

# Computador Quantico: Para que Serve e Como Construir Um

Fernando Brandao

Amazon Web Services

Caltech

Fisica em Casa, junho, 2021

# Computacao Quantica

...explora as leis fisicas do mundo microscopico para realizar computacao em modos novos e superiores

# Computacao Quantica

...explora as leis fisicas do mundo microscopico para realizar computacao em modos novos e superiores

Potencial para um novo paradigma computacional

# Computacao Quantica

...explora as leis fisicas do mundo microscopico para realizar computacao em modos novos e superiores

Potencial para um novo paradigma computacional

Enorme desafio cientifico e tecnologico construir hardware quantico em grande escala

# Computacao Quantica

...explora as leis fisicas do mundo microscopico para realizar computacao em modos novos e superiores

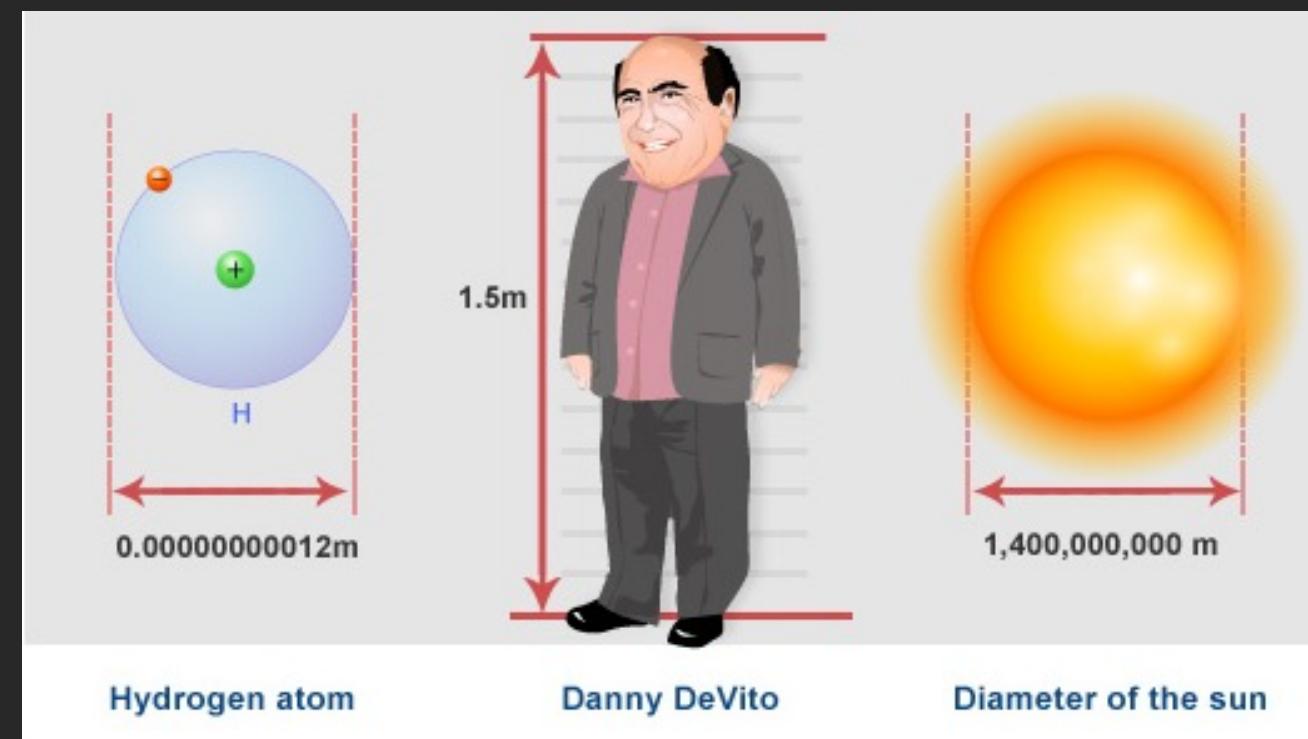
Potencial para um novo paradigma computacional

Enorme desafio cientifico e tecnologico construir hardware quantico em grande escala

A melhor maneira de construir um computador quantico e as aplicacoes mais significativas ainda nao sao totalmente conhecidas

# Mecanica Quantica

... descreve a fisica do muito pequeno (e.g. atomos, fotons, eletrons)



# Mecanica Quantica

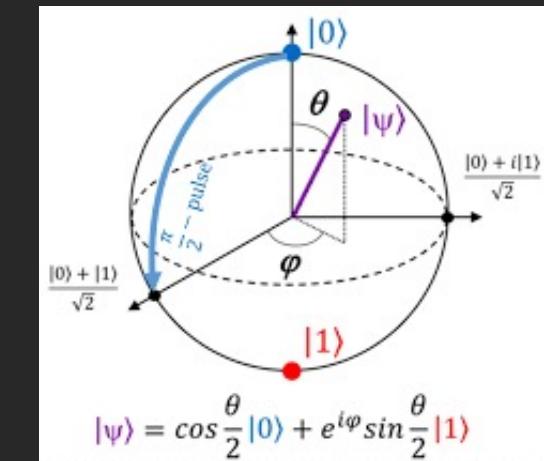
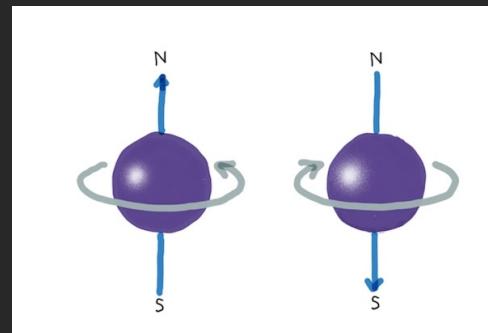
... descreve a fisica do muito pequeno (e.g. atomos, fotons, eletrons)

Unidade Basica: Qubit

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

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

$|0\rangle$        $|1\rangle$



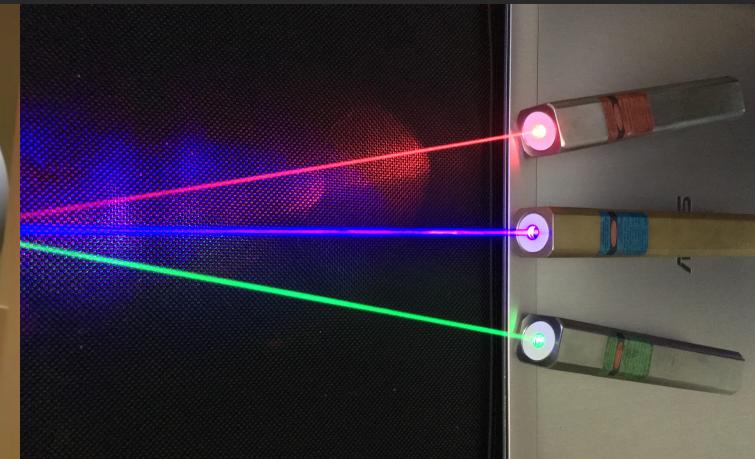
Amplitudes ao inves de probabilidades:  
superposicao, interferencia, emaranhamento

