



## **Estudo da Linha de Irreversibilidade Magnética em Uma Amostra Supercondutora de YBaCuO Texturizado Dopada com 17% da Fase Y211**

**JAECKEL, Sandra Teixeira<sup>1</sup>; DIAS, Fábio Teixeira**<sup>2</sup>.

<sup>1,2</sup>Deptº de Física – IFM /UFPEl  
Campus Universitário – Caixa Postal 354 – CEP 96010-900. sandratj@pop.com.br

### **1. INTRODUÇÃO**

O fenômeno da supercondutividade foi observado pela primeira vez por Heike Kamerling Onnes, em Leiden, na Holanda em 1911. Ele observou ao medir a resistividade de uma amostra de mercúrio em baixíssimas temperaturas que, quando a mesma atingia 4,2 K, apresentava o desaparecimento súbito da resistividade elétrica. Onnes interpretou corretamente, supondo que ao atingir 4,2 K o mercúrio passa de um estado resistivo normal para um novo estado, onde a resistividade é nula, denominado estado supercondutor. Em 1913, Onnes ganhou o prêmio Nobel de Física, devido a seus estudos sobre baixas temperaturas.

O estado supercondutor só é verificado abaixo de determinada temperatura, que varia de material para material, esta temperatura é chamada de temperatura crítica ( $T_c$ ). Outra característica importante do estado supercondutor, é que a aplicação de um campo magnético a um supercondutor causa uma queda na temperatura em que a resistência se anula.

O Fluxo magnético penetra parcialmente na amostra na forma de arranjos filamentosos, chamados *vórtices*, cada vórtice transporta um quantum de fluxo magnético.

O cuprato supercondutor YBaCuO foi descoberto em 1987 por uma equipe liderada por C. W. Chu da Universidade do Texas. Este sistema apresenta temperatura crítica de aproximadamente 92 K, o que causou enorme entusiasmo, pois esta temperatura é superior à temperatura de ebulição do nitrogênio líquido, sugerindo a possibilidade de aplicações tecnológicas em curto prazo.

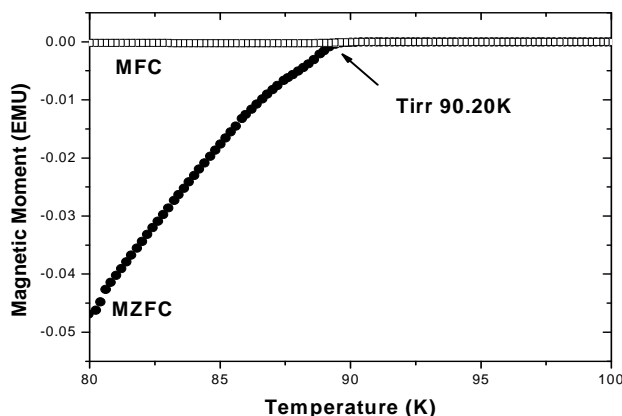
### **2. MATERIAL E MÉTODOS**

As medidas de magnetização para o levantamento da linha de irreversibilidade magnética foram realizadas em convênio com o Laboratório de Resistividade do Instituto de Física da UFRGS. As análises foram realizadas em uma amostra supercondutora de YBaCuO texturizado, com dopagem de 17% da fase Y211.

A análise e o conseqüente levantamento da linha de irreversibilidade foram feitos com o auxílio do software Origin, ambientado na plataforma Windows.

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos com um campo magnético de 5 Tesla aplicado paralelamente ao plano ab da amostra. Nas medidas de magnetização do tipo ZFC, parte-se de uma temperatura acima da temperatura crítica ( $T_c$ ) da amostra e a mesma é resfriada em campo magnético nulo até baixas temperaturas. Em seguida um determinado campo magnético é aplicado e o diamagnetismo observado representa o efeito de blindagem do fluxo magnético externo.

Já nas medidas de magnetização do tipo FC, o campo é aplicado quando a amostra encontra-se numa temperatura acima da temperatura crítica. Na seqüência, a mesma é resfriada até baixas temperaturas. Nestas condições, quando o campo é aplicado, o fluxo magnético distribui-se uniformemente na amostra. Quando o sistema é resfriado abaixo de  $T_c$ , um momento diamagnético manifesta-se em razão da expulsão do fluxo magnético do interior da amostra (efeito Meissner).



**Figura 1:** Medidas típicas de magnetização segundo as práticas ZFC e FC.

Realizando-se uma experiência ZFC seguida de uma FC pode-se verificar o caráter irreversível da magnetização, ou seja, após completar-se a medida ZFC, se a amostra for resfriada novamente abaixo de  $T_c$  com o mesmo campo aplicado (FC), será obtida uma curva diferente da anterior a partir de um determinado ponto, sendo este ponto conhecido como temperatura de irreversibilidade magnética ( $T_{irr}$ ), o qual está assinalado na Figura 1. A irreversibilidade ocorre devido ao aprisionamento de vórtices no interior da amostra, portanto, as curvas ZFC e FC separam-se abaixo de uma determinada temperatura, a qual depende do campo aplicado.

Para encontrar o valor da temperatura de irreversibilidade magnética fazemos à interpolação das duas curvas e depois subtraímos uma da outra. O trabalho de interpolação e subtração é feito com o software ORIGIN, sendo este procedimento adotado para permitir uma melhor definição do ponto exato onde começam os efeitos irreversíveis (separação entre ZFC e FC) e, portanto, da localização mais precisa da temperatura de irreversibilidade  $T_{irr}$ .

