

# RedeRio Quântica

25° WRNP



Prof. Nilton Alves Junior

# Sumário

1. Conceitos
2. Criptografia Clássica/Quântica
3. CBPF
4. Projeto RedeRio Quântica
5. Avanços Experimentais

# Conceitos

A comunicação quântica tira proveito das **leis da física quântica** para proteger os dados.

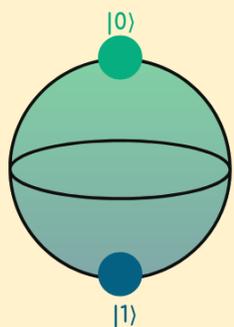
Essas leis permitem que as **partículas de luz (fótons)** assumam um **estado de superposição**, o que significa que podem representar várias combinações de 1 e 0 simultaneamente.

Estas partículas são conhecidas como **bits quânticos ou qubits**.

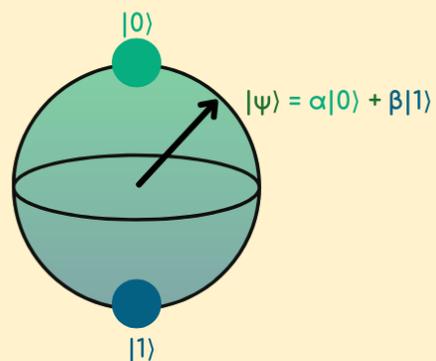
# Conceitos

As **tecnologias quânticas** aproveitam os **princípios da mecânica quântica** para construir ferramentas poderosas para o **processamento de informações**. Abaixo, algumas propriedades dos **estados quânticos**.

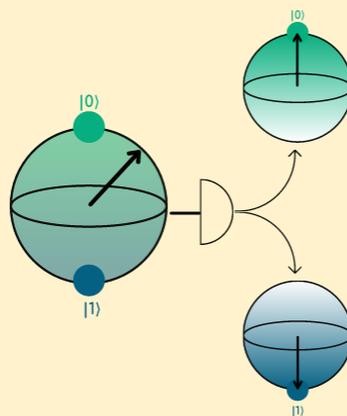
Qubit



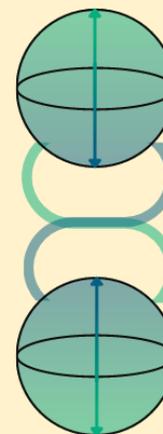
Superposição



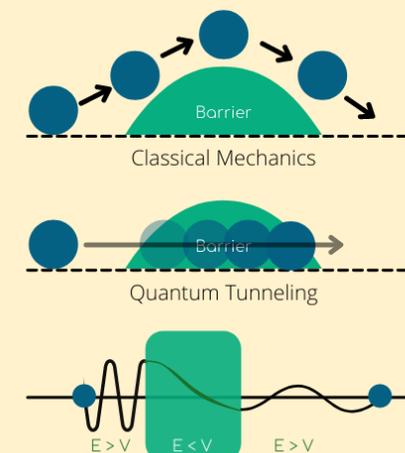
Medição



Emaranhamento



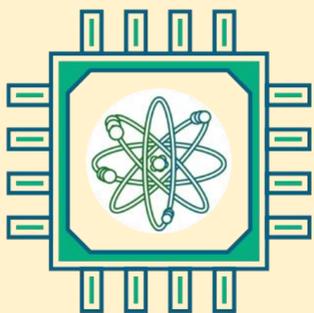
Tunelamento



# Conceitos

O controle e manipulação de Qubits através dos fenômenos descritos anteriormente, leva a um novo cenário tecnológico e novo conjunto de aplicações através dos quatro novos domínios quânticos.

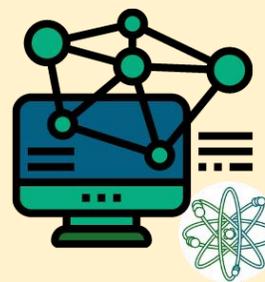
Computação



Comunicação



Simulação



Sensoriamento

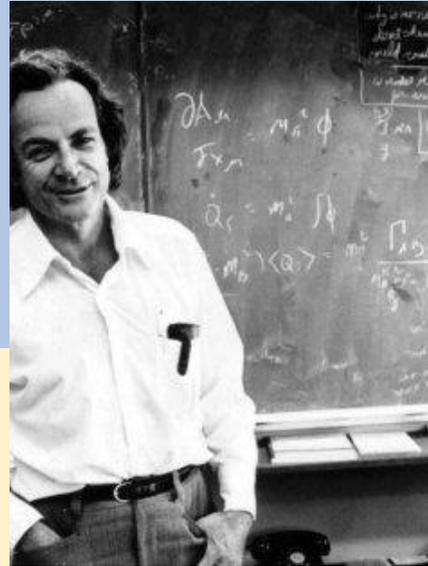


# Conceitos

## Informação Quântica:

- Física **Quântica**
- Teoria da **Informação**
- Engenharia de **Telecomunicações**
- Ciência da **Computação**

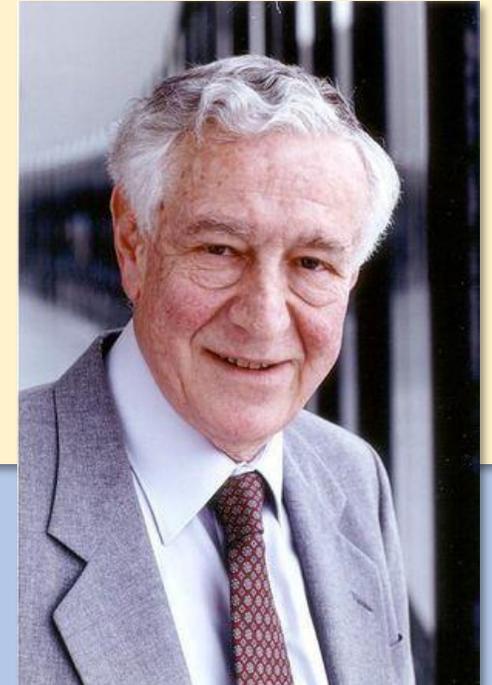
Rolf Landauer: "Information is inevitably physical"



Estude muito o que  
mais lhe interessa  
da maneira mais  
indisciplinada,  
irreverente e  
original possível.

