

## COMPORTAMENTO IRREVERSÍVEL DA MAGNETIZAÇÃO DO $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ TEXTURIZADO

**ROLANDO MARTIN NOA MENDOZA**<sup>1</sup>; VALDEMAR DAS NEVES VIEIRA<sup>2</sup>;  
DOUGLAS LANGIE DA SILVA<sup>3</sup>; JOAN JOSEP ROA ROVIRA<sup>4</sup>; FREDERIK WOLFF-  
FABRIS<sup>5</sup>; FABIO TEIXEIRA DIAS<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [martines\\_rmn@hotmail.com](mailto:martines_rmn@hotmail.com)

<sup>2,3</sup>Universidade Federal de Pelotas

<sup>4</sup>Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Espanha

<sup>5</sup>Dresden High Magnetic Field Laboratory, Dresden, Alemanha

<sup>6</sup>Universidade Federal de Pelotas – [diasft@gmail.com](mailto:diasft@gmail.com)

### INTRODUÇÃO

O estado misto dos supercondutores de alta temperatura crítica mostra características pouco comuns com respeito aos supercondutores convencionais, para os primeiros existe uma linha de irreversibilidade magnética (LIM) que divide o diagrama de fase H-T, em duas regiões; uma sólida, onde os vórtices estão imóveis (ou região irreversível) e outra líquida (ou região reversível) onde os vórtices se podem movimentar livremente, gerando dissipação. Outra característica que apresentam é uma acentuada anisotropia entre plano *ab* e eixo-*c*, ou seja, a estrutura do vórtice para H//*c* assume a forma de um empilhamento de vórtices panquecas bidimensionais confinados nos planos de Cu-O<sub>2</sub> fracamente acoplados, já para H//*ab* os vórtices irão localizar-se nas camadas isolantes.

Existe muitos modelos para interpretar a linha de irreversibilidade magnética, uma das possíveis interpretações para a existência de uma LIM nos supercondutores de alta temperatura crítica, é dada por o modelo de "flux creep" gigante fundamenta-se nos efeitos de ativação térmica na rede de vórtices de Abrikosov sob a ação de uma força motora e interpreta a LIM como sendo uma linha crítica do "flux creep" convencional ou seja, a LIM representaria um "crossover" entre uma região de "flux flow" de comportamento magnético reversível de uma região de comportamento magnético irreversível onde os efeitos de ativação térmica dos vórtices são predominantes.

O objetivo deste trabalho é determinar a linha de irreversibilidade magnética através de medidas de magnetização dc para diferentes valores de campo magnético seguindo as prescrições ZFC (*Zero Field Cooling*) e FC (*Field Cooling*).