# Tecnologias Quanticas do Seculo Anterior

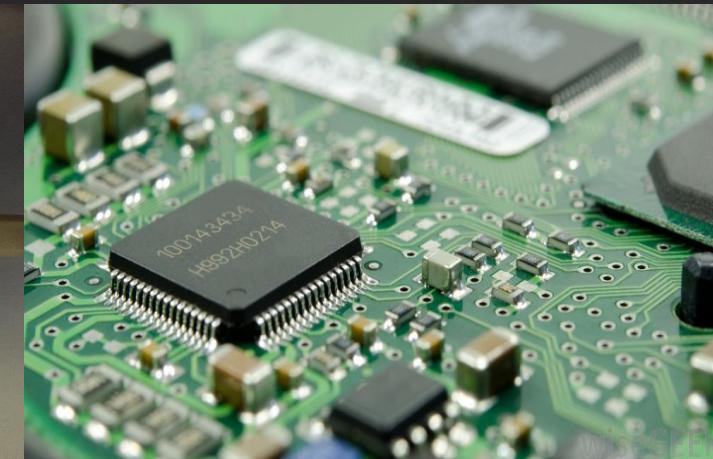
A Mecanica Quantica ja foi fundamental para muitos avancos tecnologicos



Resonancia Magnetica



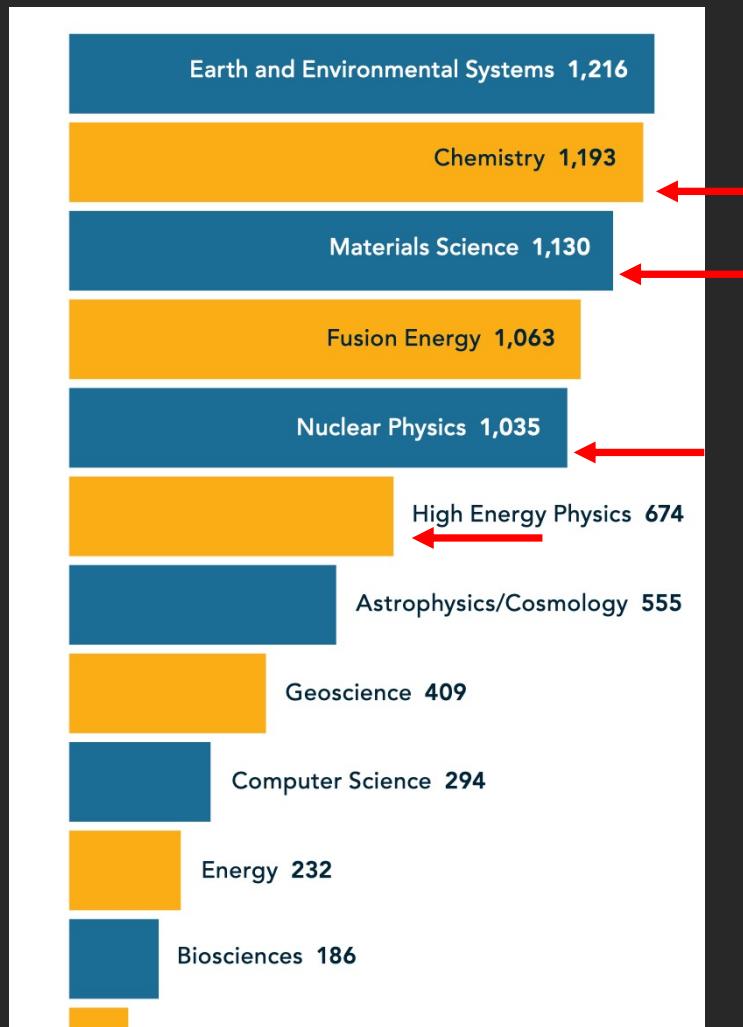
laser



transistor

# Mecanica Quantica eh Difícil

Uso do supercomputador dor DOE por area



Grande fracao usada para simular sistemas quanticos grandes

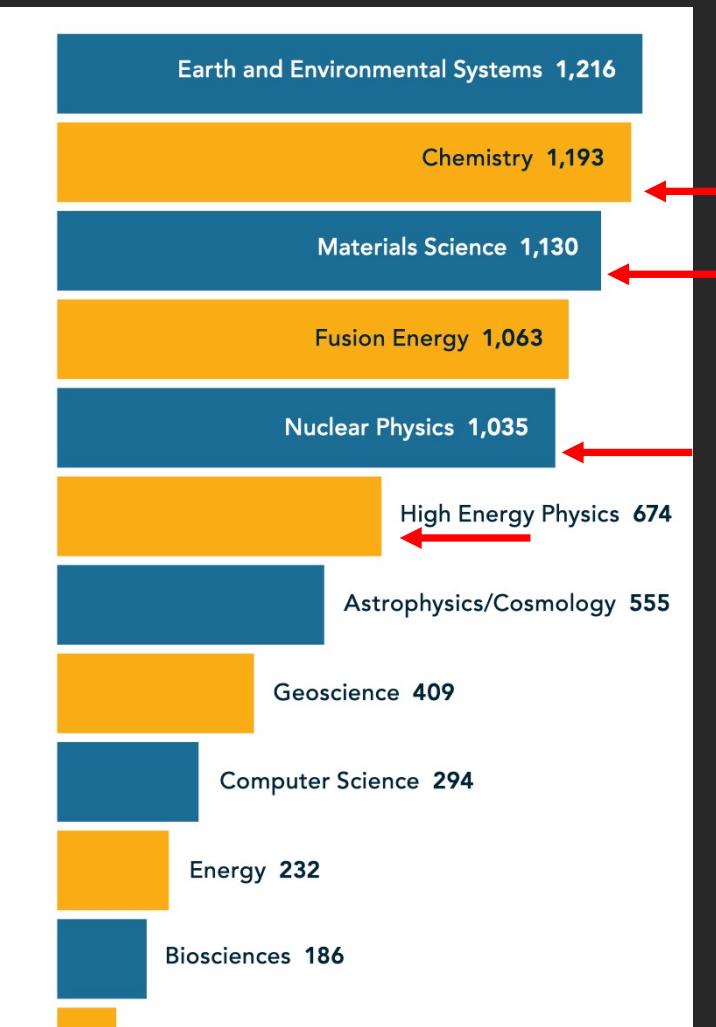
Custo cresce exponencialmente com tamanho do sistema

