

COMPORTAMENTO DA IRREVERSIBILIDADE MAGNÉTICA EM SUPERCONDUTORES DE $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ TEXTURIZADO MEDIANTE CAMPOS MAGNÉTICOS PULSADOS

JAKELINE RABELO LIMA¹, FÁBIO TEIXEIRA DIAS¹, VALDEMAR DAS NEVES
VIEIRA¹; FREDERIK WOLF-FABRIS², ERIK KAMPERT²; JOAN JOSEP ROA
ROVIRA³

¹Instituto de Física e Matemática, Universidade Federal de Pelotas –
jakelinerabelo07@hotmail.com

²Dresden High Magnetic Field Laboratory, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

³Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Universitat Politècnica de
Catalunya

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho estamos investigando o comportamento magnético em amostras texturizadas do supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ mediante campos magnéticos pulsados, através do estudo da linha de irreversibilidade magnética.

Em supercondutores homogêneos a linha de irreversibilidade magnética divide o estado misto do supercondutor do tipo II no diagrama H-T, em um estado denominado líquido de vórtices e outro denominado sólido de vórtices. Acima desta linha existe resistência a passagem de corrente elétrica, pois os vórtices se movimentam livremente nessa região. Abaixo desta linha os vórtices têm sua mobilidade diminuída, em razão das forças de aprisionamento, e uma corrente definida pode percorrer a amostra sem resistência elétrica (VIEIRA, 2004).

A linha de irreversibilidade magnética pode ser determinada através de resultados experimentais de momento magnético em função da temperatura, segundo os procedimentos ZFC (Zero Field Cooled) e FC (Field Cooled). A temperatura de irreversibilidade magnética (T_{irr}) é determinada na região em que ocorre a divergência das medidas dos procedimentos ZFC e FC (PUREUR et al. 1988).

Em supercondutores granulares a irreversibilidade magnética depende de *clusters* de grãos bem acoplados e a resistividade nula pode ser obtida somente em temperaturas abaixo do limite de irreversibilidade.

Existem vários modelos teóricos para descrever a linha de irreversibilidade magnética, dentre os quais destacam-se: flux creep gigante, vidro supercondutor, fusão da rede de vórtices, vidro de vórtices e vidro de Bose.

Com este estudo, pretende-se fazer um mapeamento detalhado dos efeitos do campo magnético na transição supercondutora magnetização com campos intensos (~60 T).

2. METODOLOGIA

2.1. CRESCIMENTO DA AMOSTRA

A amostra foi cedida pelo Departamento de Ciência dos Materiais e Engenharia Metalúrgica da Universidade de Barcelona e crescida mediante a técnica Bridgman.

A amostra precursora de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ foi preparada inicialmente por uma reação de estado sólido tendo óxido de ítrio (Y_2O_3), carbonato de bário (BaCO_3) e óxido de cobre (CuO), sendo misturados na proporção 1Y:2Ba:3Cu. 30% em peso da Y211 foi adicionada.

2.2. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTOS

As medidas magnéticas com a aplicação de campos magnéticos pulsados, foram realizadas no *Dresden High Magnetic Field Laboratory*.

As medidas magnéticas foram feitas utilizando-se um magnetômetro, com uma amostra de dimensões $1,0 \times 2,0 \times 3,0 \text{ mm}^3$. A utilização do magnetômetro permite medir o momento magnético em função do pulso de campo magnético em temperatura fixa. O magnetômetro utilizado é alimentado por um banco de capacitores composto por vinte módulos, com energia variando de 0,9 a 2,9 MJ, com isso é possível aplicar pulsos de campo magnético de até 100T, porém, para as medidas realizadas neste trabalho a aplicação máxima de pulso foi em torno de 60 T. Foram aplicados pulsos de campo magnético em diferentes temperaturas.

A caracterização morfológica foi realizada no Centro de Microscopia eletrônica do Sul (CEME - Sul), da Universidade Federal de Rio Grande (FURG). A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi feita para investigar a estrutura cristalográfica da amostra e a distribuição dos grãos da fase Y211. Com a utilização do MEV também foi feita uma análise através de EDS (Energy Dispersive Spectroscopy).

2.3. DETERMINAÇÃO DE H_{irr}

As medidas magnéticas foram feitas com aplicação de campos magnéticos pulsados paralelo ao plano ab e paralelo ao eixo c. Os campos de irreversibilidade magnética (H_{irr}) foram determinados através das medidas (momento magnético em função do pulso de campo magnético aplicado em temperatura fixa) que correspondem a uma medida de histerese magnética. A Figura 1 ilustra uma medida de histerese, onde observa-se que na região de campo em que as curvas divergem é determinado o campo de irreversibilidade magnética, correspondente a temperatura do experimento.