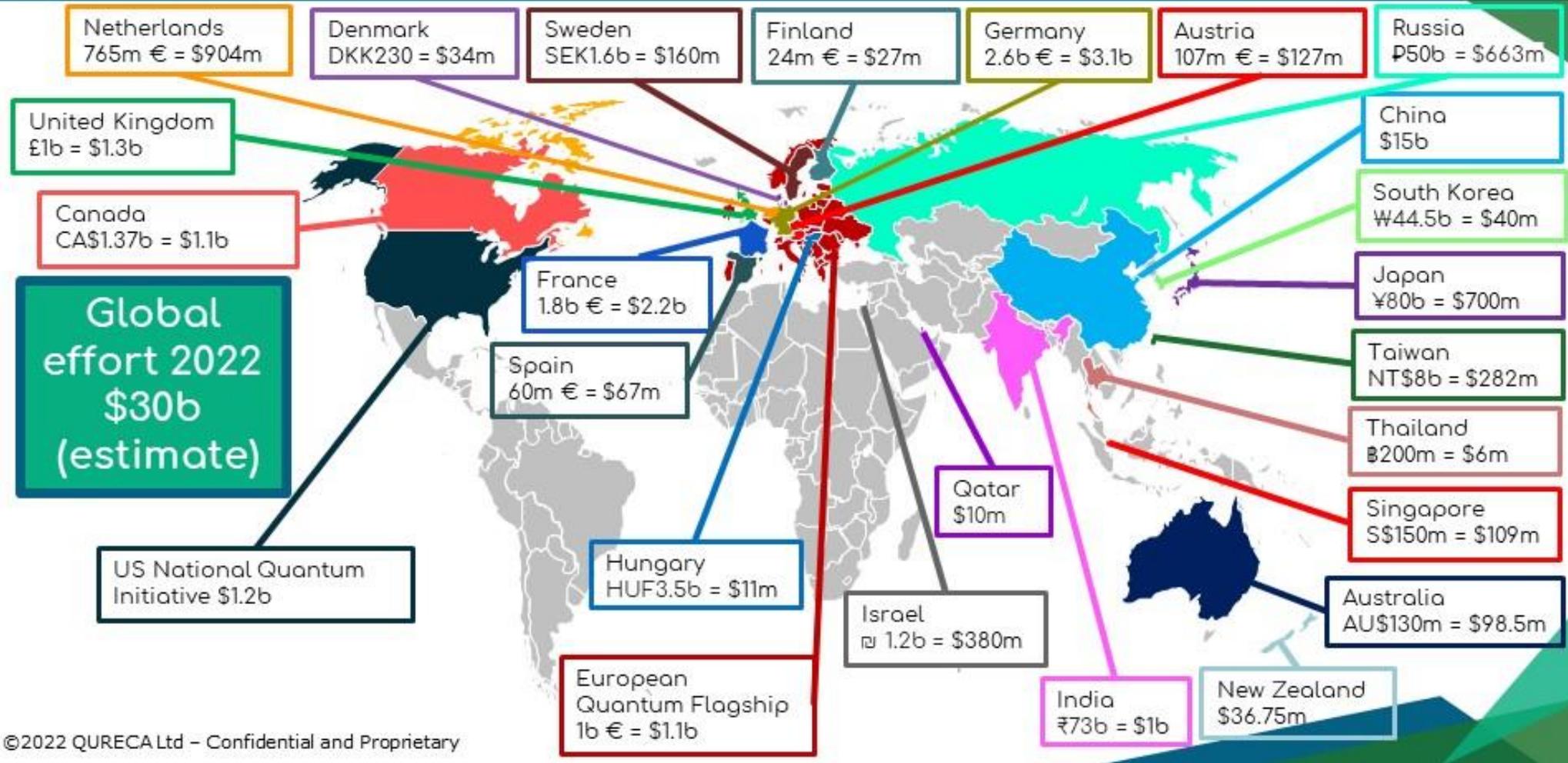
Richard Feynman

 PENSADOR



# Conceitos - Quantum Effort Worldwide

<https://www.quireca.com/overview-on-quantum-initiatives-worldwide-update-2022/>



# Conceitos: Revoluções Quânticas

## Primeira Revolução

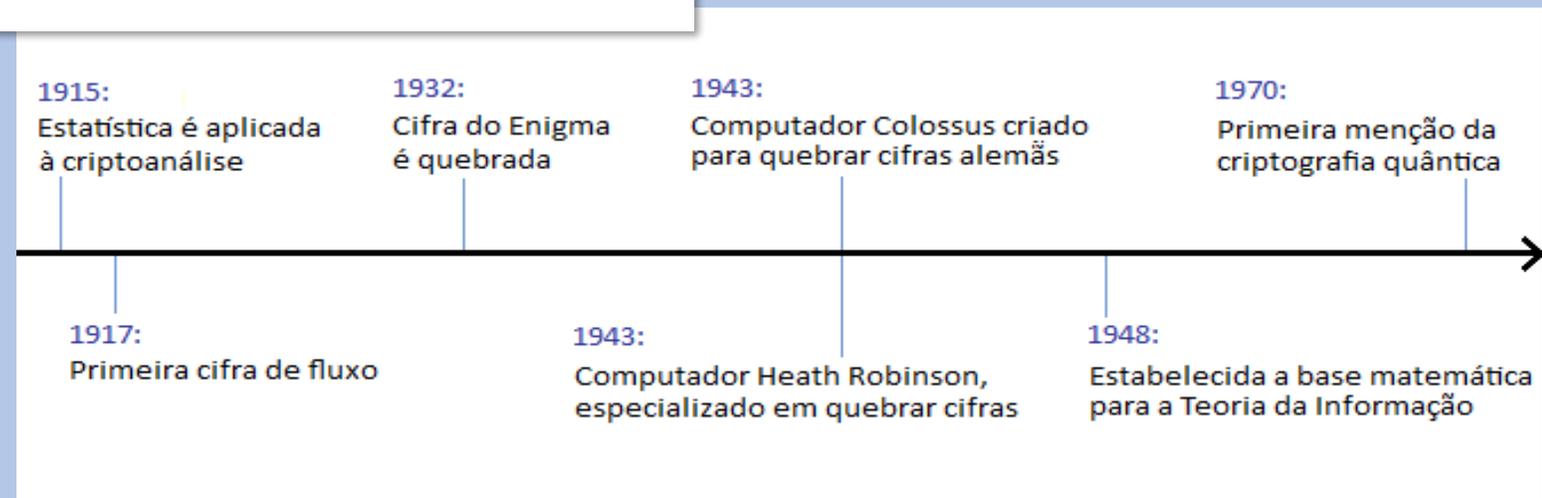
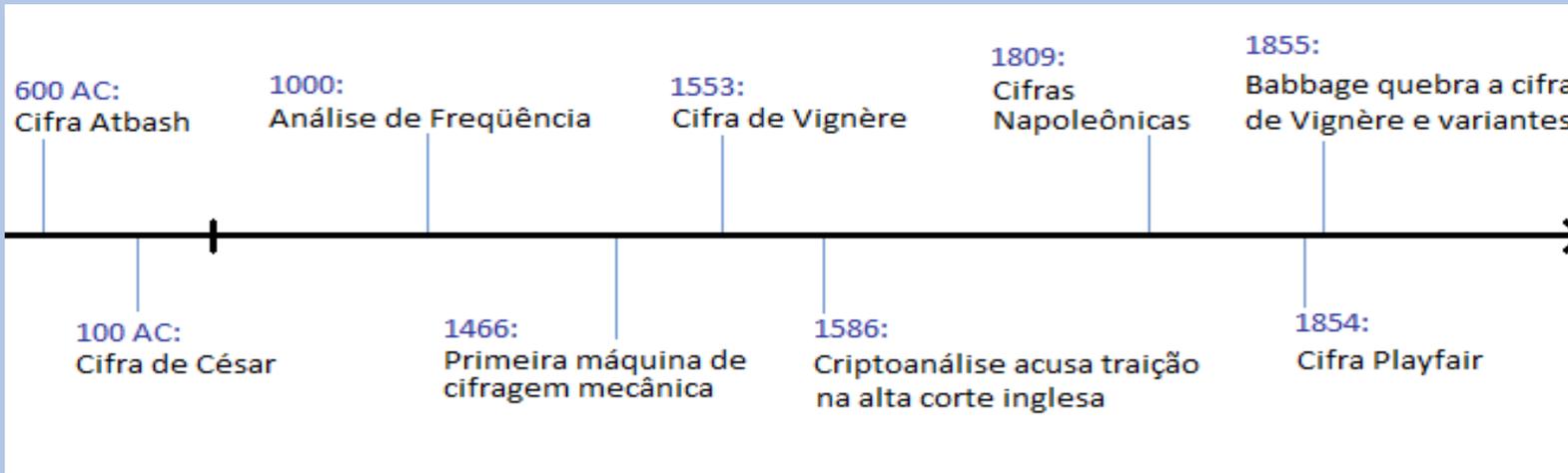
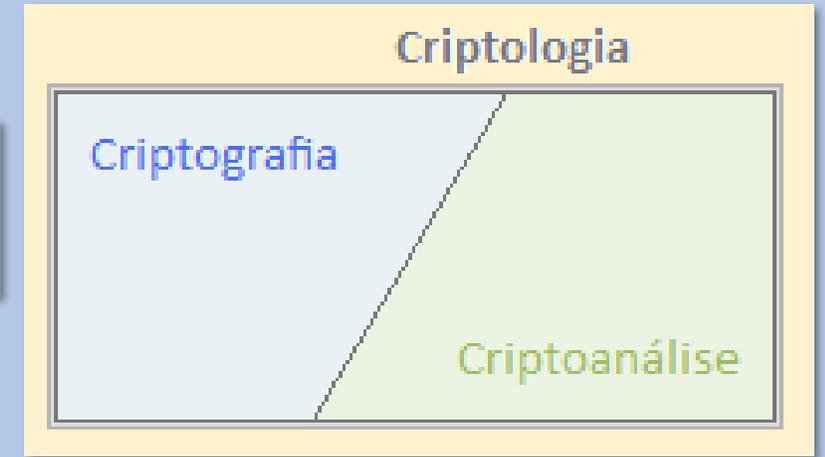
- Física do Estado Sólido (transistores, microeletrônica, computadores, lasers ....)
- Dispositivos quânticos realizando tarefas clássicas

## Segunda Revolução

- Computação, Comunicação, Sensoriamento Quântico
- Dispositivos quânticos realizando tarefas quânticas