$\sim 2^n$  passos para simular sistema de  $n$  qubits (eletrons, fotons, ...) devido ao fenomeno do emeranhamento entre os qubits

$$\sum_{i_1, \dots, i_n} c_{i_1 \dots i_n} |i_1, \dots, i_n\rangle$$

# Mecanica Quantica eh Difícil

Uso do supercomputador dor DOE por area



Grande fração usada para simular sistemas quanticos grandes

Custo cresce exponencialmente com tamanho do sistema

$\sim 2^n$  passos para simular sistema de  $n$  qubits (eletrons, fotons, ...) devido ao fenomeno do emeranhamento entre os qubits

30 qubits: 16 Gb

40 qubits: 16 Tb

50 qubits: 16 Pb

333 qubits : $10^{100}$

# Simulando Fisica com Computadores

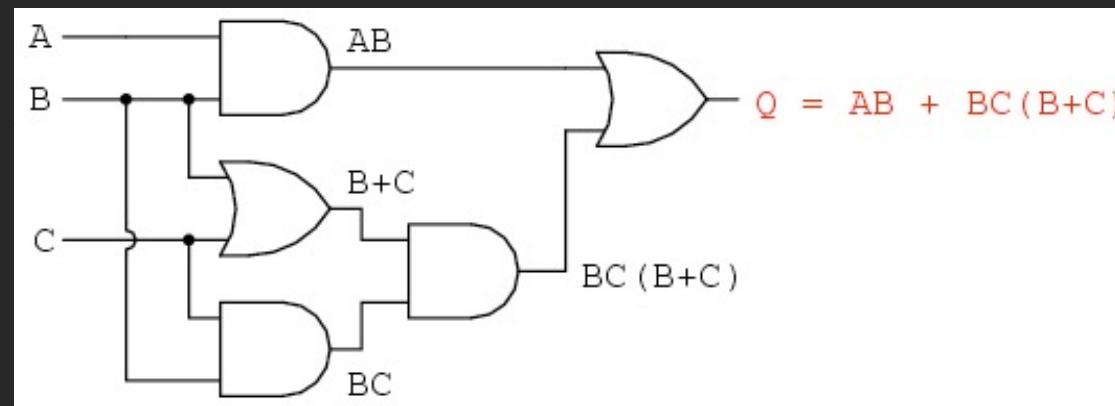


"trying to find a computer simulation of physics seems to me to be an excellent program to follow out (...) Nature isn't classical, dammit, and if you want to make a simulation of Nature, you'd better make it quantum mechanical, and by golly it's a wonderful problem, because it doesn't look so easy"

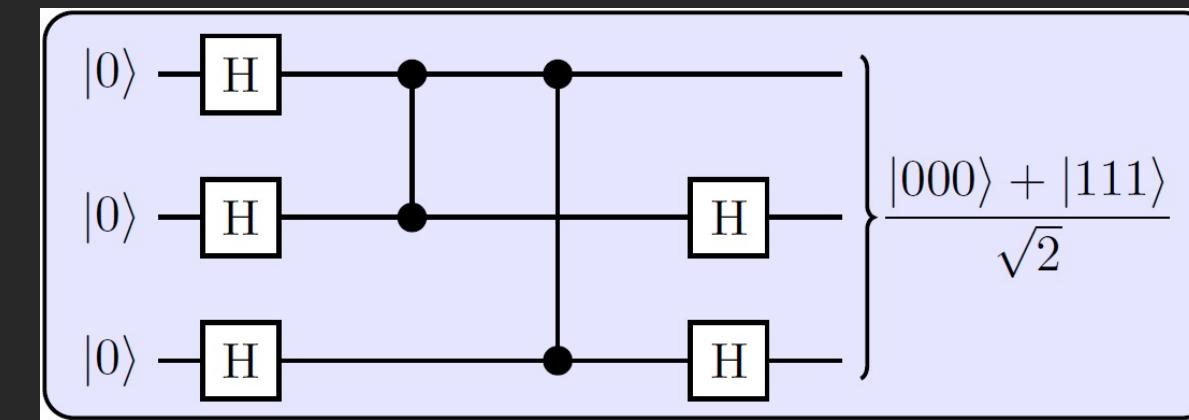
R. Feynman, Simulating Physics with Computers, 81

# Tecnologia Quantica deste Seculo

Computacao Quantica usa sistemas quanticos altamente controlaveis para computacao

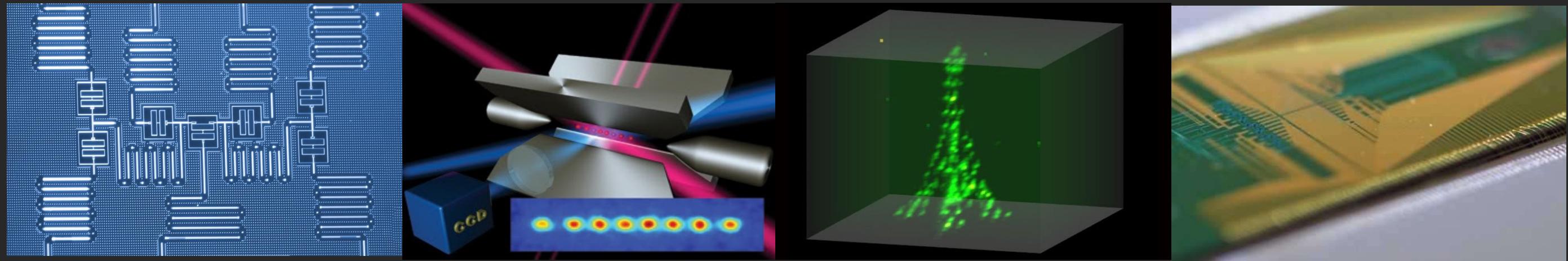


Circuito booleano



Circuito quantico

# Computadores Quanticos no Laboratorio



Qubits  
supercondutores

Amazon, Google, IBM,  
Alibaba, Rigetti,  
Caltech, MIT, Yale,  
Delft, ...

Armadilhas de Ions  
Honeywell, IonQ,  
Innsbruck,  
Maryland,  
Berkeley, ...

Atomos de Rydberg  
QuEra, Pascal,  
Harvard, U. Paris,  
Caltech, Berkeley, ...

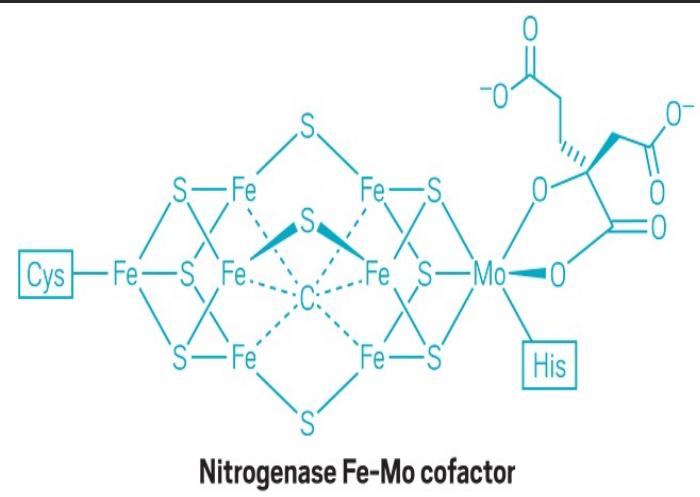
Fotonica em Silicio  
PsiQuantum, Xanadu,  
U. Bristol, U.  
Queensland, ...

# Aplicacoes de Computadores Quanticos

## Criptografia



## Fisica/Quimica



Quebrar 2048 RSA

~ 6000 qubits

## Ciencia dos Materiais



Simular FeMoco

~ 200 qubits

Simular alta-T  
supercondutores

~ 70 qubits

## Otimizacao

Maximize



Minimize



scheduling ,  
ranking, learning

~ 100 qubits

Catch: assumindo qubits perfeitos sem ruido

# Aplicacoes de Computadores Quanticos

## Criptografia



Quebrar 2048 RSA

~ 6000 qubits

Seguranca do RSA eh baseada na dificuldade de fatorar numeros grandes

$$\text{Fatoracao: } 15 = 5 \times 3$$

$$509284477619 = 217421 \times 234239$$

Melhor algoritmo para numero  $n$  digitos:  $\exp(1.9 n^{1/3})$

Para fatorar numero de 2048 digitos ~ quadrilhao de anos

# Aplicacoes de Computadores Quanticos

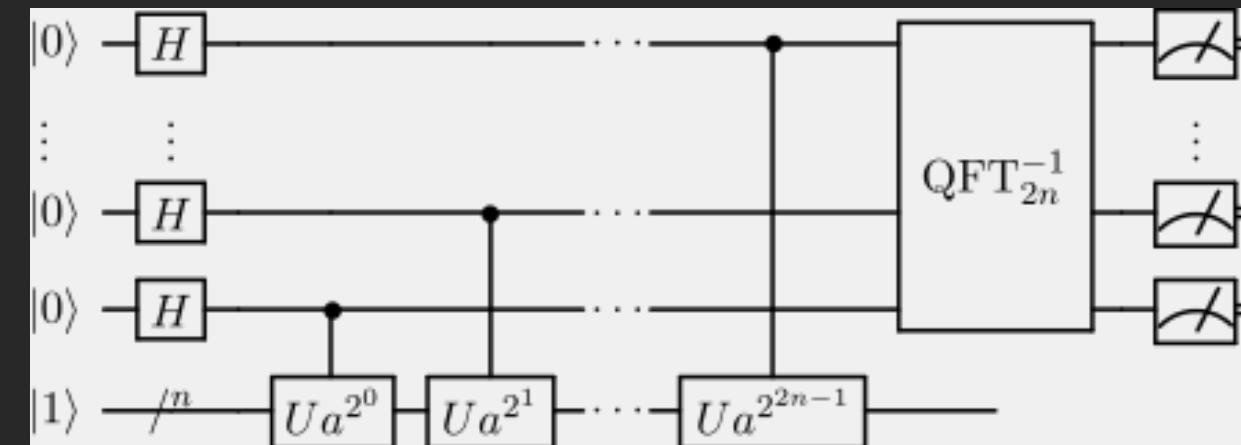
## Criptografia



Quebrar 2048 RSA

~ 6000 qubits

Algorithm de Shor para fatorar numero  $n$  digitos:  
 $72 n^3$



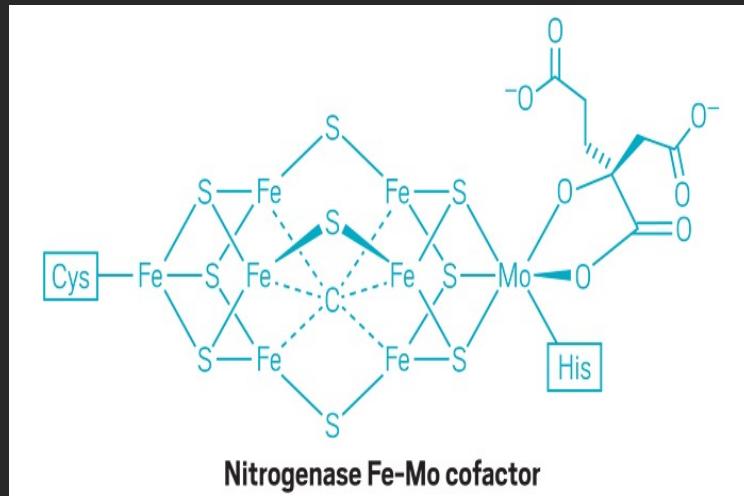
Fatorar numero de 2048 digitos~ algumas horas

Cripto post-quantica sendo desenvolvida para  
resolver essas ameaca quantica

# Aplicacoes de Computadores Quanticos

Processo Haber-Bosch produz fertilizante de ammonia atraves de nitrogen. Gasta ~3% da producao de energia do mundo!

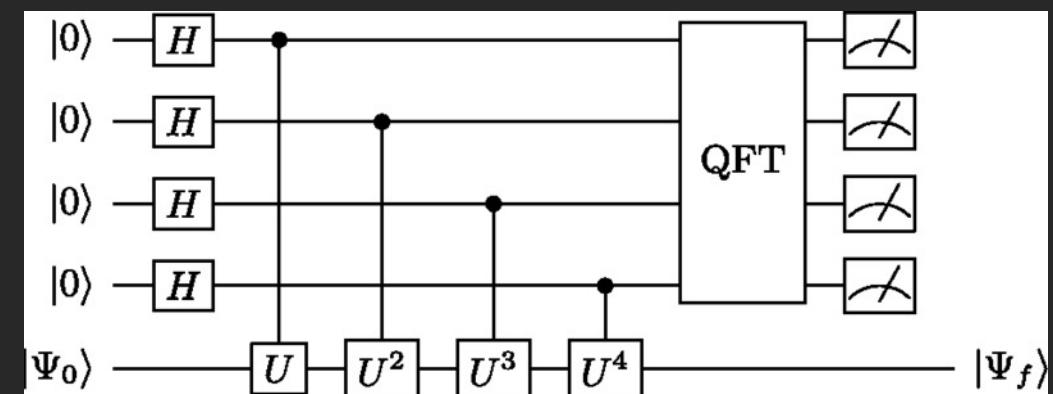
Fisica/Quimica



Simular FeMoco  
~ 200 qubits

Nitrogenese realiza processo naturalmente. Mas n conseguimos simular! (FeMoco > 70 electronic states).

