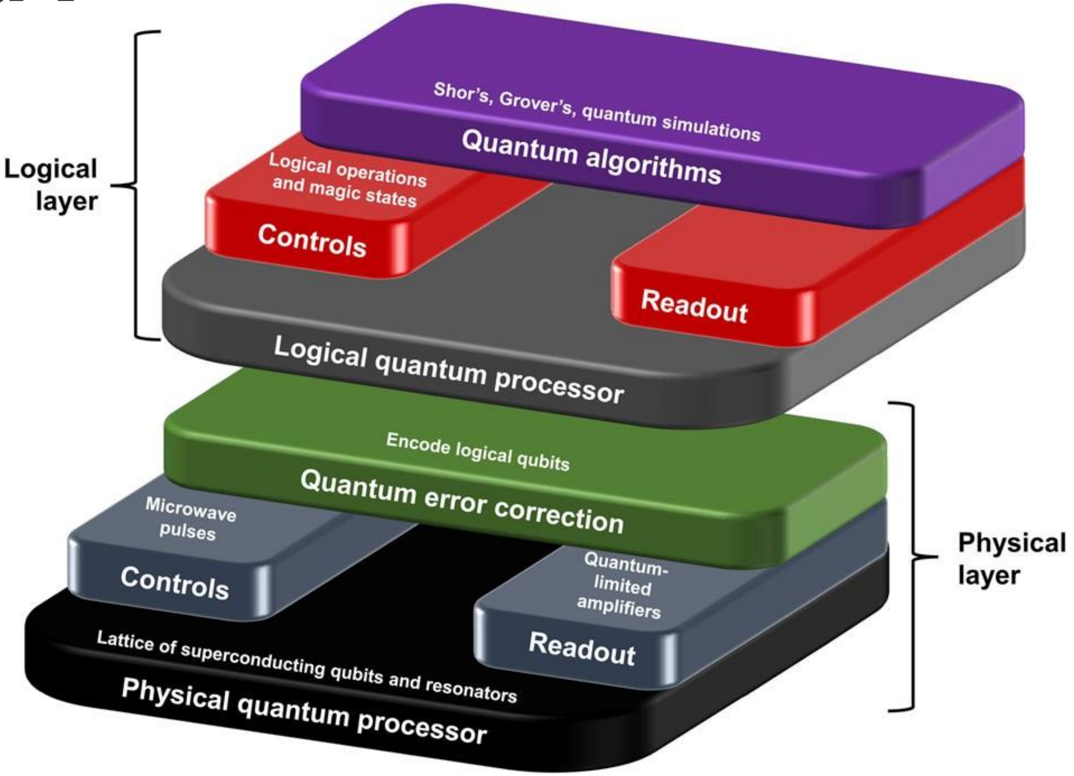
- Dois projetos de Grid, SETI@HOME e FOLDING@HOME



Precipitation estimates for hydroelectricity - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Grid-computing-architecture-The-computing-load-is-distributed-by-the-main-grid-server_fig3_257084882

COMPUTADORES QUÂNTICOS

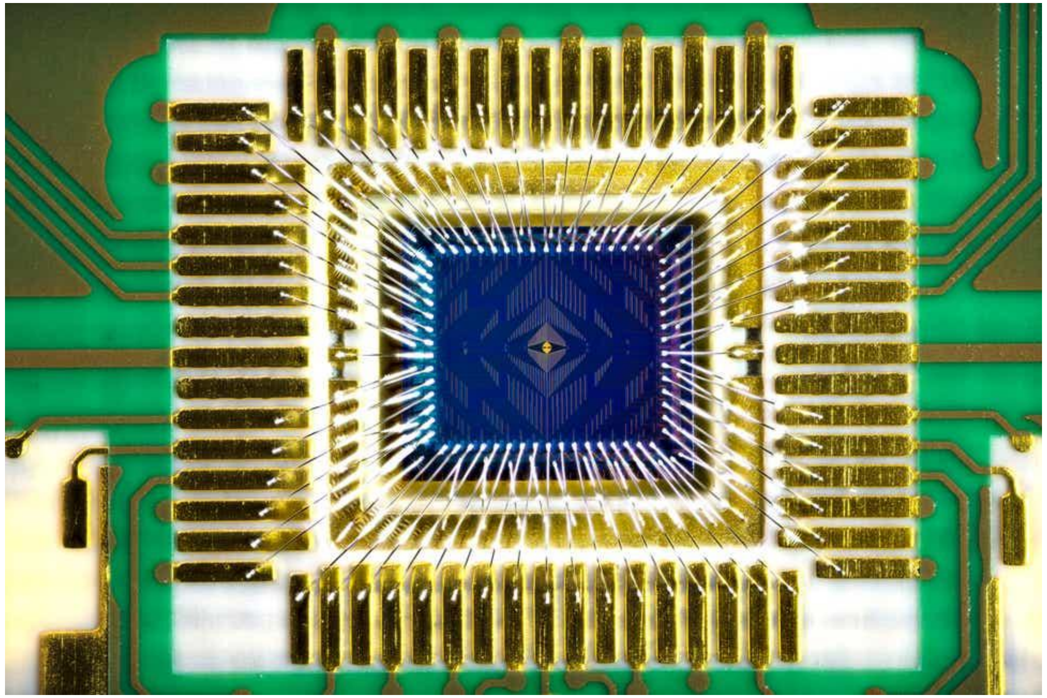
- A arquitetura de um computador quântico defere bastante da arquitetura atual devido a fatores como leitores de dados e correção de erros.

