
PROJETO DE PESQUISA

Programa de Iniciação Científica e Tecnológica– CBPF

Nome do Orientador e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista/Pós-doc):
Estefani Marchiori Dos Santos/Pesquisadora/COMAN

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

Nome do Supervisor e Coordenação: (Pesquisador/Tecnologista):
Estefani Marchiori Dos Santos/Pesquisadora/COMAN

Título do Projeto:
Caracterização das Propriedades Supercondutoras de Sensores Quânticos por meio de Plataforma de Aquisição e Análise de Dados

Palavra-chave: Supercondutividade, sensores, transporte elétrico, python.

Área de conhecimento: Física da Matéria Condensada

Pré-requisitos desejáveis (se houver): Experiência com linguagem Python

Pré-requisitos obrigatórios (se houver):

Possibilidade de orientação remota:

() Sim

(X) Não

Rio de Janeiro, 29 de Junho de 2026

PROJETO:

Caracterização das Propriedades Supercondutoras de Sensores Quânticos por meio de Plataforma de Aquisição e Análise de Dados

Resumo

As técnicas de imagem magnética permitem investigar propriedades de materiais que não podem ser acessadas por métodos convencionais de microscopia óptica ou topográfica. A utilização de sensores com elevada sensibilidade magnética e alta resolução espacial amplia significativamente a capacidade de explorar fenômenos fundamentais em materiais avançados. Entre esses sensores, destacam-se os nanoSQUIDS (dispositivos supercondutores de interferência quântica em escala nanométrica), capazes de detectar campos magnéticos extremamente baixos, tornando-os promissores para aplicações em microscopia magnética de alta resolução.

Atualmente em desenvolvimento no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), esses dispositivos requerem uma caracterização detalhada de suas propriedades supercondutoras para otimizar seu desempenho, sensibilidade e resolução espacial. Nesse contexto, este projeto tem como objetivo desenvolver uma plataforma automatizada em Python para aquisição, processamento e análise de dados de transporte elétrico, integrando a comunicação entre os equipamentos experimentais e a extração de parâmetros físicos relevantes, como temperatura crítica, corrente crítica e resposta ao campo magnético. Esses resultados contribuirão para a caracterização e otimização dos nanoSQUIDS em desenvolvimento.

Ao longo do projeto, o/a estudante aprenderá as técnicas experimentais e computacionais empregadas na caracterização de dispositivos supercondutores, estudará os conceitos fundamentais de física do estado sólido relacionados à supercondutividade e desenvolverá atividades de programação, automação experimental e análise de dados, sob orientação contínua da supervisora.

Introdução

Sensores do tipo nanoSQUID (Superconducting Quantum Interference Devices em escala nanométrica) destacam-se por sua altíssima sensibilidade à detecção de campos magnéticos, decorrente da quantização do fluxo magnético em seu loop supercondutor [1,2]. Essa característica torna esses dispositivos ferramentas de grande relevância para microscopia magnética por varredura, permitindo obter imagens de alta resolução espacial do contraste magnético associado tanto a materiais magnéticos quanto à distribuição de correntes elétricas em escalas micro e nanométricas [3]. Dessa forma, nanoSQUIDS constituem uma plataforma estratégica para a investigação de fenômenos fundamentais em materiais quânticos e dispositivos nanoestruturados.

A fabricação desses sensores requer a definição do loop supercondutor com dimensões nanométricas, frequentemente realizada por microscopia de feixe de íons focalizados (Focused Ion Beam – FIB) [4,5]. Embora essa técnica ofereça elevada precisão na nanofabricação, a implantação de íons e os danos estruturais induzidos pelo feixe podem modificar significativamente as propriedades supercondutoras do dispositivo, afetando diretamente seu desempenho, sensibilidade e resolução espacial. A compreensão quantitativa desses efeitos é, portanto, fundamental para o aprimoramento dos sensores.

Nesse contexto, a caracterização elétrica do loop supercondutor por medidas de transporte em baixas temperaturas constitui uma ferramenta essencial para correlacionar as modificações estruturais induzidas pelo FIB com as propriedades supercondutoras do dispositivo. Parâmetros como corrente crítica, indutância, capacitância efetiva, histerese e assimetrias do loop fornecem

informações importantes para a otimização dos sensores nanoSQUIDS.