# Criptografia

- Criptologia: Criptografia + Criptoanálise



# Criptografia Clássica

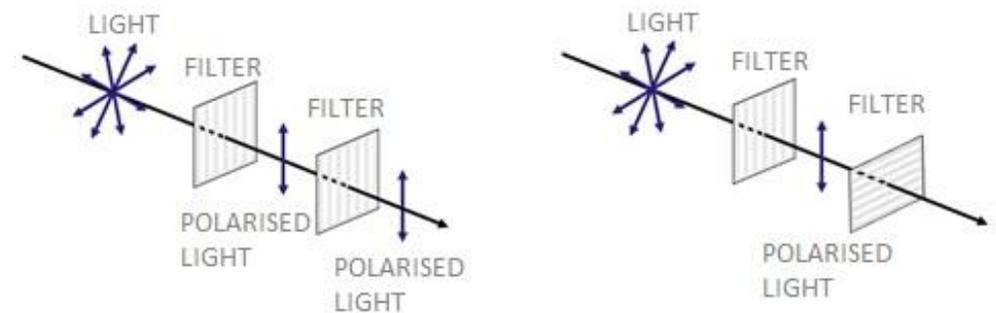
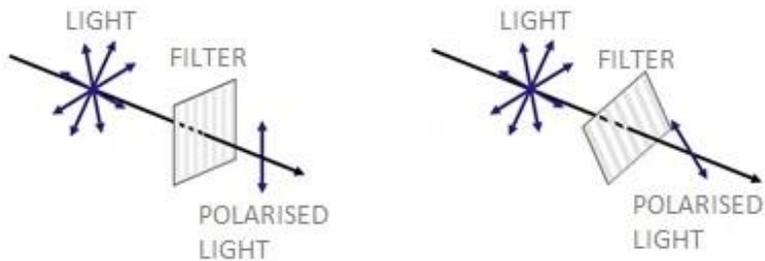
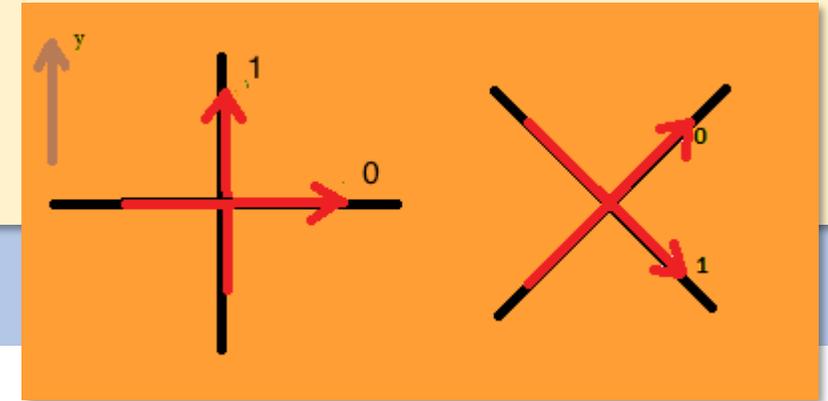
- Criptografia é um **mecanismo de segurança e privacidade** que torna determinada comunicação (textos, imagens, vídeos e etc) ininteligível para quem não tem acesso aos códigos de “tradução” da mensagem.
- Criptografia: **chave + algoritmo**
- Criptografia **Simétrica**: chave única ou chave **privada**
- Criptografia **Assimétrica**: chaves **privada e pública**

# Criptografia Clássica - Limites

- Atualmente a criptografia é baseada na fatoração por **números primos com muitos dígitos**, muito **oneroso computacionalmente**.
- Os algoritmos são **publicamente anunciados**
- Sucesso da criptografia depende da **segurança da chave** (sequência de bits)
- Transmissão do criptograma e das chaves são por **canal público**
- Possibilidade real de **espionagem!!**
  
- A segurança **NÃO** é uma **questão físico-matemática**
- É puramente **capacidade computacional**

# Criptografia Quântica

- É baseada na **polarização dos fótons (qubits)**
- Polarização **vertical/horizontal**
- Polarização **diagonal esquerda/direita**



# Criptografia Quântica

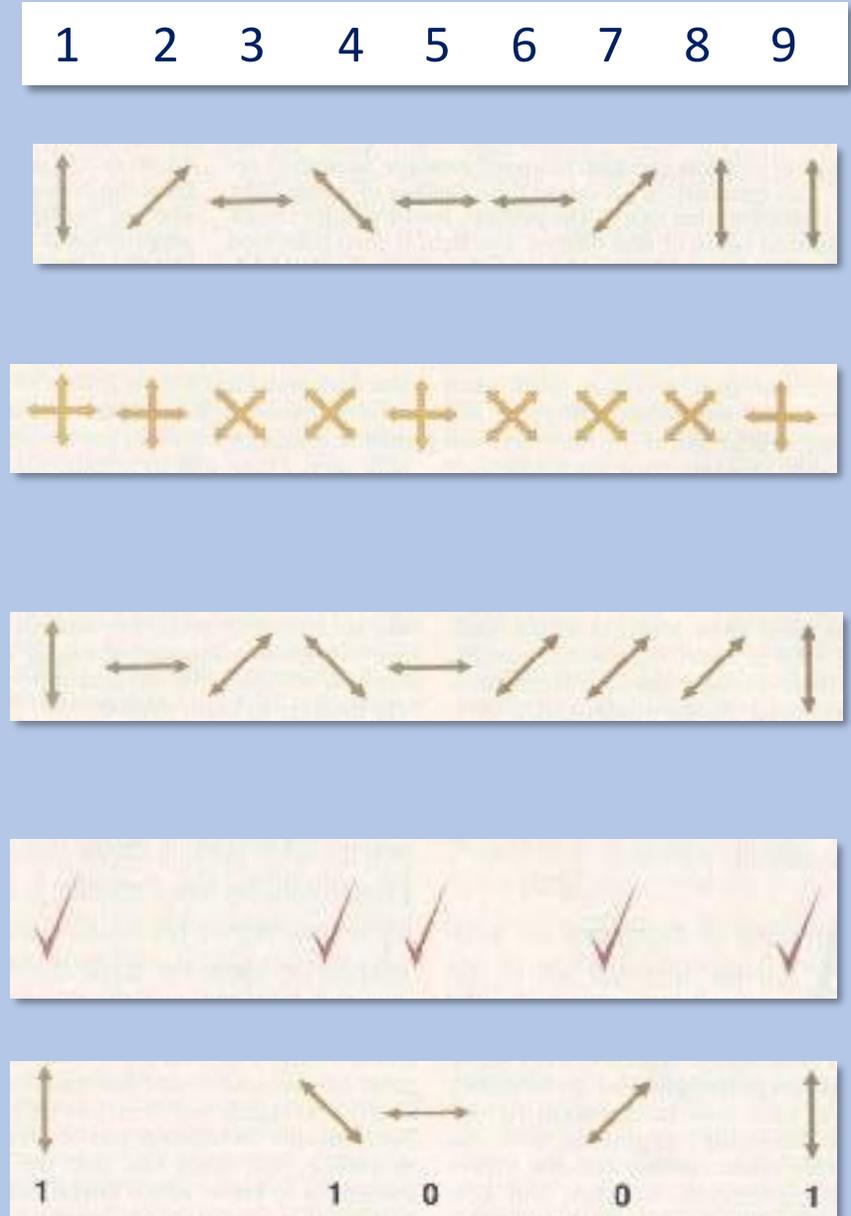
Alice envia uma sequência de qubits polarizados para Bob

Bob seleciona o seu polarizador aleatoriamente

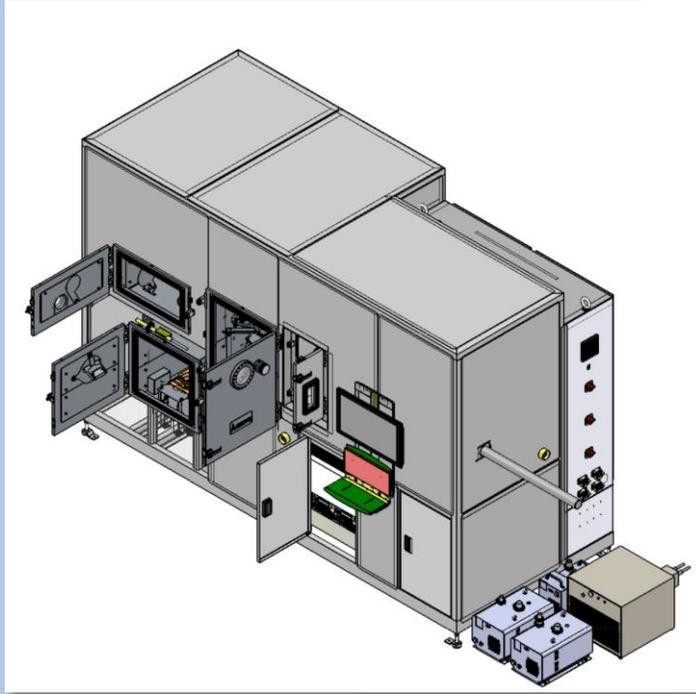
Bob acerta resultados quando utiliza polarizador correto e resultados aleatórios com polarizador errado

Bob informa Alice sobre os polarizadores utilizados e Alice responde quais estão corretos. Nada é dito sobre os qubits

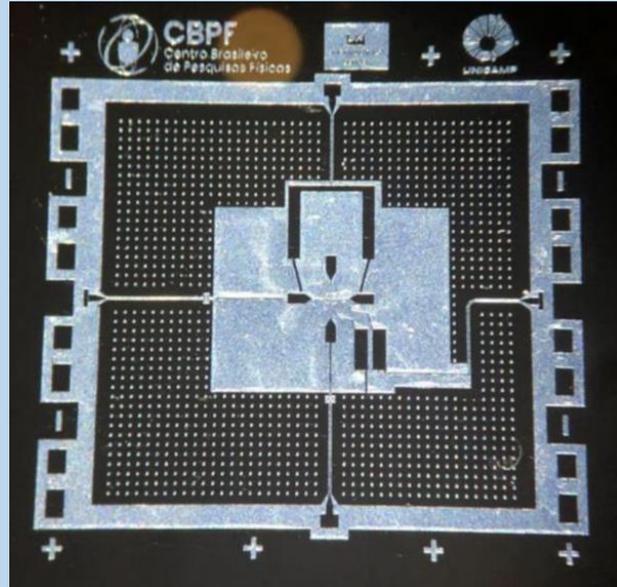
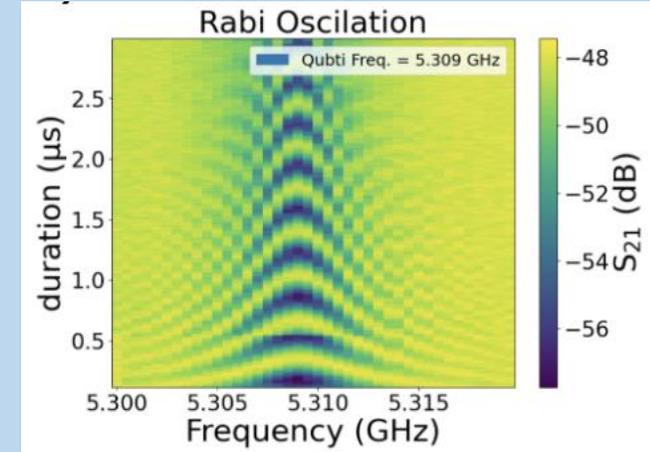
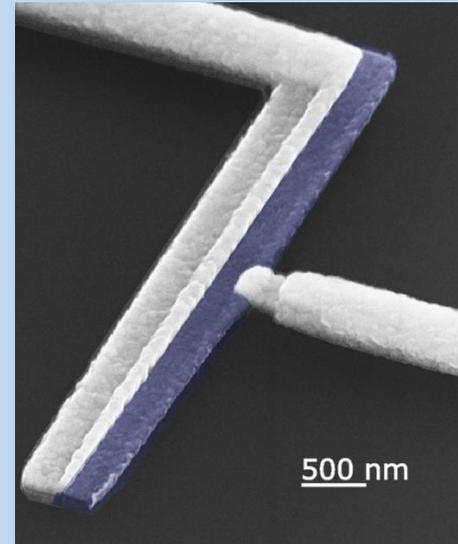
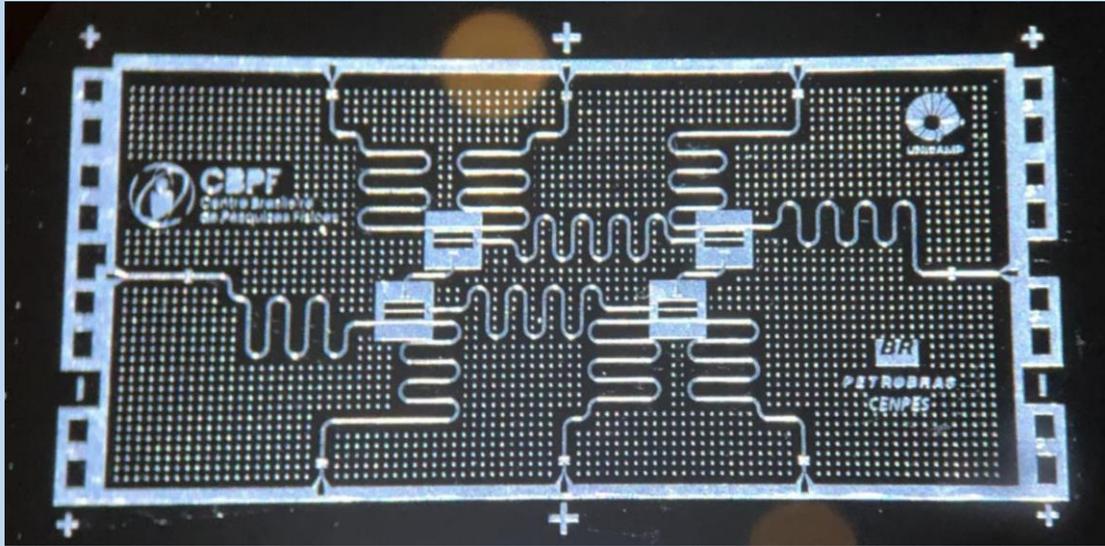
Alice e Bob convencionam vertical e diagonal esquerda 1 e horizontal e diagonal direita 0



# CBPF – Laboratório de Tecnologias Quânticas



# CBPF: Q-BITS SUPERCONDUTORES



Sinal de um q-bit dentro da cavidade: aprendemos a fazer!

# CBPF: SIMULAÇÕES QUÂNTICAS

## Need Multi-GPUs infrastructure to build reliable Quantum AI simulations

**Multi-GPU (Graphics Processing Unit):** To run complex quantum simulations, a robust computational infrastructure is required. Multi-GPU (Graphics Processing Unit) setups can provide the necessary computational power to build reliable and accurate Quantum AI simulations.

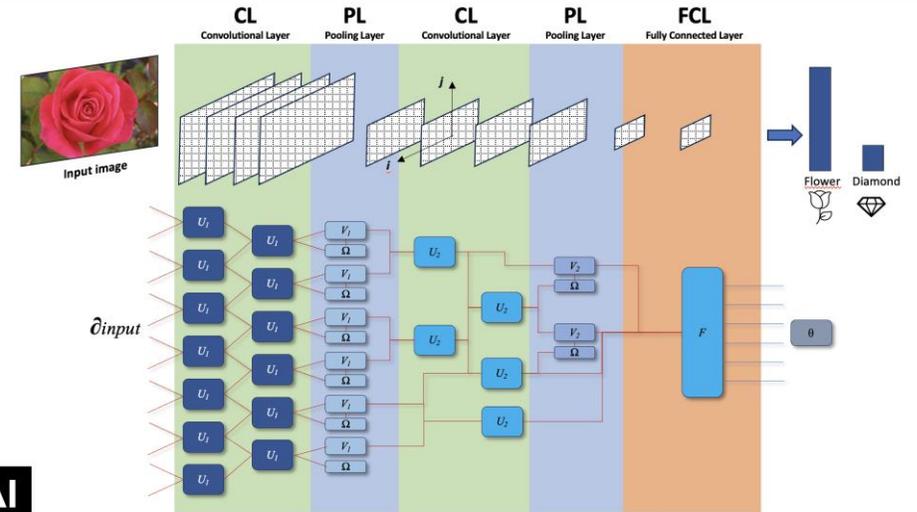
**Generative Quantum AI:** Generative Quantum AI refers to quantum algorithms that can generate new data samples.

**Quantum Image processing:** Quantum Image Processing involves the use of quantum algorithms to process and analyze images, potentially offering advantages over classical methods.

**Sequence data processing can already be tested in industry problems:** Quantum algorithms for sequence data processing have reached a level of maturity where they can be applied to real-world industrial problems.



## Quantum Convolutional Neural Network

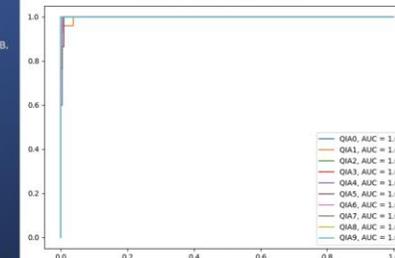


LITCOMP-IA  
ARTIFICIAL INTELLIGENCE LAB.

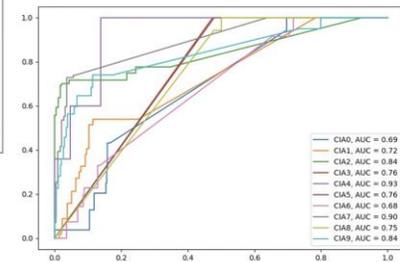
## QML Classification:

Refers to the use of quantum algorithms for classifying data.