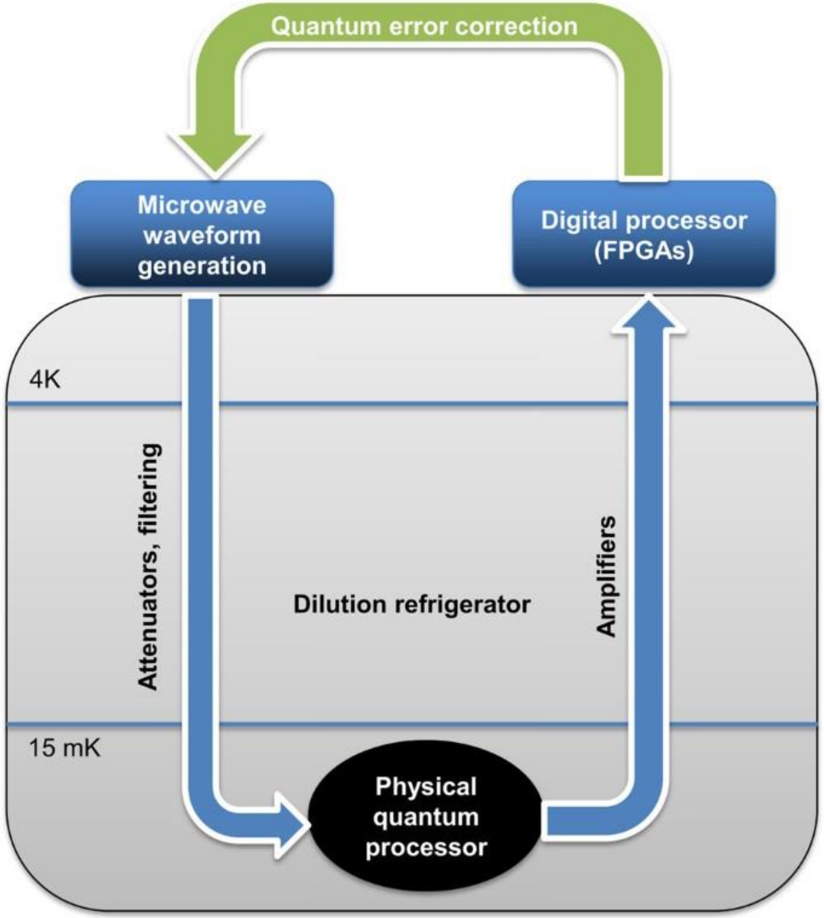


Gambetta, J.M., Chow, J.M. & Steffen, M. Building logical qubits in a superconducting quantum computing system. *npj Quantum Inf* **3**, 2 (2017). https://doi.org/10.1038/s41534-016-0004-0

COMPUTADORES QUÂNTICOS

- O processador quântico possui amplificadores e atenuadores para aprimorar a transmissão de sinais.

