

## PROJETO DE PESQUISA

Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF

Nome do Orientador e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista/Pós-doc):  
Rodrigo Arouca, COTEQ (Pesquisador)

Nome do pesquisador ou tecnologista e Instituição de Pesquisa Externa: (Coorientador ou Colaborador externo, se houver):

Nome do Supervisor e Coordenação: (Pesquisador/Tecnologista):

Título do Projeto: Introdução à matéria condensada por guias de onda

Palavra-chave: Simuladores quânticos, guias de onda, matéria condensada

Área de conhecimento: Fotônica, Materia Condensada

Pré-requisitos desejáveis (se houver): mecânica quântica, básico de programação

Pré-requisitos obrigatórios (se houver): álgebra linear

Possibilidade de orientação remota:

## PROJETO: (Máximo de 3 páginas)

A Física da Matéria Condensada constitui o estudo de materiais e as diferentes fases da matéria neles observados. Apesar de ser uma área extremamente rica, materiais reais são muito complexos. Ademais, há certos modelos com muito interesse teórico que não possuem realização em sólidos. Esses motivos levaram ao estudo de metamateriais que são materiais artificiais feito por demanda. Um tipo de metamaterial extremamente promissor são metamateriais fotônicos. Além deles apresentarem propriedades extraordinárias, como materiais com índice de refração negativa, há também certos de metamateriais que emulam de forma muito boa estruturas cristalinas, permitindo a simulação de sistemas de interesse.

Nesse contexto, sistemas de guia de ondas são especialmente apropriadas. A propagação de luz dentro delas obedece à Equação Paraxial que é análoga à Equação de Schrödinger com o campo elétrico fazendo o papel de função de onda, a direção de propagação na guia de onda o papel do tempo, o índice de refração e o momento fazendo o papel da massa e a diferença de índice de refração de um potencial. Dessa forma, fazendo o design do índice de refração (o que pode ser feito utilizando um laser em uma matriz), pode-se criar um sistema em um potencial periódico, emulando um sistema cristalino. Ademais, assumindo que o campo elétrico está muito confinado dentro da guia de onda, temos uma situação parecida com a aproximação *tight-binding* utilizada em física da matéria condensada. Como o controle do índice de refração é feito de forma local, há uma grande flexibilidade no tipo de rede a ser gerada, incluindo redes não-cristalinas. Ademais, pode se introduzir fluxos efetivos girando as guias de onda ou criar perdas controlando a potência do laser. Dessa forma, vários modelos interessantes, como o modelo de Haldane ou o modelo de Su-Schrieffer-Heeger não-Hermiteano, podem ser engenheirados nesses materiais.

## Objetivos

O principal objetivo desse projeto é aprender a simular esses sistemas de guias de onda e consequentemente, simular sistemas de física da matéria condensada desenvolvendo código próprio para tal. Com o avançar da iniciação, um objetivo mais avançado é entender o papel do formato das guias de ondas para a produção de efeitos multi-orbitais nesses sistemas.

## Formação

Nesse projeto, é esperado que se:

- Aprenda o básico de mecânica quântica (solução de poços de potencial e oscilador harmônico, introdução a segunda quantização, formalismo de Dirac) e física da matéria condensada e como abordar esses sistemas de forma analítica e computacional.
- Desenvolva de código próprio (usando linguagens como Python) para a simulação da equação paraxial e de um modelo *tight-binding* efetivo para a descrição de alguns sistemas simples.

- Escreva um resumo do projeto em LaTeX utilizando a plataforma Overleaf para treinar a escrita científica.
- Realize reuniões semanais ou bissemanais em que se tirarão dúvidas e que o progresso seja relatado.

## Referências

R. Shankar, *Principles of quantum mechanics*. Springer Science & Business Media, 2012.

Marvin L. Cohen and Steven G. Louie, *Fundamentals of condensed matter physics*, Cambridge University Press, 2016.

E. Slootman, W. Cherifi, W., et al, *Breaking and resurgence of symmetry in the non-Hermitian Su-Schrieffer-Heeger model in photonic waveguides*, *Physical Review Research*, 6, 023140, 2024.



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO

GOVERNO FEDERAL  
  
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO

GOVERNO FEDERAL  
  
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO

GOVERNO FEDERAL  
  
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO