
PROJETO DE PESQUISA

Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF

Nome do Orientador e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista/Pós-doc):
Davi Araujo Dalbuquerque Chaves - COMAN

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

Nome do Supervisor e Coordenação: (Pesquisador/Tecnologista):
Davi Araujo Dalbuquerque Chaves - COMAN

Título do Projeto:
Fabricação de circuitos supercondutores para tecnologias quânticas

Palavra-chave:
Tecnologias Quânticas, Supercondutividade, Nanofabricação

Área de conhecimento:
Eletromagnetismo, Matéria Condensada

Pré-requisitos desejáveis (se houver):
Eletromagnetismo, Laboratório de Matéria Condensada

Pré-requisitos obrigatórios (se houver):
A partir do 2º ano de graduação

Possibilidade de orientação remota:

Sim Não

Rio de Janeiro, 19 de agosto de 2025

PROJETO:

(Máximo de 3 páginas)

A proposta de pesquisa permitirá ao aluno ou aluna participar ativamente do desenvolvimento de dispositivos eletrônicos baseados nas propriedades de materiais supercondutores, que são fundamentais no desenvolvimento de tecnologias quânticas de segunda geração. No decorrer do projeto, serão desenvolvidas habilidades necessárias para entender, projetar, fabricar e, eventualmente, testar dispositivos supercondutores, inserindo o aluno ou aluna no contexto dos esforços do Laboratório de Tecnologias Quânticas do CBPF (QuantumTec).

A supercondutividade é um fenômeno quântico que se manifesta no mundo macroscópico e é caracterizado pelo transporte de correntes elétricas sem resistividade e pela expulsão do fluxo magnético do interior do material [1]. Hoje, graças ao aprimoramento de diferentes técnicas de nanofabricação, tornou-se viável explorar as interações físicas em supercondutores para desenvolver dispositivos em escalas micro e nanométricas que podem funcionar como análogos de elementos de circuitos clássicos ou, ainda, como novos componentes que exploram as propriedades quânticas singulares dessa classe de materiais [2-4]. Exemplos importantes dessas aplicações são as junções Josephson e os dispositivos supercondutores de interferometria quântica (ou SQUIDs), elementos fundamentais para a operação dos tipos mais populares de computadores quânticos [5]. Além disso, as plataformas de manipulação e leitura dos estados quânticos nesses computadores também se valem de circuitos supercondutores para implementar o que é conhecido como “eletrodinâmica quântica de circuito”, cQED [6]. A ideia deste projeto é permitir que o aluno ou aluna participante possa se familiarizar com todos esses conceitos enquanto projeta circuitos que serão utilizados para a fabricação de chips para tecnologias quânticas em desenvolvimento no CBPF.

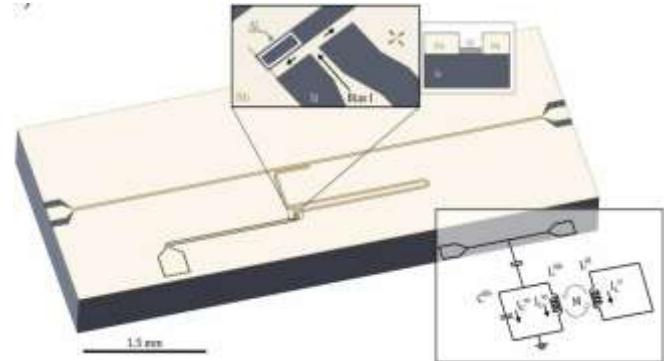


Figura 1: Representação de circuito supercondutor composto por um elemento de descontinuidade de fase (anel de Al), linhas de fluxo e guias de onda ressonante e de transmissão (em Nb) sobre substrato de Si. Retirado de [7].