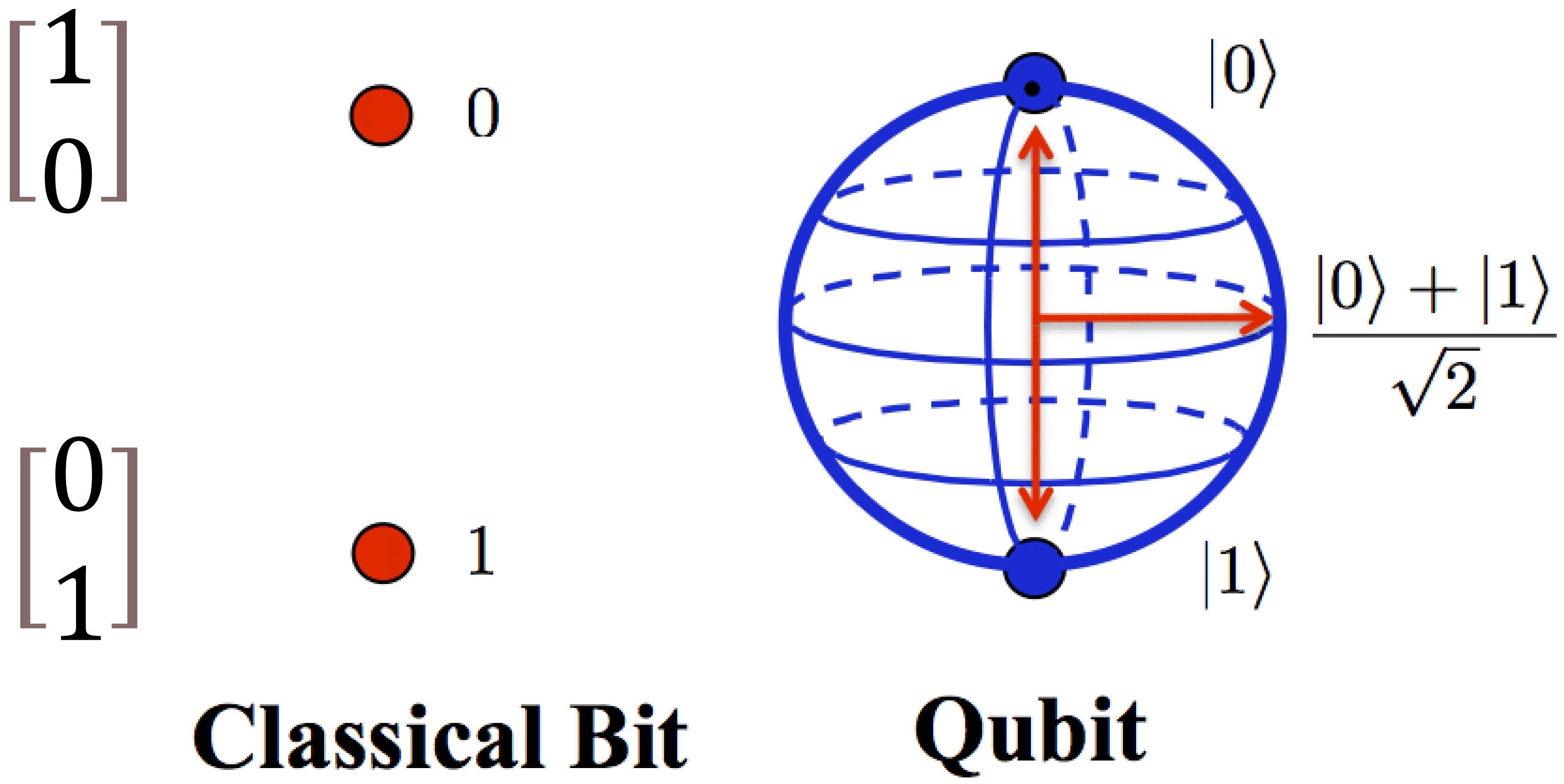




Gambetta, J.M., Chow, J.M. & Steffen, M. Building logical qubits in a superconducting quantum computing system. *npj Quantum Inf* **3**, 2 (2017). https://doi.org/10.1038/s41534-016-0004-0
Processador Intel: Acessível em: https://www.standard.co.uk/tech/intel-quantum-silicon-chip-quantum-computer-b1088066.html

COMPUTADORES QUÂNTICOS

- Diferença de valores e representações de um bit e um Qubit. Considere 0 como SPIN DOWN e 1 como SPIN UP.



Strengths and Weaknesses of Quantum Computing. - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Figure-1-Classical-Bit-Vs-Qubit_fig2_308414229 [accessed 22 Aug, 2023]

COMPUTADORES QUÂNTICOS

$$\begin{bmatrix} d \\ u \end{bmatrix}$$

- D é a probabilidade de Spin Down enquanto U é a probabilidade de Spin Up.
- A probabilidade de ser um estado ou o outro deve somar 100% ou igual a 1.
- Aqui entra o quesito da superposição, pois um Qubit pode estar 20% no estado D e 80% no estado U, mas o total sempre deve somar 100%.
- Todos os cálculos são trabalhados com probabilidades, por isso P(d) – Probabilidade de d.