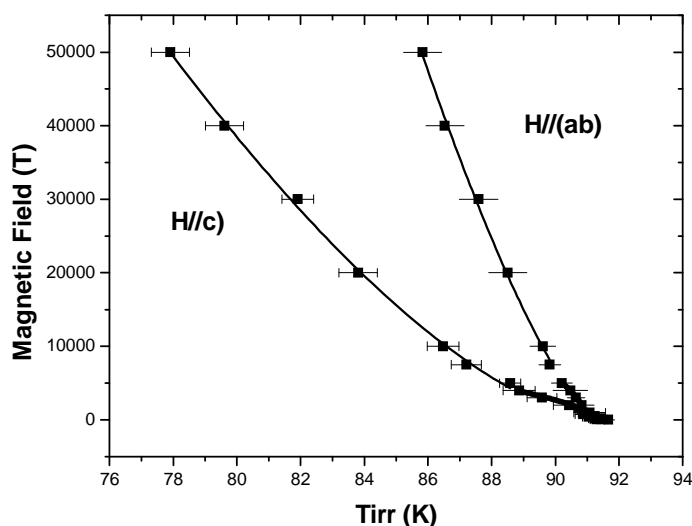
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada valor de campo magnético aplicado temos uma temperatura de irreversibilidade distinta, sendo assim foi realizada uma análise semelhante à descrição anterior para cada valor de campo aplicado ao longo do eixo-c ( $H//c$ ) e paralelamente ao plano ab ( $H//ab$ ). Alguns destes valores estão na Tabela 1.

**Tabela 1:** Alguns valores da temperatura de irreversibilidade magnética para diferentes valores de campo magnético aplicado ao longo do plano ab e do eixo-c da amostra.

H// (ab)		H//c	
Campo Magnético(T)	Tirr (K)	Campo Magnético(T)	Tirr (K)
500	91.23	300	91.25
2000	90.82	2000	89.91
7500	89.82	7500	87.2
20000	88.66	20000	83.81
50000	85.83	50000	77.91

Após o levantamento dos dados, ou seja, das temperaturas de irreversibilidade para cada valor campo de aplicado em cada orientação da amostra, foi feita a construção da linha de irreversibilidade magnética, como apresentado na Figura 2.



**Figura 2:** Gráfico da linha de irreversibilidade magnética para duas direções de campo magnético aplicado.

A linha de irreversibilidade magnética (LIM) separa uma fase magneticamente irreversível, situada numa região de baixa temperatura, de uma fase de alta temperatura na qual o comportamento magnético do sistema é inteiramente reversível. Abaixo de  $T_{irr}$  os vórtices têm sua mobilidade fortemente diminuída pelos centros de aprisionamentos (pinning). Este estado é também chamado de *vidro de*

vórtices. Acima de  $T_{irr}$ , os vórtices têm sua mobilidade garantida, o que nos leva ao estado denominado *líquido de vórtices*.

Feito o levantamento da LIM, passamos a ajustá-la a um modelo matemático já existente na literatura, através do software Origin. A função matemática que descreve a linha de irreversibilidade magnética tem a forma dada pela seguinte equação:

$$Y = P_1 \left[ 1 - \frac{X}{P_2} \right]^{P_3}$$

Onde:

$Y$  é o campo magnético;

$P_1$  é uma constante e tem dimensão de campo magnético;

$P_3$  é uma constante adimensional;

$X$  é a temperatura de irreversibilidade;

$P_2$  é a temperatura de irreversibilidade extrapolada para o caso de campo magnético nulo, ou seja, o próprio valor da temperatura crítica.

#### 4. CONCLUSÕES

Verificamos, tanto para  $H // ab$  como  $H // c$ , que nas regiões de baixo campo a LIM obedece a uma lei de potências do tipo Almeida-Thouless (AT) apresentando, em campos magnéticos um pouco mais elevados, um "crossover" do regime AT para um regime tipo Gabay-Toulouse (GT). Para altos valores de campo magnético a LIM obedece a uma lei de potências prevista pela teoria de "flux creep" gigante.

Este comportamento se deve ao fato de que a amostra tem comportamento fracamente granular. Também foi possível verificar através das análises da LIM os fortes efeitos anisotrópicos planar (eixo  $c$  / plano  $ab$ ) da amostra.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CYROT, M., PAVUNA, D. Introduction to Superconductivity and High-Tc Materials, **World Scientific Co.**, Singapore, 1992.

PUREUR, P., OSTERMANN, F. Supercondutividade – Temas Atuais de Física. **Sociedade Brasileira de Física**, São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

PUREUR, P. Notas de Aula do Curso Sobre Supercondutividade e Supercondutores de Alta Temperatura Crítica, ministrado no Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre.

DIAS, F. T. ; VIEIRA, Valdemar das Neves ; RODRIGUES JR, Pedro ; OBRADORS, Xavier ; PUREUR NETO, P. ; SCHAF, J. . Correlation between the magnetic irreversibility limit and the zero resistance point in different granular YBaCuO superconductors. *Physical Review B, Condensed Matter and Materials Physics*, v. 77, p. 134503-1-134503-8, 2008.

CHU, C., WANG, Y., HUANG, Z., GAO, L., MENG, L., HOR, P., TORNG, C., ASHBURN, J., WU, M. Superconductivity at 93K in a New Mixed-Phase YBaCuO Compound System at Ambient Pressure. **Physical Review Letters**, 1987. v. 58, n. 9. p. 908-910.

YESHURUN, Y., MALOZEMOFF, A. Gigant Flux Creep and Irreversibility in an YBaCuO Crystal: An Alternative to the Superconducting-Glass Model. **Physical Review Letters**, 1988. v. 60, n. 21. p. 2202-2205.

ALMEIDA, J., THOULESS, D. Stability of the Sherrington-Kirkpatrick Solution of a Spin Glass Model. **Journal Physics A**, 1978. v.11, n.5. p. 983-990.