Metodologia

Circuitos supercondutores empregados como plataformas para cQED precisam ser projetados levando em consideração aspectos dos materiais utilizados nos chips e as escalas de energias relevantes para os sistemas quânticos que serão manipulados, o que dita qual tipo de eletrônica está disponível nos aparelhos experimentais. Por isso, projetar tais circuitos envolve um trabalho inicial de simulação da resposta eletromagnética dos chips, o que será feito utilizando softwares como Qiskit Metal, HFSS ou COMSOL. Simultaneamente, possuir ou desenvolver boas habilidades com programação em Python irá ajudar a escrever rotinas para gerar os elementos de circuito que serão fabricados. Em particular, o aluno ou aluna utilizará a biblioteca gdspy em conjunto com o software KLayout.

Para a etapa que envolve a fabricação dos circuitos, será necessário realizar a deposição dos filmes finos metálicos supercondutores utilizando técnicas de *sputtering*. Então, este filme poderá ser processado usando as dependências e técnicas disponíveis no LABNANO/CBPF, incluindo etapas de litografia ótica ou assistida por feixe de elétrons. Todas as estruturas preparadas devem ser analisadas utilizando técnicas de microscopia eletrônica. Eventualmente, a depender do andamento do projeto, pode ser possível averiguar dentro do prazo proposto o comportamento supercondutor dos dispositivos.

Cronograma

O projeto tem previsão de 12 meses de duração. As atividades envolvidas são:

- **Mês 1 a 12:** Reuniões para discussão da bibliografia, metodologia e andamento do projeto. A frequência das reuniões deve variar dependendo do andamento das atividades – contudo, reuniões ocorrerão em um intervalo máximo quinzenal.
- **Mês 1 e 2:** Estudo dirigido dos conceitos físicos básicos necessários para a compreensão das atividades do projeto (noções básicas de supercondutividade, efeito Josephson, transmissão de sinais em guias de onda, cavidades ressonantes, etc.)
- **Mês 2 e 5:** Introdução aos softwares de desenho e simulação das estruturas dos circuitos supercondutores. Projeto dos circuitos de interesse.
- **Mês 6:** Estudo dirigido e demonstrações das técnicas de nanofabricação

necessárias para a fabricação dos circuitos.

- **Mês 7 a 10:** Nanofabricação, análise por microscopia e, eventualmente, medidas a baixas temperaturas do funcionamento dos elementos de circuito produzidos.
- **Mês 11 a 12:** Análise dos resultados, redação de relatório e preparação para apresentação.

Referências

- [1] Fernanda Ostermann e Paulo Pureur, “Supercondutvidade”, Editora Livraria da Física (2005)
- [2] S. Alam, M. S. Hossain, S. R. Srinivasa, e A. Aziz, “Cryogenic memory technologies”, *Nature Electronics* 6, 185 (2023)
- [3] S. Battisti, G. De Simoni, L. Chirolli, A. Braggio, e F. Giazotto, “Bipolar thermoelectric superconducting single-electron transistor”, *Physical Review Research* 6, L012022 (2024)
- [4] M. Kjaergaard, M. E. Schwartz, J. Braumüller, P. Krantz, J. I.-J. Wang, S. Gustavsson, e W. D. Oliver, “Superconducting qubits: Current state of play”, *Annual Review of Condensed Matter Physics* 11, 369 (2020)
- [5] P. Krantz, M. Kjaergaard, F. Yan, T. P. Orlando, S. Gustavsson e W. D. Oliver, “A quantum engineer’s guide to superconducting qubits”, *Applied Physics Reviews* 6, 021318 (2019)
- [6] A. Blais, A. L. Grimsmo, S. M. Girvin, e A. Wallraff, “Circuit quantum electrodynamics”, *Review of Modern Physics*, 93, 025005 (2021)
- [7] L. Nulens, D. A. D. Chaves, O. J. Y. Harb, J. E. Scheerder, L. N. K. Brahum, B. Raes, A. V. Silhanek, M. J. V. Bael, e J. V. de Vondel, “Noninvasive readout of the kinetic inductance of superconducting nanostructures”, *Nano Letters* 24, 11149 (2024)