Computdor quantico poderia simular FeMoco

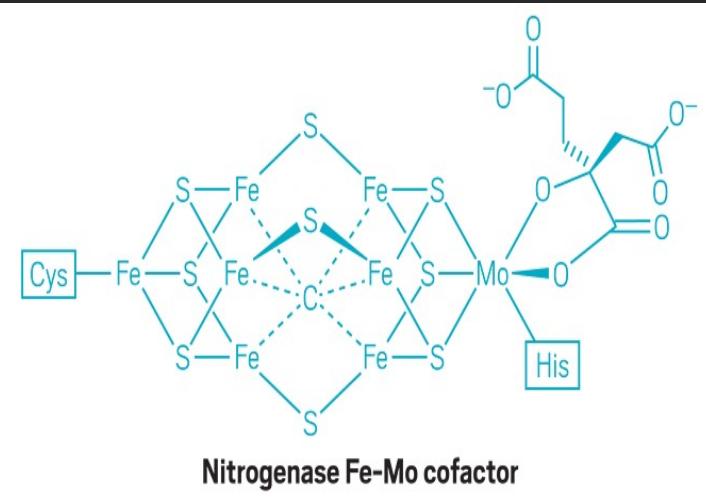


# Aplicacoes de Computadores Quanticos

## Criptografia



## Fisica/Quimica



Quebrar 2048 RSA

~ 6000 qubits

## Ciencia dos Materiais



Simular FeMoco

~ 200 qubits

Simular alta-T  
supercondutores

~ 70 qubits

## Otimizacao

Maximize



Minimize



scheduling ,  
ranking, learning

~ 100 qubits

Catch: assumindo qubits perfeitos sem ruido

# Correcao de Erro Quantica

Proteger informacao de erros atraves de redundancia

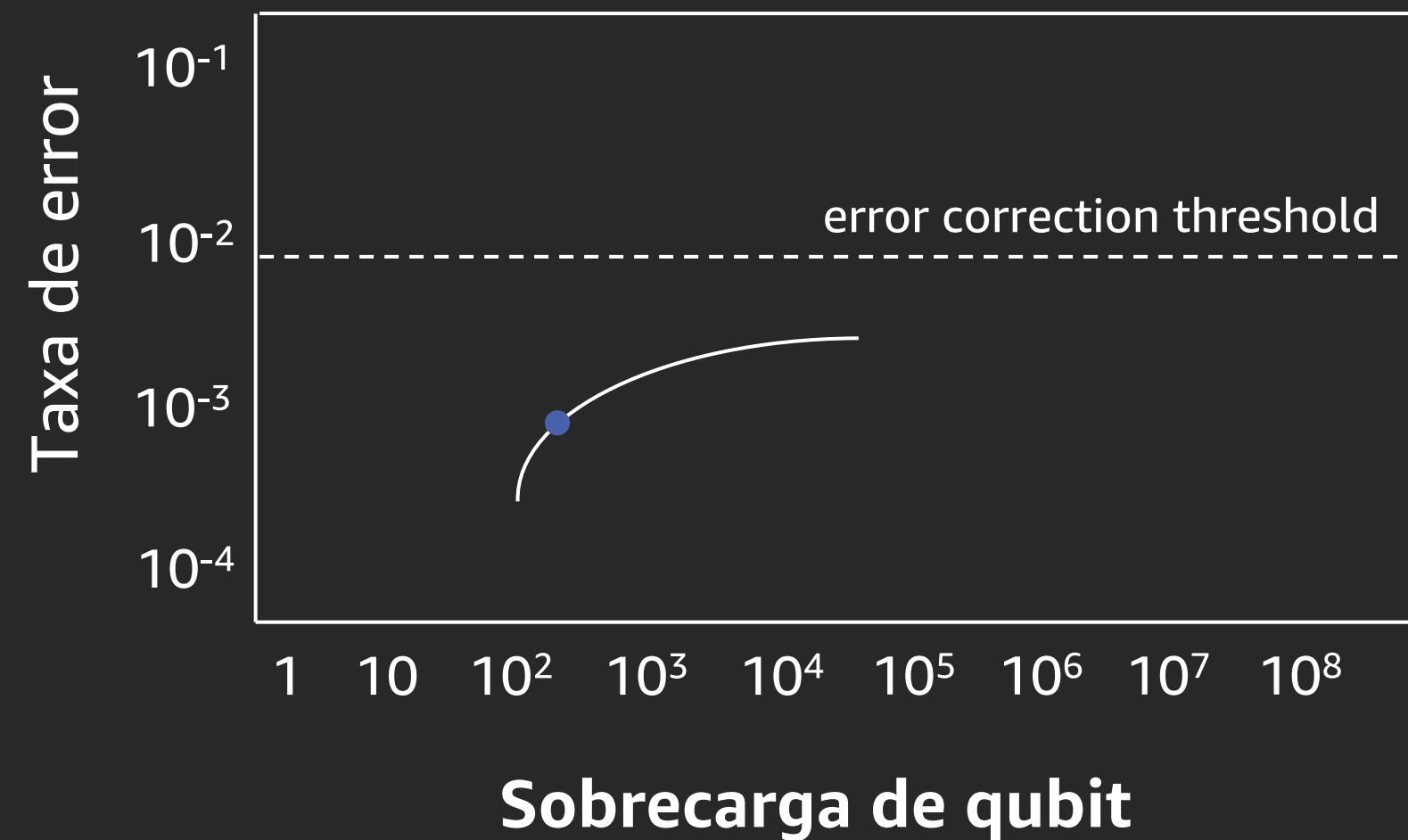
Codigo de Repeticao: 0 -> 00000

1 -> 11111

Pode recuperar informacao se menos q metade dos bits forem corrompidos

Informacao quantica tambem pode protegica atraves de redundancia

# Correcao de Erro Quantica

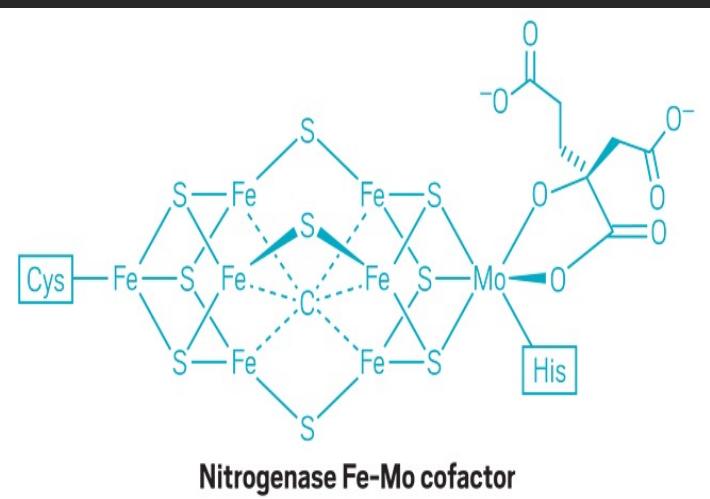