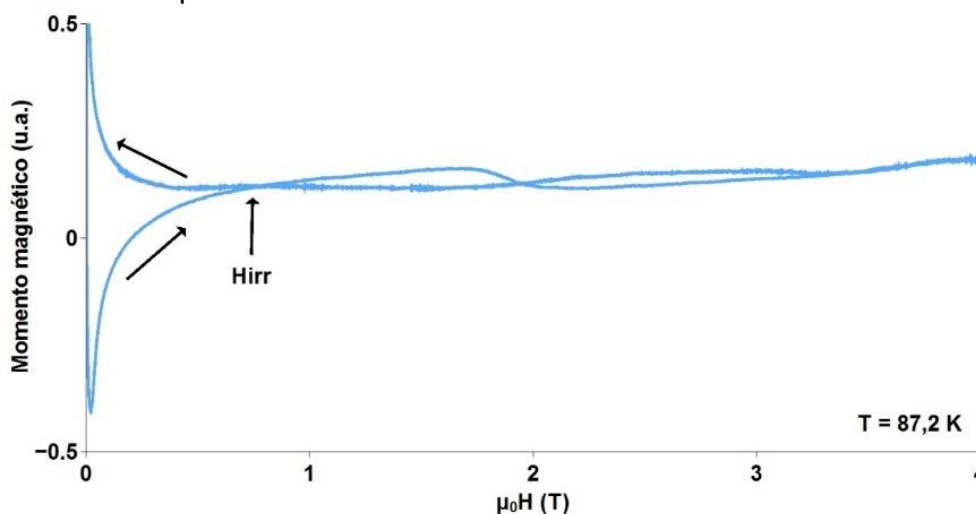


Figura 1 – Ilustração da determinação do campo de irreversibilidade magnética.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

A Figura 2 (a) mostra que o material sofreu um processo de clivagem, muito comum em amostras texturizadas, devido ao empilhamento de placas supercondutoras. Na Figura 2 (b) é possível observar as placas supercondutoras empilhadas ao longo do eixo c, característico de uma amostra texturizada. Na imagem de microscopia eletrônica de varredura, da Figura 2 (c) verifica-se a presença de pontos claros possivelmente correspondentes a fase Y211, distribuídos na matriz supercondutora Y123, e na Figura 2 (d) vemos que o tamanho médio dos grãos é da ordem de $5 \mu\text{m}$.

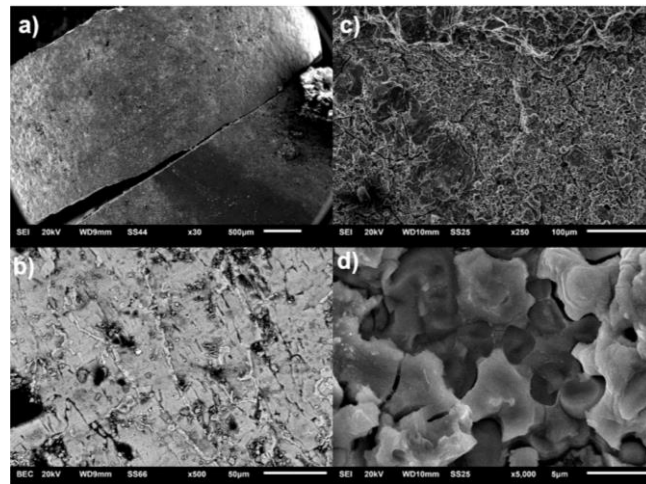


Figura 2 – Imagens de microscopia eletrônica de varredura para amostra de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

3.2. ENERGIA DISPERSIVA ESPECTROSCOPIA

A análise na região 1 foi feita em cima de um grão supercondutor, onde através do espectro de EDS observamos os elementos pertencentes a amostra conforme o esperado. A análise na região 2 foi feita em cima de um dos pontos claros do material, como mostra a Figura 3, pois suspeitava se tratar de uma possível contaminação na amostra, porém, o EDS mostrou que os elementos pertencentes correspondem aos elementos esperados, provavelmente à fase Y211. A Figura 4 mostra o EDS da (a) região 1 e (b) da região 2.

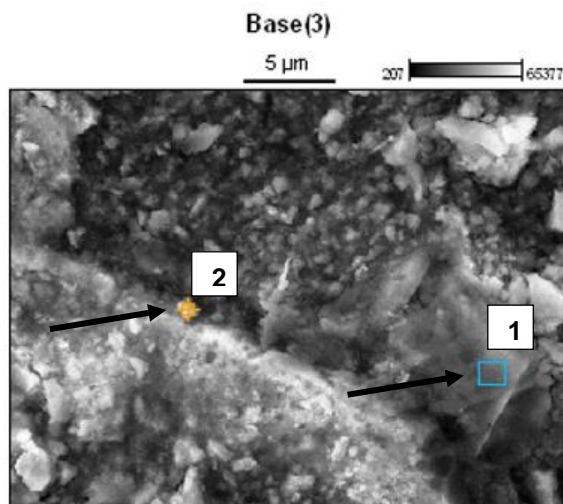


Figura 3 – Imagem de microscopia eletrônica de varredura para amostra de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