P(d)=0	P(d)=0.2	P(d)=0.5	P(d)=1
P(u)=1	P(u)=0.8	P(u)=0.5	P(u)=0

NECESSARY MATH

- A **probabilidade** de algum evento acontecer é calculada da seguinte forma:

- P é p símbolo que indica probabilidade. Se propusermos **P(A) = 0.5** significa que o evento A tem 50% de chance de ocorrer.
- P(A e B) é igual a P(A) x P(B), ou a probabilidade do evento A multiplicada pela probabilidade do evento B acontecer. Considerando **P(B) = 0,2** temos **P(A e B) = 0,5 x 0,2** que é igual a **0,1** ou **10%** de chance de acontecer.
- P(A ou B) é igual a P(A) + P(B), ou a probabilidade do evento A somada à probabilidade do evento B acontecer. **P(A ou B) = 0,5 + 0,2** que é igual a **0,7** ou **70%** de chance de acontecer.

MATEMÁTICA NECESSÁRIO

- **BRA-KET** é um tipo de notação matemática para simplificar a forma que vemos matrizes:

$$< A \mid E>$$

BRA KET

- Considerando o exemplo do Qubit, temos dois dados que são coletados para avaliar como está o SPIN, um que nomeamos A, de Apparatus ou Aparelho, o sensor que detecta o Qubit. O outro denominamos E, de Eletron, com o dado do SPIN em que se encontra. Desta forma tempos:

$$\text{TEM}= \begin{bmatrix} d \\ u \end{bmatrix} \qquad \text{E}= \begin{bmatrix} d \\ u \end{bmatrix}$$

MATEMÁTICA NECESSÁRIA

- Algumas matrizes KET para lembrar:

$$|1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad |0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

- Considerando múltiplos Qubits temos:

$$|00\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Chegamos ao resultado ao lado através do Tensor Product de $|0\rangle \otimes |0\rangle$:

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

1 x 1 = 1

1 x 0 = 0

0 x 1 = 0

0 x 0 = 0

NECESSARY MATH

- O Produto Tensor também é "outro tipo de multiplicação" conforme mostrado abaixo (possui um símbolo especial, como o logotipo dos X-Men):

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AC \\ AD \\ BC \\ BD \end{bmatrix}$$

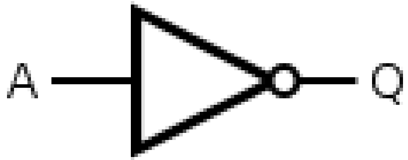
A multiplicação gera uma matriz de elementos.
Outro exemplo será:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 8 \\ 10 \end{bmatrix}$$

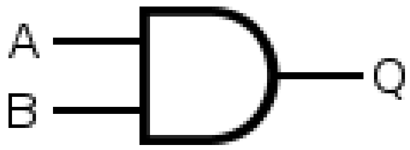
- 1x3 = 3
- 1x4 = 4
- 1x5 = 5
- 2x3 = 6
- 2x4 = 8
- 2x5 = 10

PORTAS LÓGICAS

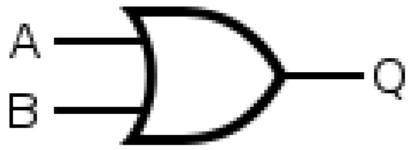
- Antes de entender as portas lógicas Quânticas, vamos compreender as portas lógicas básicas:



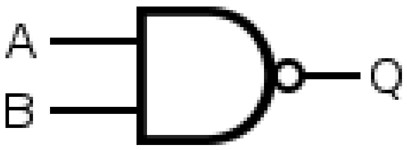
NOT



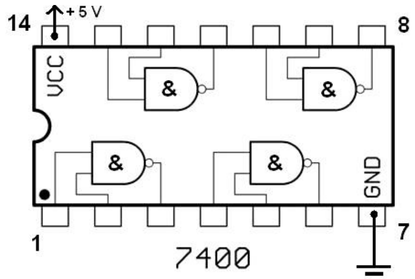
AND

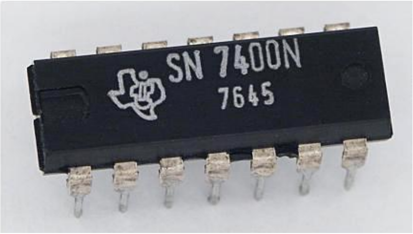


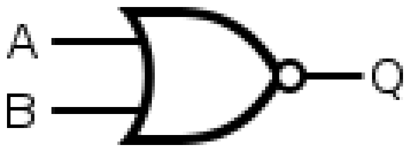
OR



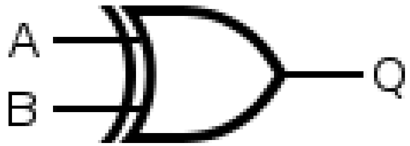
NAND



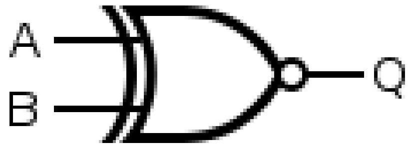




NOR



XOR



XNOR

Portas Lógicas. Referência: https://en.wikipedia.org/wiki/Logic_gate

TABELA DA VERDADE

- Para entendermos como os circuitos são criados necessitamos entender a tabela da verdade.
- A tabela da verdade sempre tem um objetivo, exceto pelas tabelas básicas (de cada porta)

Input	**Output**
A	Q
0	1
1	0

NOT

Input		**Output**
A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND

Entrada		**Saída**
A	B	P
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR

Entrada		**Saída**
A	B	P
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

NAND

Portas Lógicas. Referência: https://en.wikipedia.org/wiki/Logic_gate

TABELA DA VERDADE

- Todas as tabelas da verdade básicas são fixas e auxiliam na construção de problemas.

Input		**Output**
A	B	Q
0	0	I
0	I	0
I	0	0
I	I	0

NOR

Entrada		**Saída**
A	B	P
0	0	0
0	I	I
I	0	I
I	I	0

XOR

Entrada		**Saída**
A	B	P
0	0	I
0	I	0
I	0	0
I	I	I

XNOR

Portas Lógicas. Referência: https://en.wikipedia.org/wiki/Logic_gate

QUANTUM GATES

- Com a compreensão das portas lógicas normais podemos avançar para as portas quânticas:

NÃO ou Pauli $$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- Como Calcular:

$$X|0> = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = |1>$$

$$X|1> = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} ? \\ ? \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ? \\ ? \end{bmatrix} = |?>$$

MATEMÁTICA NECESSÁRIA

- **Matrizes** são importantes para a compreensão da superposição. Eles também são importantes para o processamento gráfico:
- Uma matriz é composta por linhas e colunas, a seguinte matriz é 2x2 (linhas x colunas).

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 3 \end{bmatrix}$$

- Podemos ter matrizes com diferentes números de linhas e colunas, por exemplo uma matriz 2x3:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 3 & 4 & 5 \end{bmatrix}$$

- Para a computação quântica, a principal operação de que precisamos é a multiplicação de matrizes. E aqui estão alguns exemplos:

$4 \times \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 4 \\ 8 & 12 \end{bmatrix}$ onde 4x0, 4x1, 4x2 e 4x3 deixando-os em suas posições originais.

MATEMÁTICA NECESSÁRIA

- Para MATRIZES QUADRADAS onde o número de linhas e colunas são iguais, multiplicaremos da seguinte forma:

$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \text{x} \begin{bmatrix} 4 & 5 \\ 6 & 7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 & 7 \\ 26 & 31 \end{bmatrix}$ respeitando a posição (LINHAxCOLUNA) onde:

  - 0x4+1x6 = 6
  - 0x5+1x7 = 7
  - 2x4+3x6 = 26
  - 2x5+3x7 = 31

MATEMÁTICA NECESSÁRIA

- Para MATRIZES NÃO QUADRADAS onde o número de linhas e colunas são diferentes, multiplicaremos da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 3 \\ 4 & 5 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 6 & 7 \\ 8 & 9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 & 9 \\ 36 & 41 \\ 64 & 73 \end{bmatrix}$$

Isto irá gerar uma matriz com o número de linhas da primeira matriz e o número de colunas da segunda matriz (a ordem é importante e altera o resultado):

- 0x6+1x8 = 8
- 0x7+1x9 = 9
- 2x6+3x8 = 36
- 2x7+3x9 = 41
- 4x6+5x8 = 64
- 4x7+5x9 = 73

QUANTUM GATES

- Outras portas quânticas:

H ou Hadamard

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

- Como Calcular:

$$H|0> = \frac{1}{\sqrt{2}} x\ (|0> + ||>)$$

$$H||> = \frac{1}{\sqrt{2}} x\ (|0> - ||>)$$

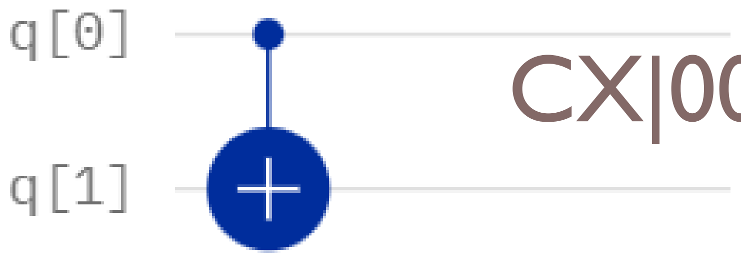
QUANTUM GATES

- Outras portas quânticas:

CNOT ou porta NOT controlada ou porta X controlada

$$CX = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- Como Calcular (q0 XOR q1):



$$CX|00> = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = |00>$$

CONFIGURANDO O QISKIT

- https://qiskit.org/

PORTÕES QUÂNTICOS

- Outras portas quânticas:

E ou Pauli Y $$E = \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}$$

Z or Pauli Z $$Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

- Como calcular :

$$E \mid 0 > = \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ? \\ ? \end{bmatrix}$$

$$Z \mid 1 > = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} ? \\ ? \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ? \\ ? \end{bmatrix} = \mid ? >$$

MATEMÁTICA NECESSÁRIA

- **A estatística** nos servirá para entender algum fenômeno (como vantagem também servirá para você no Machine Learning):

- Propondo a seguinte sequência: 10, 11, 26, 50, 83, 100
- A MÉDIA é igual à soma de todos os números dividida pela contagem de números. (10+11+26+50+83+100)/6 = **46,66**
- A MEDIANA é o número do meio, como a contagem é 6, dividido ao meio será 3. **26** é a mediana. (Se você tiver quantidades de números ímpares, será mais fácil encontrar o número do meio.)
- Mínimo = 10 e Máximo = 100.
- A VARIÂNCIA é calculada obtendo cada número menos a MÉDIA e ao quadrado (10 - 46,66)2 . Depois de somar todos eles obtemos a variância igual a 1203,22, que deve ter raiz quadrada para obter o DESVIO PADRÃO $\sqrt{1203.22}$= 34,68.

MATEMÁTICA NECESSÁRIA

- **Números Complexos** serão usados em transformações para cálculo de computação quântica:

- Em matemática " i " representa um número imaginário, um número sem solução real e que é representado como $\sqrt{-1}$
- Um número complexo é representado pela equação a+bi onde "a" e "b" são números (números reais) e " i " é $\sqrt{-1}$. . Como exemplo, podemos ter o número complexo: 100 + 0,5i onde a=100 e b=0,5
- Conjugado Complexo é a parte oposta de um número complexo. Se você tem z=100+0,5i, seu conjugado é $\bar{z} = 100 - 0.5\mathrm{i}$
- Magnitude Quadrada é a magnitude dos números "reais" envolvidos na equação: $|100+0{,}5i|^2$ terá a magnitude $100^2 + 0{,}5^2$

  NOTA: A magnitude quadrada pode ser obtida por Número Complexo x Conjugado Complexo

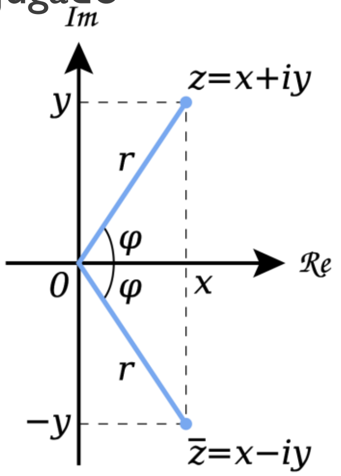


Diagrama de Argand. Referência: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Complex_conjugate#/media/File:Complex_conjugate_picture.svg)

SOBRE MIM

- Nome: Victor Bruno Alexander Rosetti de Quiroz
- Profissão: Desenvolvedor /Professor (PHD)
- Currículo Vitae: http://lattes.cnpq.br/3254174044411983
- LinkedIn: https://www.linkedin.com/in/victorbarq/
- Site Pessoal : https://www.yggbrasil.com.br
- Complementar Vídeos /Vídeos complementares: https://www.youtube.com/@yggbrasileducacaodofuturo384/featured

PERGUNTAS ?