### Quantum IA



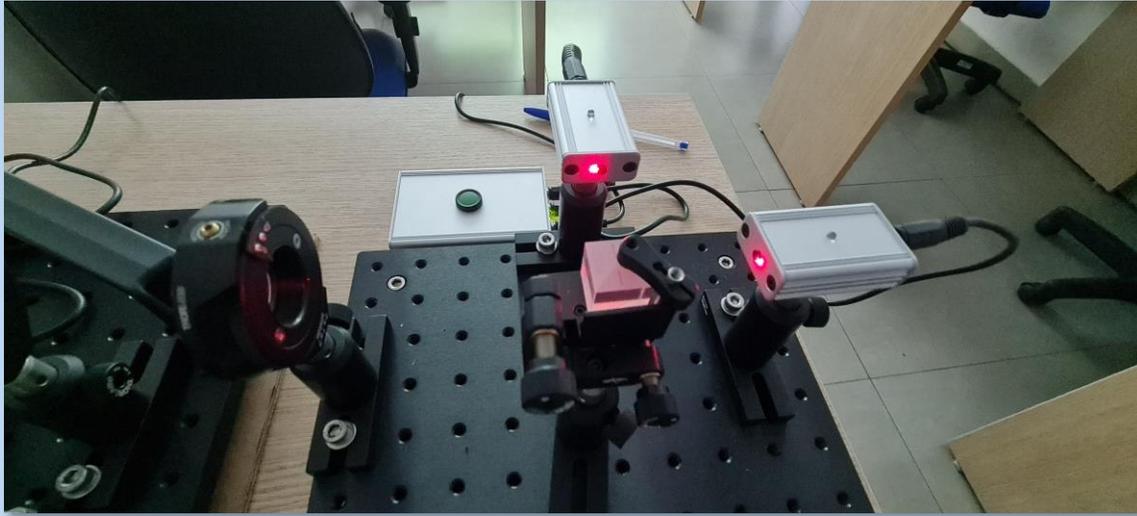
### Classical IA



### QML (Quantum Machine Learning) Classification

- This is similar to classical machine learning classification but utilizes the principles of quantum computing to potentially achieve quicker and more precise outcomes.

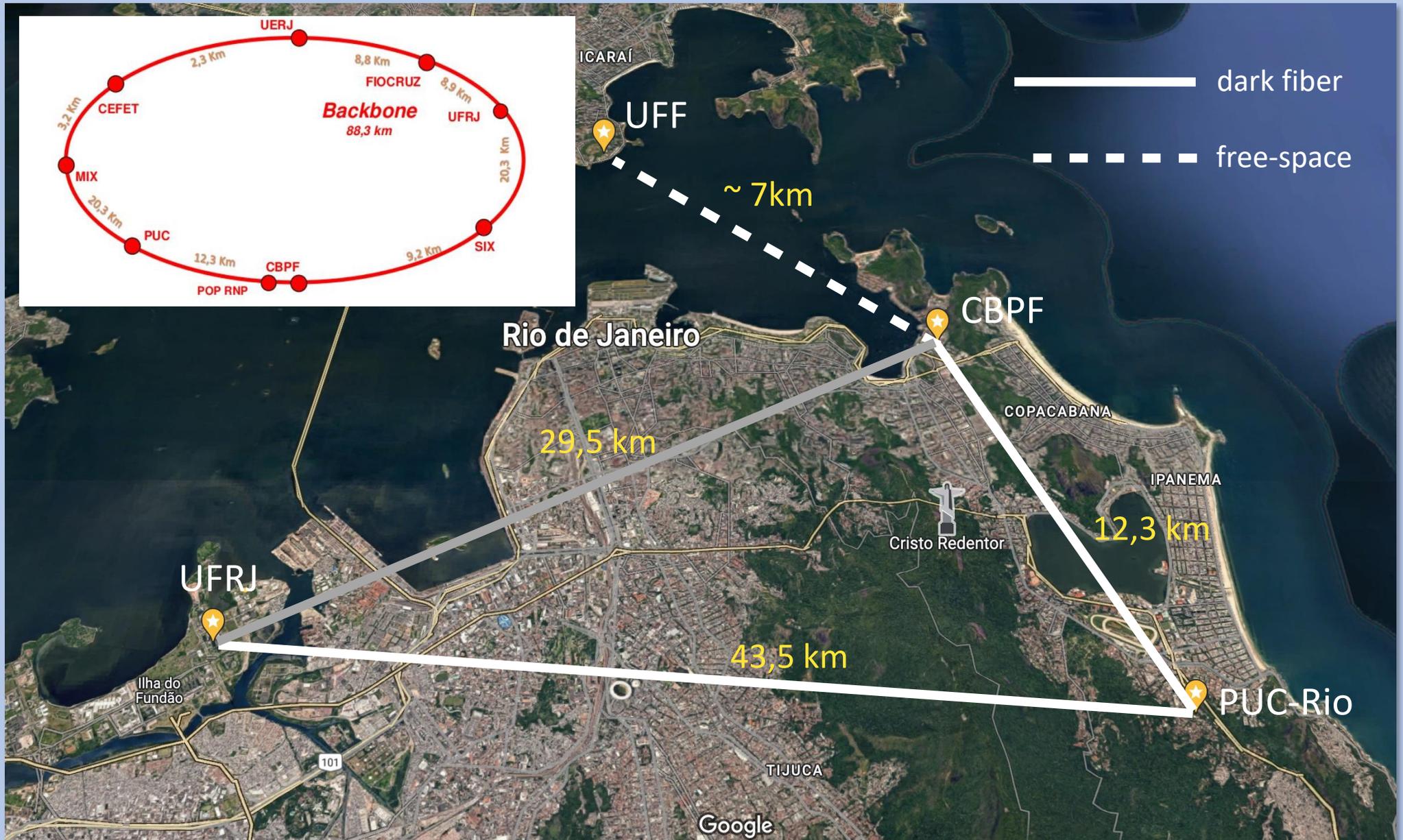
# CBPF: Mecânica Quântica Aplicada - MQA



# RedeRio Quântica - Objetivos

- Estabelecimento de uma **rede de criptografia quântica funcional** entre as 5 instituições parceiras, com desenvolvimento de **tecnologia própria**
- **Promover intercâmbio** de conhecimento entre instituições parceiras
- **Campo de provas (*testbed*)** que atenda demandas das ICTs, empresas e órgãos governamentais
- Integração a futuras **redes quânticas no Brasil** (Salvador, Recife, São Paulo, etc)
- Conexão à **Internet Quântica**
- *Desafios: pessoal, atração de empresas, fomento a startups, **políticas públicas específicas***

# Rede Rio Quântica - Topologia



# Rede Rio Quântica – Características

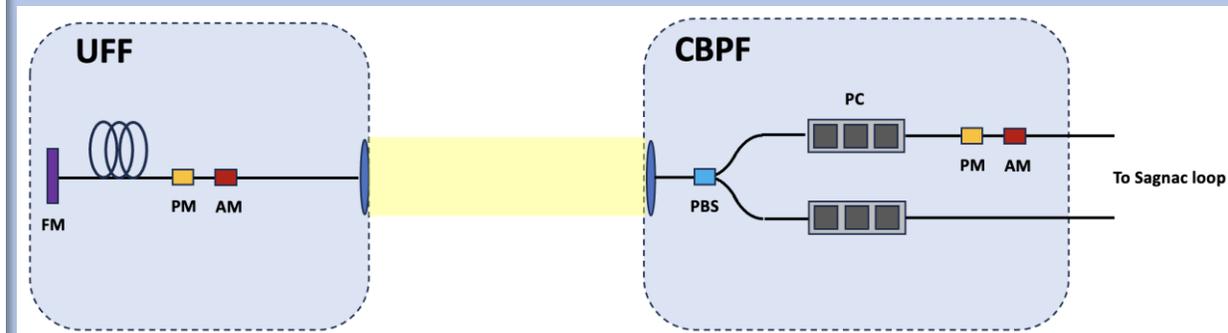
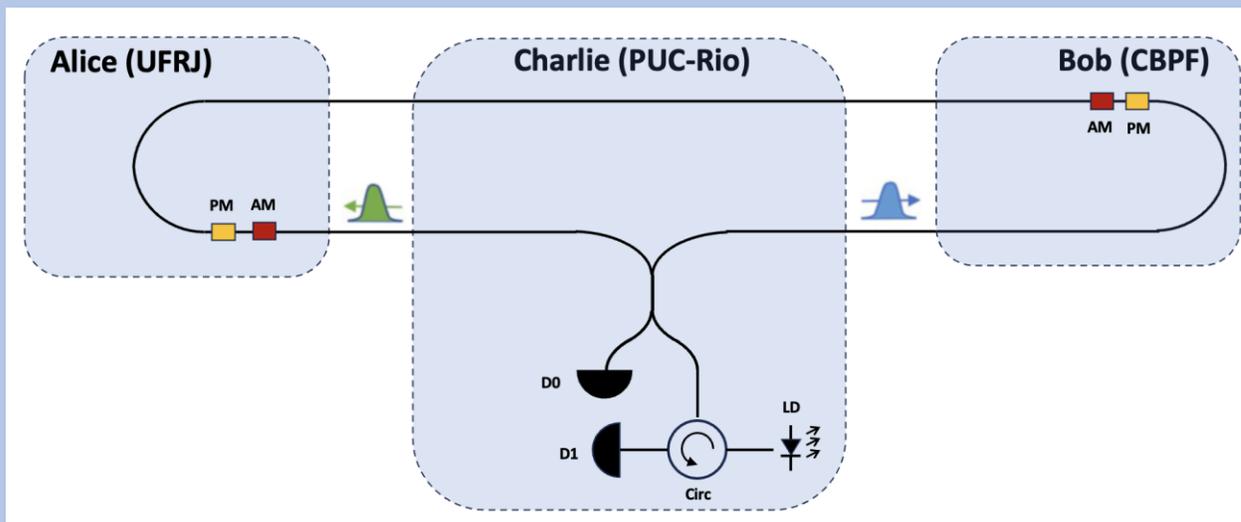
**Híbrida:** combina enlaces de **fibra óptica** e de **espaço livre**