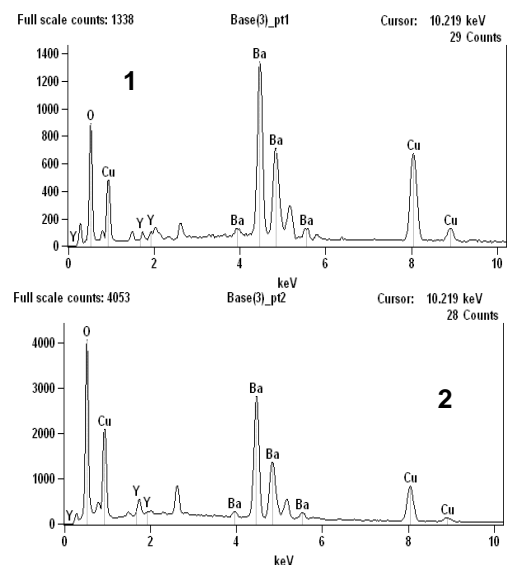


Figura 4 – Espectro EDS da amostra de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

3.3. MEDIDAS MAGNÉTICAS

Os resultados das linhas de irreversibilidade magnética para as aplicações de campo magnético paralelo ao plano de condução e ao longo do eixo c, evidenciam o forte caráter anisotrópico da amostra. A diferença encontrada se dá devido a estrutura de vórtices ser diferente em diferentes aplicações de campo magnético (JIN et al. 1991; VINOKUR et al. 1991). A anisotropia mostrada na Figura 5 é uma característica dos supercondutores de alta temperatura crítica.

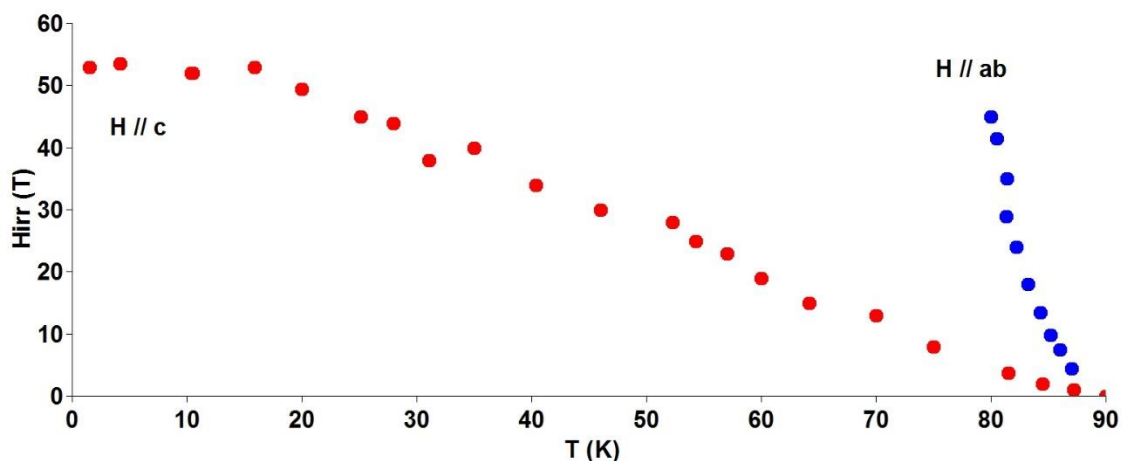


Figura 5 – Comparação da linha de irreversibilidade para H//c e H//ab.

4. CONCLUSÕES

Os valores mais elevados encontrados para a temperatura de irreversibilidade com H//ab se justificam pelo efeito do *pinning* ser mais eficaz nessa configuração (o efeito dissipativo dos vórtices é menor), e por esse motivo temos um alargamento da região irreversível para H//ab. Para H//c temos uma região maior de vórtices livres, já que o efeito de pinning não é tão eficaz (o efeito dissipativo dos vórtices é maior), consequentemente temos menores valor para a temperatura de irreversibilidade para essa configuração de campo magnético.

O próximo passo do trabalho será continuar as análises de medidas magnéticas, tendo como base o ajuste matemático de acordo com modelos teóricos que explicam o comportamento da linha de irreversibilidade magnética, além de analisar os dados de medidas de transporte elétrico levando em conta diferentes configurações de campo magnético e corrente elétrica, e ao final correlacionar a irreversibilidade magnética com a temperatura de resistência zero.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VIEIRA, V. N. **Efeitos das substituições químicas na irreversibilidade magnética e magnetocondutividade do supercondutor YBa₂Cu₃O_{7-x}**.2011. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PUREUR, P. et al. Breaking of ergodicity in high-T_c superconductor YBa₂Cu₃O₇. **Solid State Communications**, Oxford, v. 66, n. 9, p. 931-935, 1988.

JIN, S. et al. Critical currents and magnetization in c-axis textured Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O superconductors. **Applied Physics Letters**, Woodbury, v. 58, n. 8, p. 868-870, 1991.

VINOKUR, V. M.; KES, P. H.; KOSHELEV, A. E. Flux pinning and creep in the very anisotropic high temperature superconductors. **Physica C**, Amsterdam, v. 168, n. 1/2, p. 29-39, 1990.