# Aplicacoes de Computadores Quanticos

## Criptografia



## Fisica/Quimica



Quebrar 2048 RSA

~ 10M qubits

Qubits com 0.1% error rate

## Ciencia dos Materiais



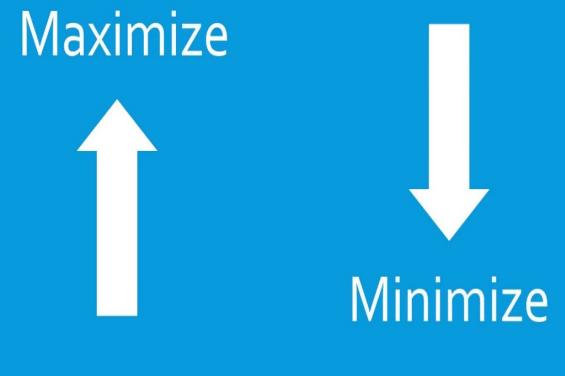
Simular FeMoco

~ 1M qubits

Simular alta-T  
supercondutores

~ 200k qubits

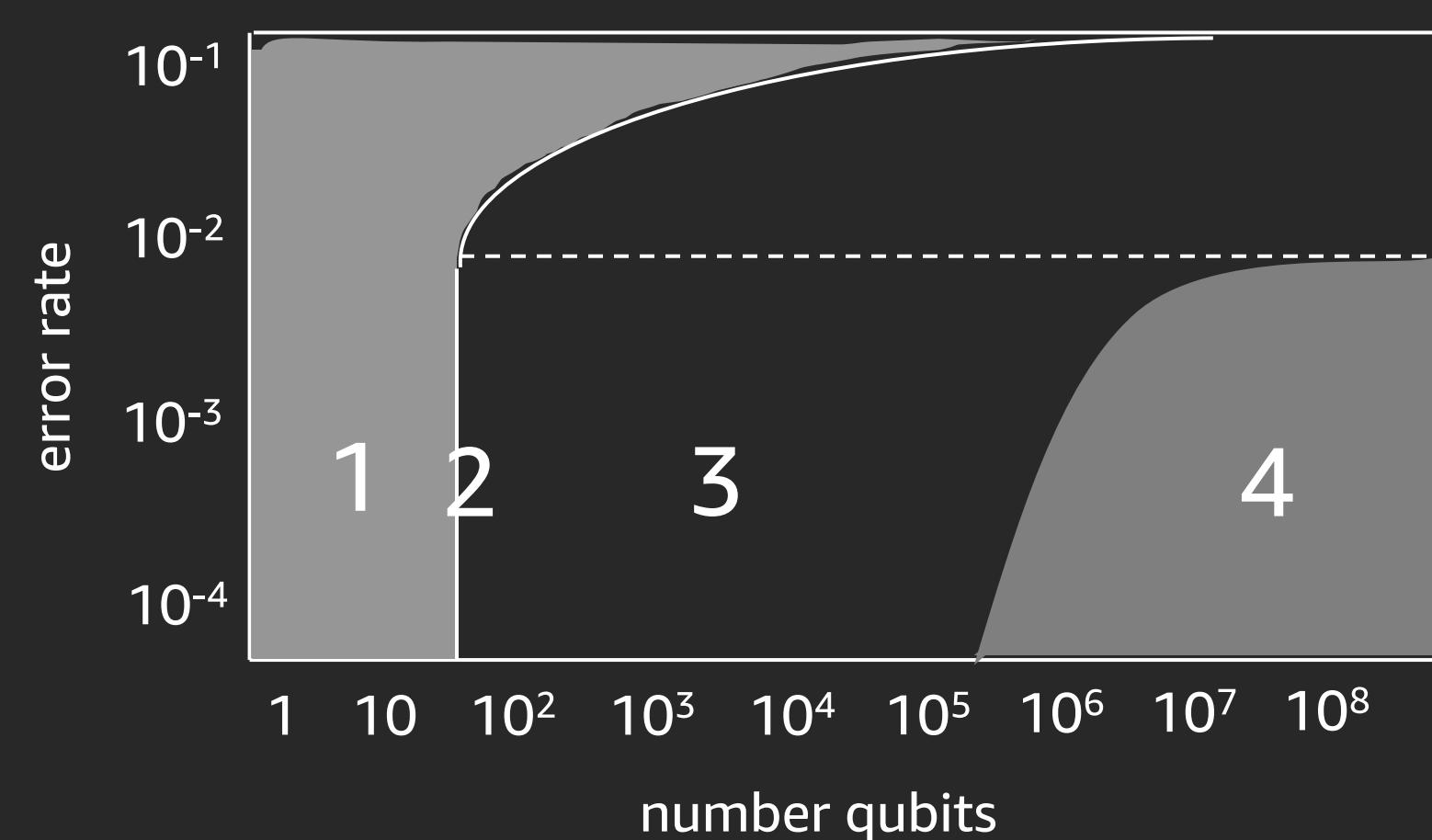
## Otimizacao



scheduling ,  
ranking, learning

~ 1M qubits

# Eras da Computacao Quantica



1: facil simulacao classica  
2: supremacia quantica.

3: aplicacoes iniciais?  
4: computadores quanticos com correcao de erros

# Supremacia Quantica

Hardware Quantico atual sao melhores q os classicos em *qualquer coisa?*

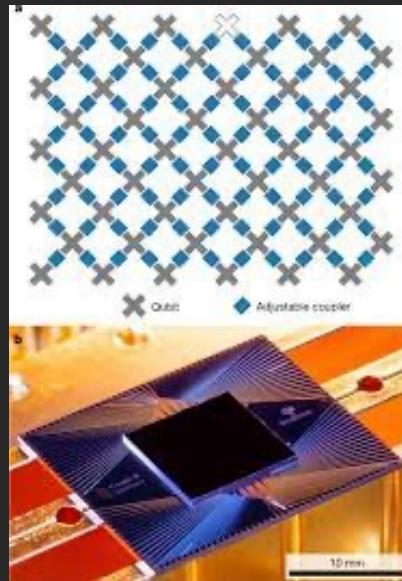
**Analogia:** Competicao ‘Savant” versus calculadora de bolso



“Supremacia” da calculadora de bolso sobre o cerebro humano para multiplicar numeros grandes