Como parte deste projeto, será desenvolvida uma plataforma automatizada em Python para aquisição, controle e análise de dados de transporte elétrico, integrando a comunicação entre os equipamentos experimentais, a execução automatizada das medidas e o processamento dos resultados. A plataforma permitirá a extração sistemática dos parâmetros físicos relevantes para a caracterização dos sensores, contribuindo para o desenvolvimento e otimização de nanoSQUIDS destinados à microscopia magnética de alta resolução.

Objetivos

- Desenvolver uma plataforma em Python para comunicação, controle dos equipamentos experimentais e aquisição automatizada de dados de transporte elétrico.
- Implementar rotinas de processamento e análise de dados, incluindo visualização dos resultados e extração automatizada de parâmetros físicos relevantes.
- Realizar a caracterização elétrica de dispositivos nanoSQUID por medidas de transporte em baixas temperaturas e sob campo magnético aplicado.
- Determinar parâmetros supercondutores dos dispositivos, como corrente crítica, resposta ao campo magnético, indutância, capacitância efetiva, histerese e assimetrias do loop supercondutor.
- Correlacionar os parâmetros experimentais com o desempenho dos nanoSQUIDS, contribuindo para a compreensão dos efeitos da nanofabricação e para a otimização dos sensores.
- Capacitar o/a estudante em programação científica, automação de instrumentação, caracterização experimental de dispositivos supercondutores e fundamentos de física do estado sólido relacionados ao projeto.

Métodos

As propriedades elétricas dos sensores serão caracterizadas por medidas de transporte em baixas temperaturas, utilizando o refrigerador ADR no laboratório de supercondutividade.

Será desenvolvida uma plataforma em Python para automação das medidas de transporte elétrico em dispositivos nanoSQUID. Inicialmente, será implementada a comunicação entre os equipamentos de instrumentação por meio das interfaces disponíveis, utilizando o amplificador MFLI da empresa Zurich Instruments instalado no laboratório de supercondutividade.

As rotinas desenvolvidas permitirão o controle automatizado dos experimentos, aquisição e armazenamento dos dados, além do processamento e visualização dos resultados.

A plataforma será validada por meio da caracterização elétrica de nanoSQUIDS em baixas temperaturas e sob campo magnético aplicado, utilizando o refrigerador ADR, disponível no laboratório de supercondutividade. Serão realizadas medidas de transporte elétrico para obtenção das propriedades supercondutoras dos dispositivos.

Os dados experimentais serão analisados por scripts em Python, permitindo a extração de parâmetros relevantes, como corrente crítica, resposta ao campo magnético, indutância, capacitância efetiva, histerese e assimetrias do loop supercondutor. Os resultados serão utilizados para compreender a física dos sensores SQUID, avaliar desempenho e contribuir para a otimização dos sensores.

Cronograma

Atividades	M1- M2	M3- M4	M5- M6	M7- M8	M9- M10	M11- M12
1. Estudo bibliográfico sobre supercondutividade, nanoSQUIDS e técnicas experimentais						
2. Desenvolvimento da comunicação entre os equipamentos e implementação da plataforma de aquisição em Python						

3. Desenvolvimento das rotinas de processamento e análise dos dados em Python						
4. Realização das medidas de transporte elétrico e validação da plataforma						
5. Análise dos resultados, extração dos parâmetros físicos e interpretação dos dados						
6. Elaboração de relatório, apresentação dos resultados e redação de trabalho científico						

Referencias

- [1] D. Vasyukov et al., Nature Nanotechnology 8, 639–644 (2013);
- [2] D. Halbertal et al., Nature 1–4 (2016);
- [3] E. Marchiori et al., Nature Review Physics 4, 49 (2022);
- [4] M. Wyss et al., Phys. Rev. Appl. 17, 034002 (2022);
- [5] T. Webber et al., Phys. Rev. Appl. 24, 054041 (2025);
- [6] Clarke, J., & Braginski, A. I., “The SQUID Handbook (vol I.)”, Wiley-VCH (2006);
- [7] M Tinkham, “Introduction to Superconductivity,” McGraw Hill, New York, (1975).