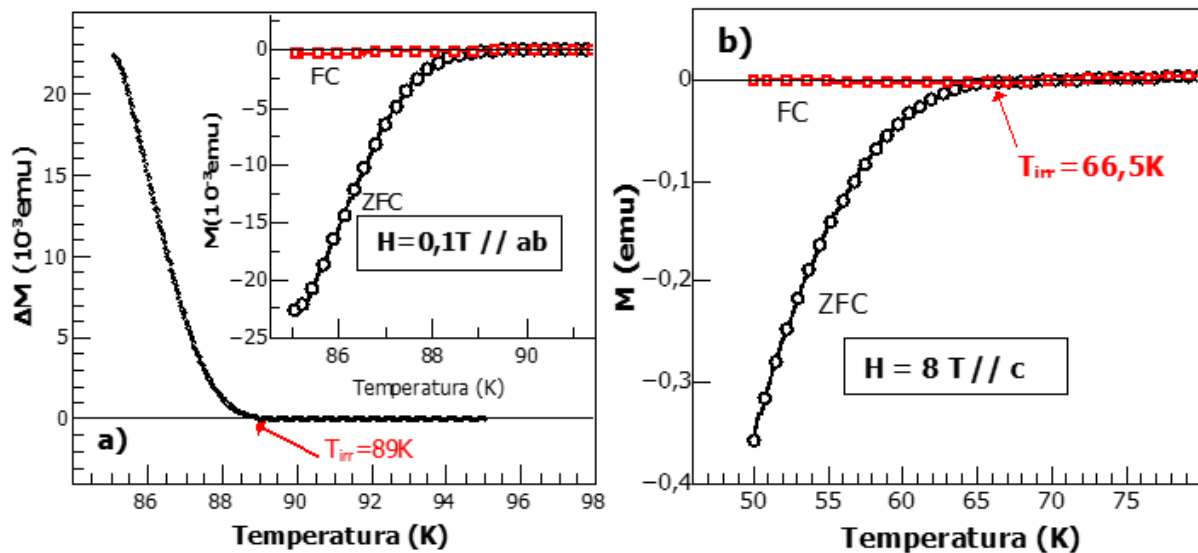
### 1. METODOLOGIA

Para este trabalho foi utilizada uma amostra de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  texturizado, a qual foi crescida mediante as técnicas *top seeding*. Esta amostra foi cedida em caráter de colaboração com o Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería da universidade de Barcelona – Espanha. As medidas de magnetização dc foram obtidas através de um equipamento tipo PPMS (Physical Properties Measurement System) as quais foram realizadas no Dresden High Magnetic Field Laboratory, em Dresden na Alemanha.

As medidas de magnetização dc em função da temperatura foram realizadas para valores de campos magnéticos entre 0,1T a 14T aplicados ao longo do plano *ab* e eixo-c.

Para o procedimento ZFC parte-se de uma temperatura acima da temperatura crítica ( $T_c$ ), e a amostra é resfriada em campo magnético nulo até baixas temperaturas. Depois se aplica o campo magnético desejado e durante o aquecimento lento da amostra mede-se o momento magnético até um valor acima de  $T_c$ .

Em seguida, sem efetuar qualquer ajuste no equipamento, dá-se início ao procedimento FC, ou seja, a amostra volta a ser resfriada lentamente, só que agora sob a ação do campo magnético aplicado. Durante este resfriamento lento, a magnetização é registrada pelo computador.



**Figura 1 (a)** Diferença das curvas FC e ZFC representada por  $\Delta M$  a figura menor mostra as medidas do momento magnético ZFC e FC para  $H = 0,1 \text{ T} // ab$ . **(b)** Medida do momento magnético ZFC e FC para  $H = 8 \text{ T} // c$ .

A partir deste procedimento o valor da temperatura de irreversibilidade  $T_{irr}$  pode ser obtido fazendo a análise das curvas de  $\Delta M = FC - ZFC$ , como na Figura 1(a), onde se observa diretamente o ponto que ocorre a separação das curvas ZFC e FC. A Figura 1(b) apresenta um par de curvas ZFC e FC com  $H // c$  e a respectiva temperatura de irreversibilidade para o campo de 8 T.

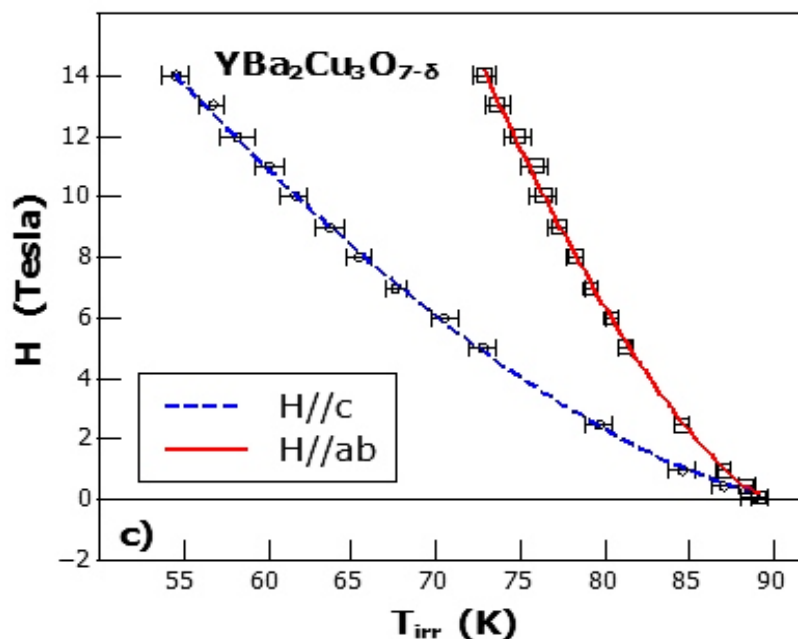
Para representar a linha de irreversibilidade utilizou-se distintos valores de campo magnético aplicados ao longo do plano *ab* e do eixo-c na amostra. Para cada campo corresponde uma diferente  $T_{irr}$ , com sua respectiva barra de erro, sendo que através deste conjunto de pontos podemos obter a linha de irreversibilidade como mostra a Figura 2. Na Figura 2 observa-se que a disposição dos pontos segue a relação descrita pela lei de potência, prevista pelo modelo de *flux creep* Gigante, cuja equação de ajuste é dada a seguir:

$$H = H_0 \left( 1 - \frac{T_{irr}(H)}{T_{irr}(0)} \right)^\alpha, \quad (1)$$

onde  $T_{irr}(0)$  é a temperatura de irreversibilidade para o campo zero,  $\alpha$  é uma constante adimensional,  $H_0$  é um parâmetro de ajuste e  $T_{irr}(H)$  é a respectiva temperatura de irreversibilidade para um determinado campo.

## 2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos de irreversibilidade magnética, como ilustrados na Figura 1, se devem ao aprisionamento de vórtices no interior da amostra. Abaixo da temperatura de irreversibilidade  $T_{irr}$ , as curvas apresentam comportamentos distintos, uma região em altas temperaturas, onde a magnetização mostra um comportamento reversível, e outra, em baixas temperaturas (abaixo de  $T_{irr}$ ), com um comportamento irreversível.



**Figura 2** Comportamento da linha de Irreversibilidade magnética com campo aplicado ao longo do plano *ab* e do eixo *c*.

A Figura 2 apresenta os resultados referentes às linhas de irreversibilidade magnética nas orientações  $H//ab$  e  $H//c$ , obedecendo à lei de potência prevista pelo modelo de *flux creep* gigante, sendo este característico de amostras que apresentam fraca granularidade, compostas de regiões supercondutoras bem conectadas entre si. A Tabela 1 mostra os parâmetros de ajuste obtidos a partir do modelo teórico utilizando a Equação 1, com sua respectiva valor de barra de erro.

**Tabela 1.** Valores para os parâmetros de ajuste descrito pelo modelo *flux creep* gigante para a mostra  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .

Orientação do campo	$\alpha$	$H_0$ (Tesla)	$T_{irr}(0)$ (K)
$H//ab$	$1,49 \pm 0,09$	$166,88 \pm 19,46$	$90,02 \pm 0,61$
$H//c$	$1,56 \pm 0,09$	$57,15 \pm 3,28$	$91,77 \pm 1,27$

### 3. CONCLUSÕES

Com os resultados experimentais obtidos para a linha de irreversibilidade magnética, pode-se concluir que tanto para campos magnéticos  $H//ab$  como para  $H//c$ , a descrição se dá unicamente pela lei de potência prevista pelo modelo *flux creep* gigante, o qual descreve o comportamento com uma boa aproximação para todas as regiões de campos magnéticos aplicados.

O Gráfico 2 mostra um forte comportamento anisotrópico devido à grande separação entre as linhas de irreversibilidade magnética para  $H//ab$  e  $H//c$ . Este caráter anisotrópico conduz a uma possível boa orientação cristalográfica, característico de amostras de boa qualidade. Este trabalho está em andamento faltando determinar as propriedades elétricas.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VIEIRA, V. N **Efeito das substituições químicas na irreversibilidade magnética e magnetocondutividade do supercondutor  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$** . 2004. Tese (doutorado em ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DIAS, F. T. **Efeito meissner paramagnético e magnetocondutividade em supercondutores de  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  texturizado**. 2003. Tese (doutorado em ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

NUNES, S. E. **Correlação entre a irreversibilidade magnética e a resistência nula em supercondutores de  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$** . 2013. Dissertação (mestrado em Física) - Curso de Pós-graduação em Física, Universidade Federal de Pelotas.

JUNIOR, R.A. **Estudo da linha de Irreversibilidade em supercondutores do tipo II**. 1995, Tese (doutorado em ciências) - Instituto de Física "Gleb Wataghin", Universidade Estadual de Campinas.