# Supremacia Quantica

Hardware quantico atuais sao melhores q o classico em *qualquer coisa?*

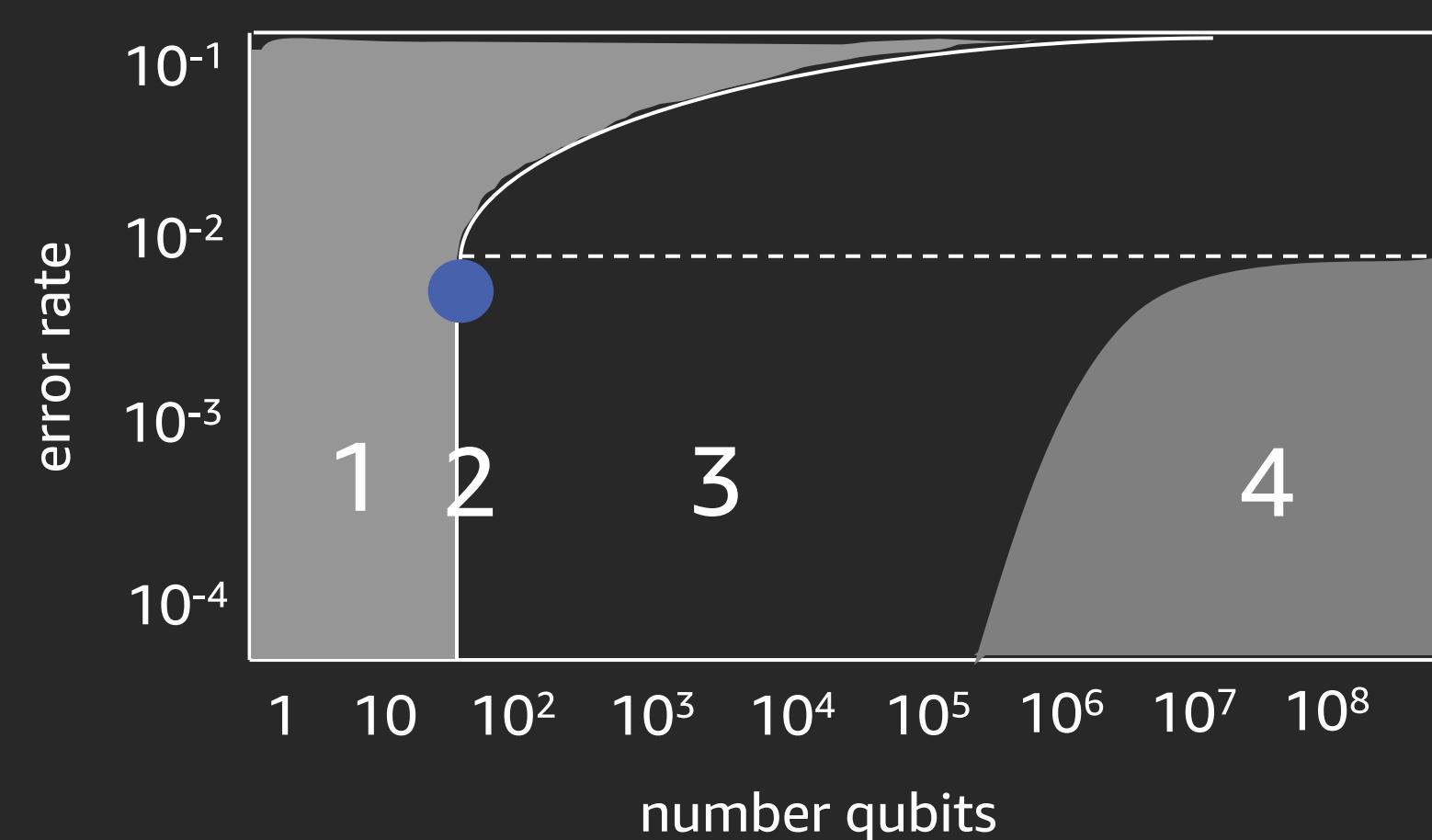


Google 53 qubits “Sycamore”  
“calculadora quantica”  
~3 minutes

Summit Supercomputer  
“savant” dos computadores classicos  
~Meses

Equivalente de multiplicar numeros grandes: Obter amostras da distribuicao final de circuitos quanticos aleatorios

# Eras da Computacao Quantica

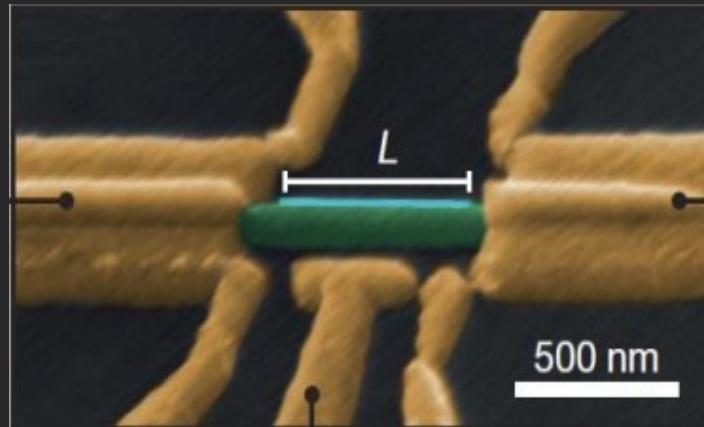


1: facil simulacao classical  
2: supremacia quantica.

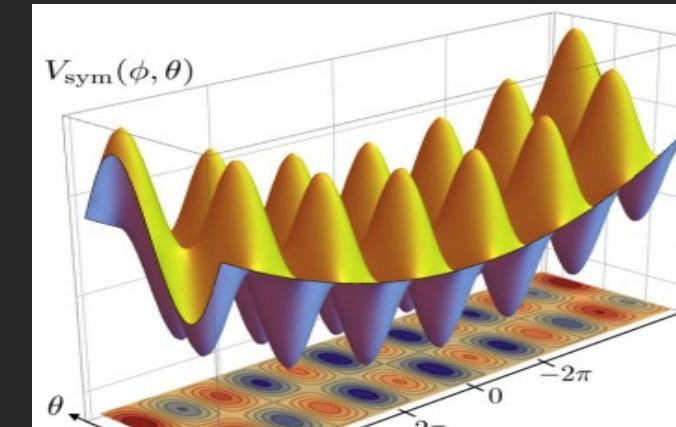
3: aplicacoes iniciais?  
4: computadores quanticos com correcao de erros