**Ausência de nós confiáveis:** partes potencialmente adversárias

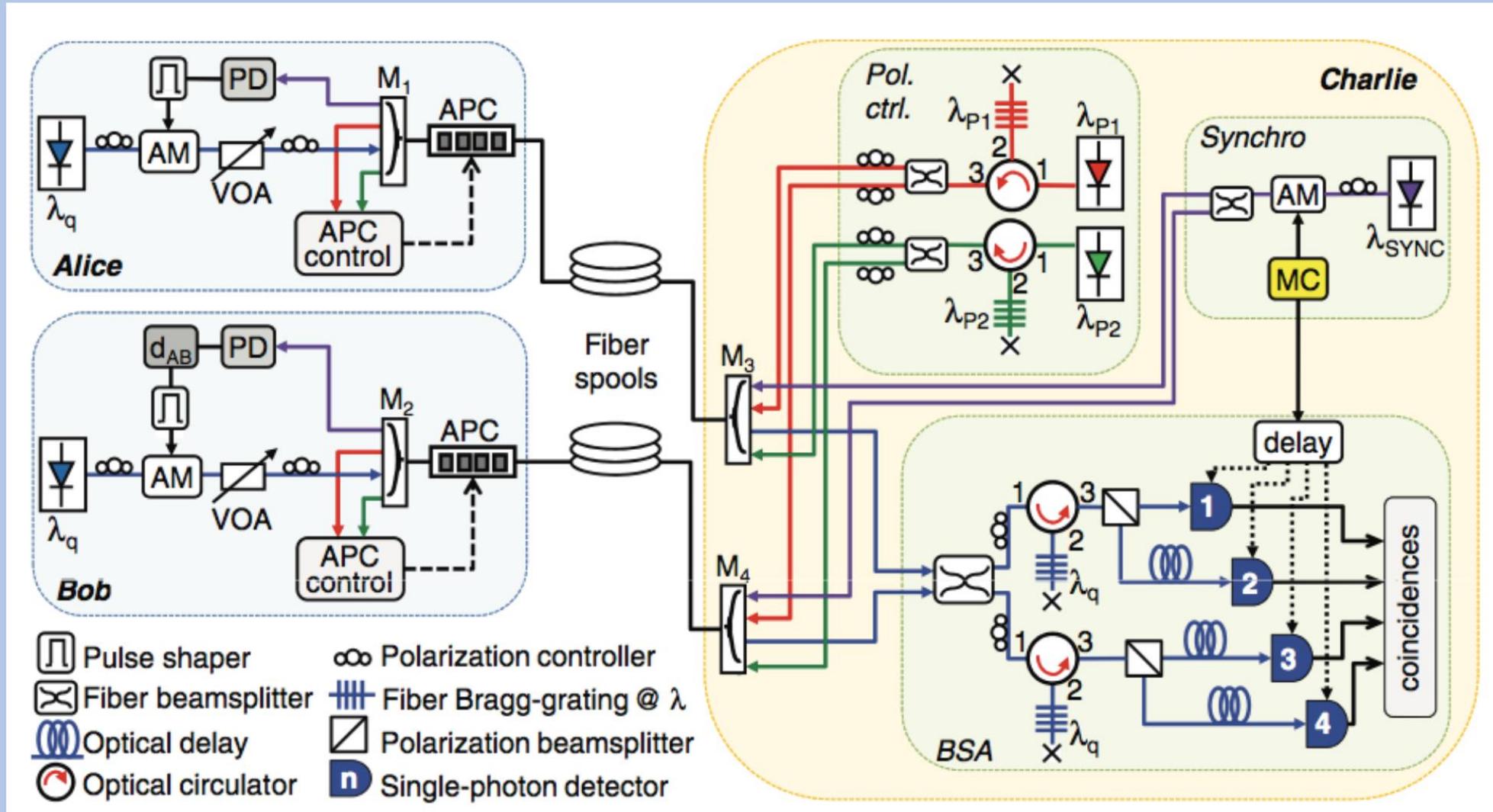
**Reconfigurável:** **papéis flexíveis** para cada nó; tamanho ajustável do interferômetro minimiza perdas

**Tecnologia nacional:** **sistemas desenvolvidos** no Brasil

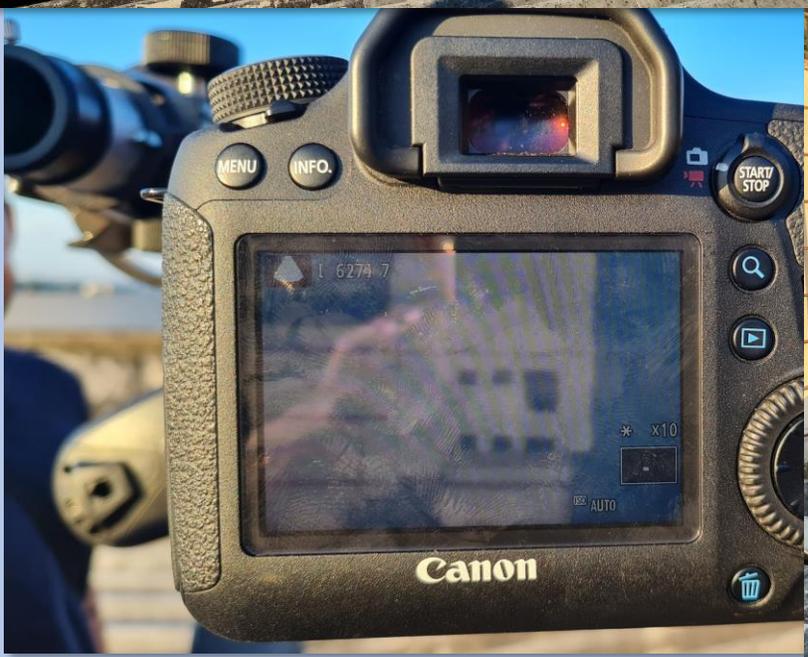
**Escalável:** adicionar **novos usuários e/ou protocolos** é relativamente simples



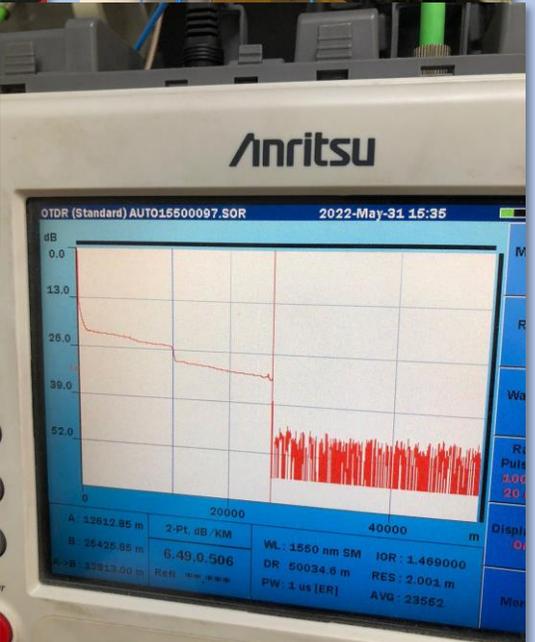
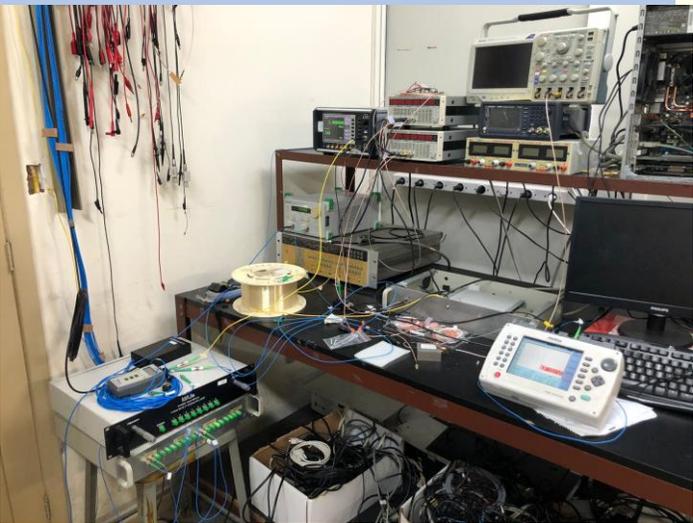
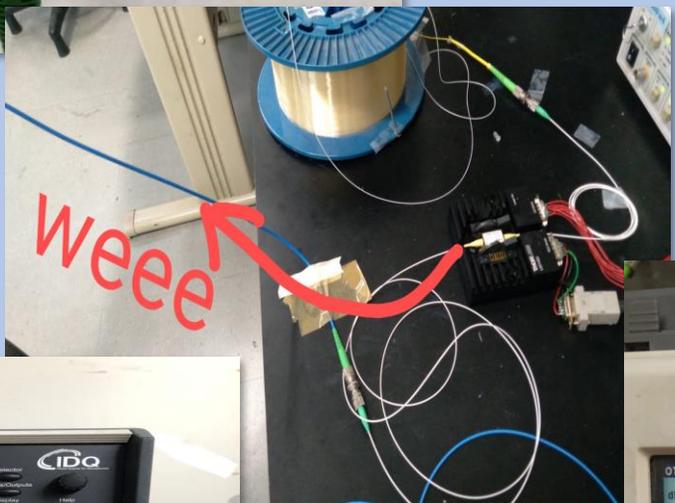
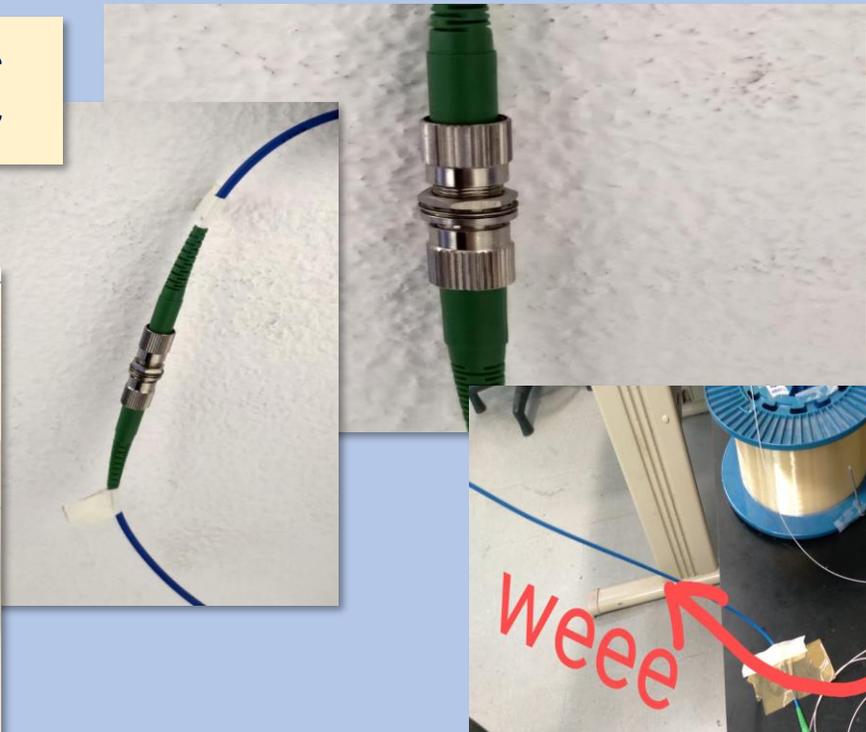
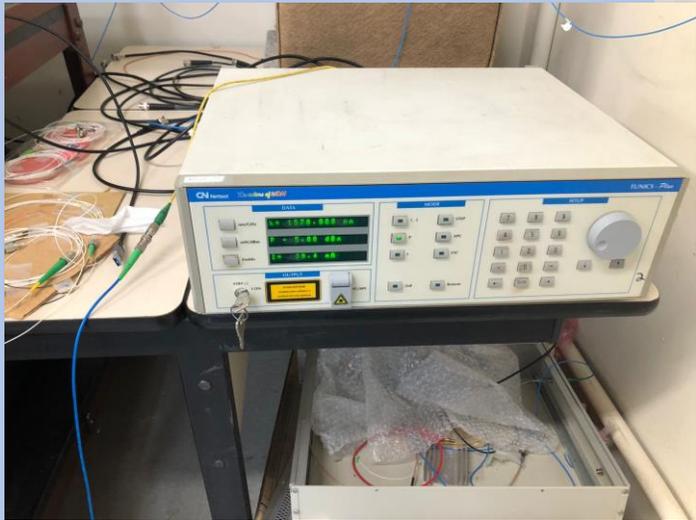
# Rede Rio Quântica - Topologia



# RRQ - Primeiros Passos



# RRQ - Lab PUC



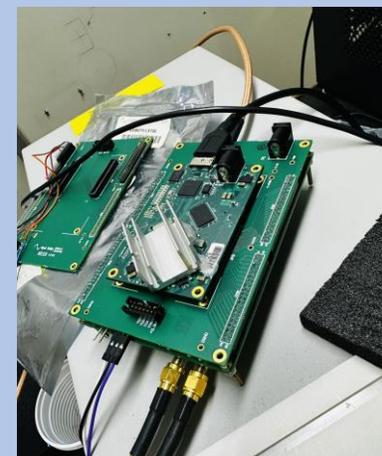
31/05/22 - Teste de estabilidade da polarização

# RRQ - Desenvolvimento

Detector *Single Photon*, utilizado para a leitura do QUBITS



FPGA para coleta de dados e controle dos moduladores de fase. Responsável por controlar a geração dos QUBITS.



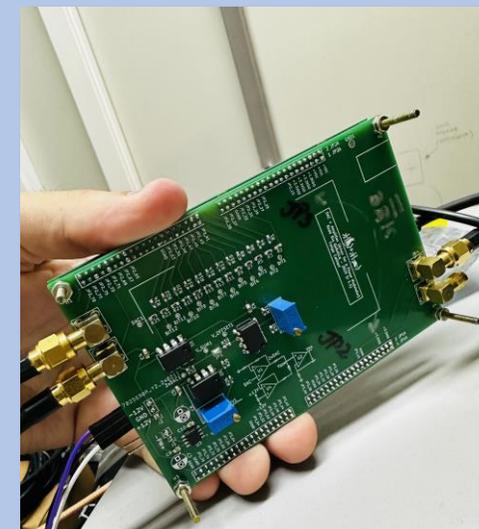
Montagem de parte de um sistema modulador de fase, controlador de polarização, *Beam Splitter* e atenuador óptico.



Fibra óptica para caracterização dos equipamentos e links com o CBPF.



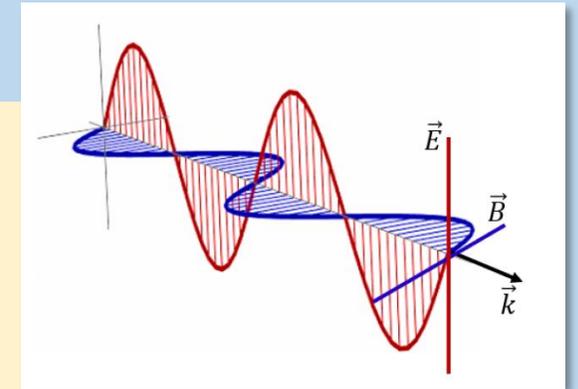
Hardware desenvolvido como interface para a FPGA controlar o modulador de fase.



# RRQ - Luz Estruturada

Termo usado para descrever os **diferentes graus de liberdade da luz**. Principais estruturas e dispositivos incluem:

- Frequência – Comprimento de Onda
- Polarização
- Coerência
- Perfil Tansverso (Spacial Light Modulator – **SLM**)



a) A luz branca incoerente contém ondas de diversas frequências (e comprimentos de onda) que estão fora de fase entre si.

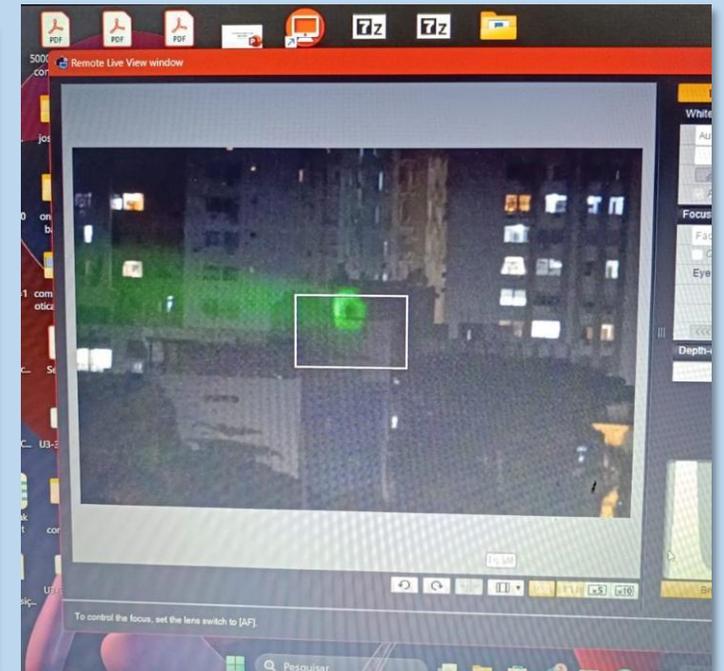
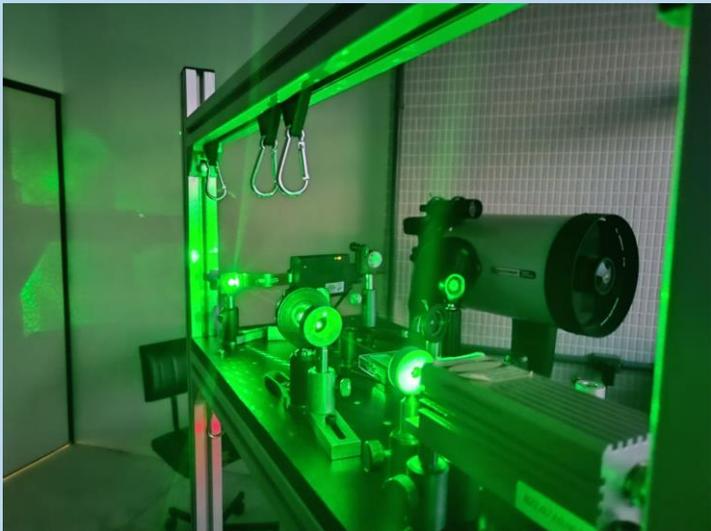
b) A luz de uma única frequência e um único comprimento de onda ainda contém uma mistura de fases.

c) A luz coerente: todas as ondas que a formam são idênticas e estão em fase.

Mode order N	Hermite-Gaussian ( $m, n$ )	Laguerre-Gaussian ( $l, p$ )
0	0,0	0,0
1	1,0    0,1	+1,0    -1,0
2	2,0    1,1    0,2	2,0    0,1    -2,0
3	3,0    2,1    1,2    0,3	3,0    1,1    -1,1    -3,0

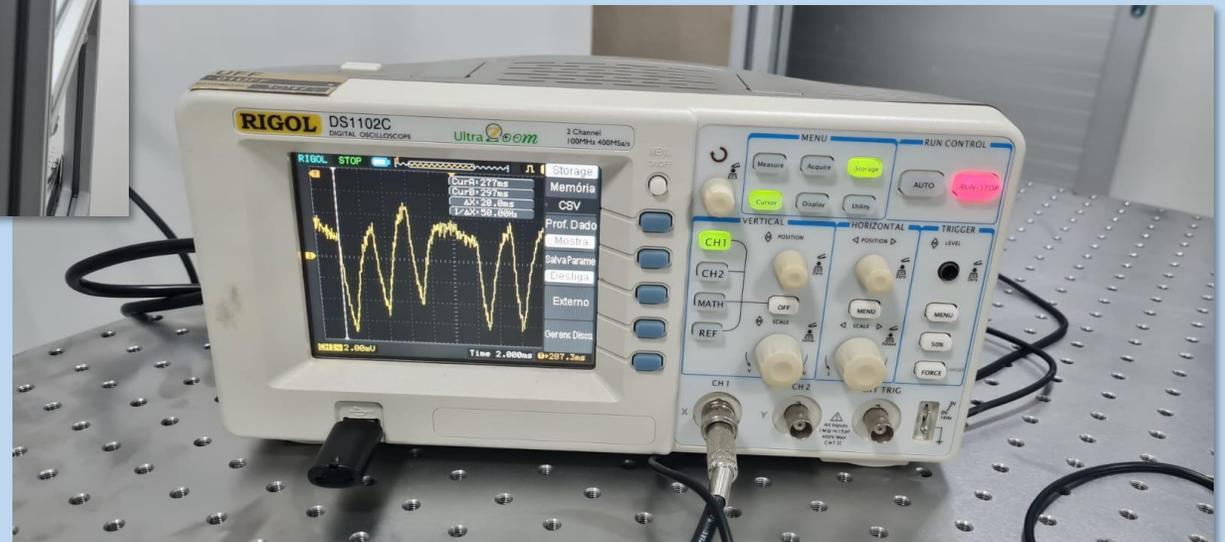
# RRQ - Free Space

Superposições de modos Laguerre-Gaussianos para codificar a informação. Enviamos o primeiro modo LG da UFF para o CBPF. Com o auxílio de um telescópio, pudemos observar o feixe atingindo a janela do CBPF !!



# RRQ - Free Space

Controlando frequência e polarização, transmitindo 0s e 1s da UFF e detectando no CBPF, 7km de *free space*.



# RRQ - Free Space

Controlando frequência e polarização, transmitindo 0s e 1s da UFF e detectando no CBPF, 7km de *free space*.



# RRQ - Modos Transversos em Comunicação

Grandes desafios surgem no reconhecimento dos modos, uma vez que os feixes são afetados pela turbulência. Para contornar isso, estamos trabalhando com o uso de redes neurais!

PHYSICAL REVIEW A **103**, 063704 (2021)

## Machine-learning recognition of light orbital-angular-momentum superpositions

B. Pinheiro da Silva <sup>1,\*</sup> B. A. D. Marques <sup>2,†</sup> R. B. Rodrigues <sup>1,‡</sup> P. H. Souto Ribeiro<sup>3,§</sup> and A. Z. Khoury<sup>1,¶</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense, 24210-346 Niterói, RJ, Brazil*

<sup>2</sup>*Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 26285-060 Nova Iguaçu, RJ,*

<sup>3</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 88040-900 Florianópolis, SC, Brazil*

 (Received 8 December 2020; accepted 25 May 2021; published 4 June 2021)

We develop a method to characterize arbitrary superpositions of light orbital angular momentum with high fidelity by using astigmatic transformation and machine-learning processing. In our method, to recognize a superposition unequivocally, we combine two intensity measurements. The first one is the input beam, which is invariant for positive and negative OAM components. The second one is an astigmatic transformation, which allows distinguishing between positive and negative OAM components. Samples of these image pairs are used to train a convolution neural network and the recognition of arbitrary OAM superpositions.

DOI: [10.1103/PhysRevA.103.063704](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.103.063704)

## Quantum tomography of structured light patterns from simple intensity measurements

M. Gil de Oliveira,<sup>1</sup> A. L. S. Santos Junior,<sup>1</sup> P. M. R. Lima,<sup>2</sup> A. C. Barbosa,<sup>1</sup> B. Pinheiro da Silva,<sup>1</sup> S. Pádua,<sup>2</sup> and A. Z. Khoury<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense, 24210-346 Niterói, RJ, Brazil*

<sup>2</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal de Minas Gerais, 31270-901 Belo Horizonte, MG, Brazil*

(Dated: April 9, 2024)

We study the tomography of spatial qudits encoded on structured light photons. While direct position measurements with cameras do not provide an informationally complete Positive Operator Valued Measure (POVM) in the space of fixed order modes, we complement this POVM with an astigmatic transformation. The enlarged POVM is informationally complete, allowing full characterization of the spatial quantum state from simple intensity measurements in both the intense and in the low photocount regimes. For intense light, the standard technique of linear inversion is used. For the low photocount regime, we employ Bayesian mean inference, and study how the quality of the tomographic reconstruction behaves as we increase the photocounts. In both cases, we also perform the tomography using a convolutional neural network, which displays an increased flexibility in exchange for a slightly lower quality reconstruction in some of the cases. These methods will be useful for classical and quantum communication with structured light.



**CBPF**



**UFRJ**



# Pesquisadores



**Antonio Z. Khoury**  
UFF



**Guilherme Temporão**  
PUC-Rio



**Fernando de Melo**  
CBPF



**Ivan S. Oliveira**  
CBPF



**Thiago Guerreiro**  
PUC-Rio



**Nilton Alves Jr**  
CBPF



**Gabriela Lemos**  
UFRJ



**Gabriel Aguillar**  
UFRJ



**Vitor Andrezo**  
IME