# Correcao de Erro Diretamente Pelo Hardware?

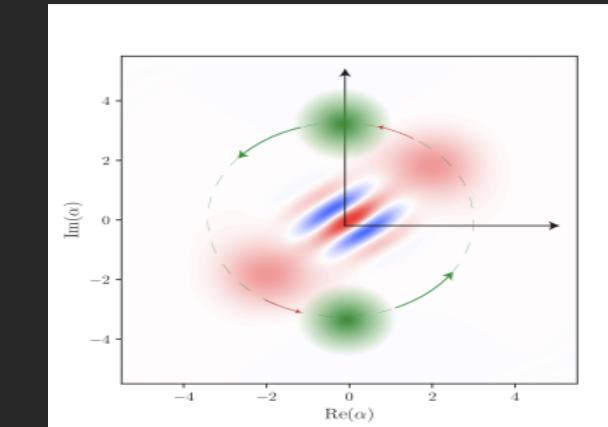
Majorana qubit



0-pi qubit



cat qubit



# Nova proposta de arquitetura da AWS

## Building a fault-tolerant quantum computer using concatenated cat codes

Christopher Chamberland,<sup>1, 2</sup> Kyungjoo Noh,<sup>1</sup> Patricio Arrangoiz-Arriola,<sup>1, \*</sup>  
Earl T. Campbell,<sup>1, \*</sup> Connor T. Hann,<sup>1, 3, \*</sup> Joseph Iverson,<sup>1, \*</sup> Harald Puttermann,<sup>1, \*</sup> Thomas  
C. Bohdanowicz,<sup>1, 2</sup> Steven T. Flammia,<sup>1</sup> Andrew Keller,<sup>1</sup> Gil Refael,<sup>1, 2</sup> John Preskill,<sup>1, 2</sup>  
Liang Jiang,<sup>1, 4</sup> Amir H. Safavi-Naeini,<sup>1, 5</sup> Oskar Painter,<sup>1, 2</sup> and Fernando G.S.L. Brandão<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>AWS Center for Quantum Computing, Pasadena, CA 91125, USA

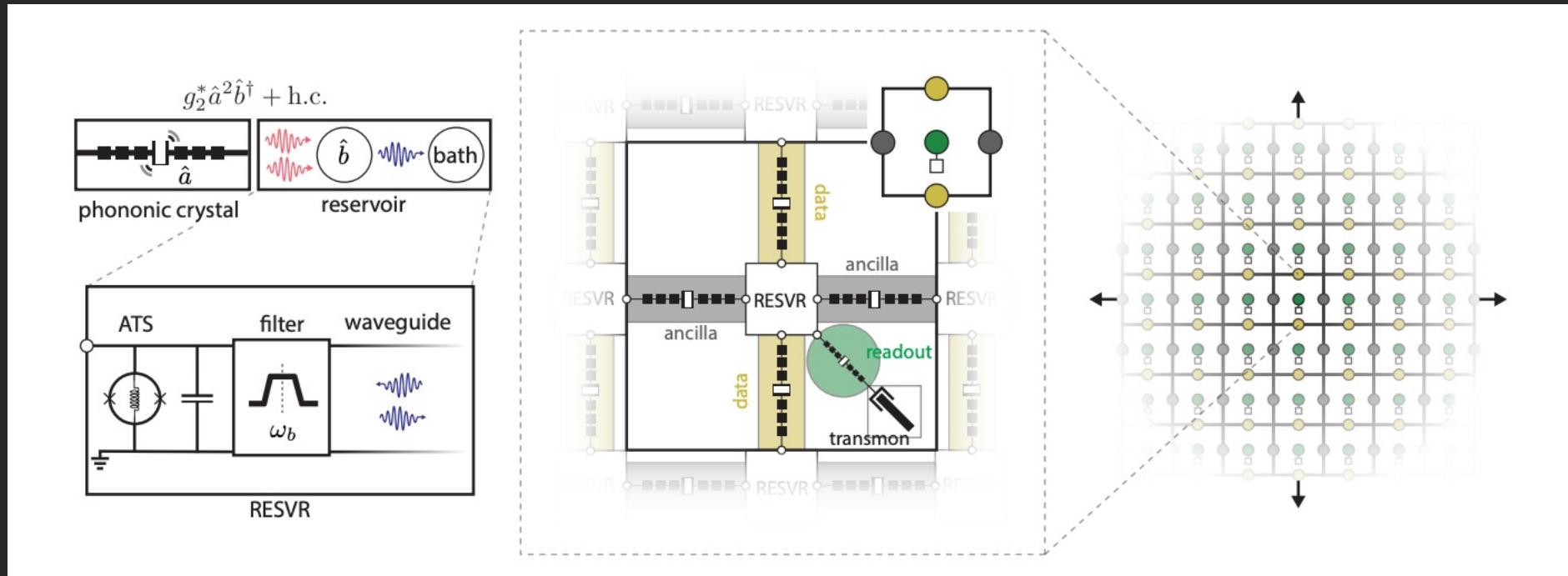
<sup>2</sup>IQIM, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, USA

<sup>3</sup>Department of Physics, Yale University, New Haven, CT 06511, USA

<sup>4</sup>Pritzker School of Molecular Engineering, The University of Chicago, Illinois 60637, USA

<sup>5</sup>Department of Applied Physics and Ginzton Laboratory, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA

arXiv:2012.04108



Reducao 10x do  
numero de "qubits"  
necessarios para  
correcao de erro

Experimentos em  
andamento

# AWS Center for Quantum Computing

R&D em computacao quantica

Localizado no campus do Caltech

Objetivo de longo prazo de construir um computador quantico  
de impacto pratico

Estamos contratando!

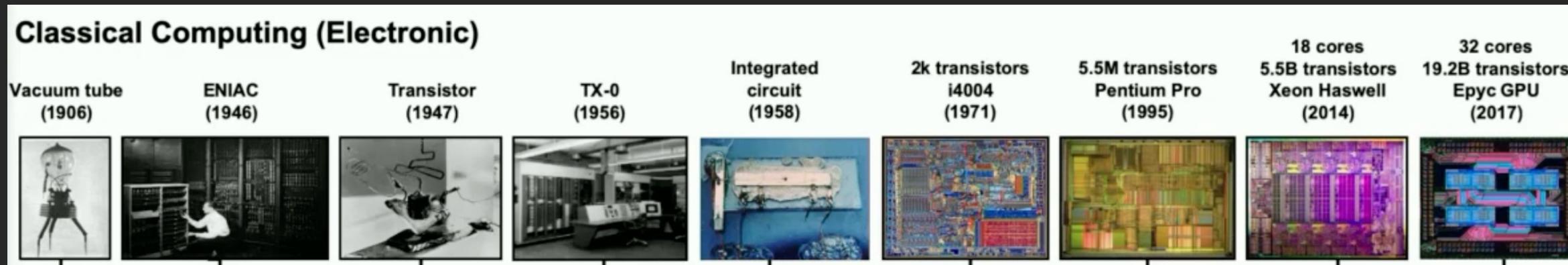


# Computacao Quantica

Potencial de ser um novo paradigma da computacao

Mas muitos desafios no caminho

Eh uma maratona, nao uma corrida de 100 metros



Obrigado!