

## ESTUDO DA RELAXAÇÃO MAGNÉTICA ANÔMALA EM AMOSTRAS SUPERCONDUTORAS TEXTURIZADAS DE $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

SANDRO DOS SANTOS VIANA<sup>1</sup>; CRISTIANO PORTO<sup>2</sup>; FRANCINE LIMA<sup>2</sup>; JORGE LUIZ PIMENTEL JR<sup>2</sup>; FÁBIO TEIXEIRA DIAS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – sandrosviana@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – cgporto13@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – francinectlm@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande – jlpimenteljr@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – diasft@gmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

Os supercondutores possuem características eletromagnéticas únicas e por esse motivo têm sido tema de pesquisa por todo o mundo, e vem sendo assim desde que os supercondutores apareceram em 1911 com ótimas propostas para um avanço tecnológico de diversas áreas. Mas para esse avanço os próprios supercondutores deveriam passar por reformulações para melhorar seu desempenho, como novas ligas, variando a estequiometrias e outros métodos de difusão.

Depois de anos, chegou-se em um material que se destacou por suas propriedades eletromagnéticas, o supercondutor de alta temperatura crítica ( $T_c$ )  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , que é o material da amostra apresentada neste trabalho. O  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  adquire propriedades supercondutoras a uma temperatura de aproximadamente 92 K, entre elas, aumenta efetivamente o momento magnético na presença de um campo magnético, de modo a expulsar todo o campo magnético que flui pelo material (efeito Meissner), mas mesmo assim, em campos muito altos detecta-se uma penetração parcial do campo magnético que ocorre através de vórtices.

Vórtices são filamentos que comprometem as propriedades magnéticas do supercondutor por dissipar energia na forma de calor enquanto se deslocam no interior do supercondutor. Para amenizar os problemas com os vórtices adicionamos 30% de  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$ (Y211), uma fase não supercondutora que serve como centro de aprisionamento de vórtices.

O objetivo desse trabalho foi analisar a morfologia de uma amostra de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  com a adição de 30% de sua massa de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  e 1% de CeO que foi parcialmente texturizada e também analisaremos a eficácia dos centros de aprisionamento de vórtices através dos gráficos de relaxação magnética.

### 2. METODOLOGIA

Neste trabalho apresentaremos resultados de uma amostra confeccionada no Laboratório de Materiais Supercondutores da Universidade Federal de Pelotas, onde partimos de um pó comercial de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , adicionamos 30% da massa da amostra de  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  (Y211) e 1% de CeO. A amostra pesava originalmente por volta de 0,8 g, as quantidades adequadas dos pós foram pesadas em uma balança de precisão e logo após foi feita uma maceração de aproximadamente 30 minutos em um almofariz de ágata, com os pós homogêneos podemos levá-los para prensa hidráulica onde recebe cargas de 3, 2 e 1 tonelada respectivamente, saindo em seu formato final, um disco de 1 cm de diâmetro.

O método de difusão para o crescimento da amostra é a texturização pelo método da semente, onde colocamos um monocrystal no topo da amostra a fim de orientar o crescimento durante o tratamento térmico. Para o tratamento térmico foi

necessário um mapeamento térmico dos fornos do laboratório para encontrarmos o forno adequado para realizar o crescimento da amostra, pois esse método requer um tratamento térmico longo e rigoroso.

Em um cadiño de zircônia colocamos a baixo da amostra uma camada de CeO e uma camada de Ítrio para evitar contaminação com o cadiño e no topo da amostra, a semente, um monocristal de MgO, escolhemos a semente conforme seu ponto de fusão e a seu parâmetro de rede.

O Tratamento térmico leva em torno de 130 horas, tendo 24 horas para o processo de sinterização, 10 horas em 1040° C(temperaturas acima do ponto de fusão do  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ) e cerca de 60 h para o processo de solidificação, o processo é bem lento para que a semente induza um crescimento orientado na amostra.

Para as medidas de microscopia eletrônica de varredura contamos com o apoio do Centro de Microscopia Eletrônica do Sul (CEME-Sul) localizado na Universidade Federal do Rio Grande, onde operam um microscópio da marca Jeol, modelo JSM-6610LV e as medidas de relaxação magnéticas foram feitas na UFRGS.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mostraremos a seguir os resultados obtidos nesse trabalho, começaremos com algumas imagens de microscopia que analisamos da amostra de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  com adição de 30% da fase não supercondutora Y211. Na Figura 1 separamos imagens da nossa amostra com ampliação de 5000 vezes e 25000 vezes respectivamente.

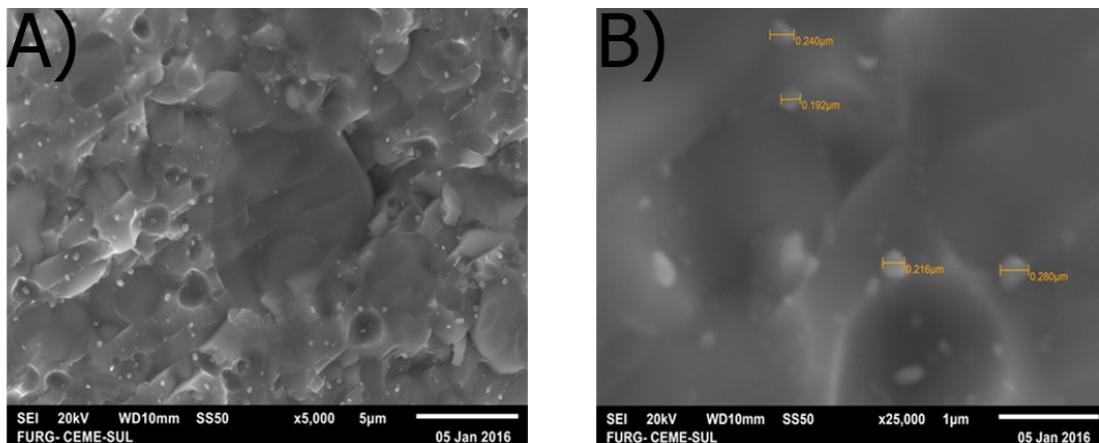


Figura 1: A imagem A) notamos indícios de texturização e B) mostra a permanência da fase Y211 mesmo após a fusão do  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

Na imagem A) podemos ver que a amostra foi parcialmente texturizada, vemos os grãos orientados e em camadas, uma característica de amostra texturizada, os pontos de coloração clara nas imagens, pelo tamanho dos grãos mostrados na imagem B) é claramente a fase Y211 que possui um ponto de fusão maior que  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , não sofrendo mudança de fase com o processo térmico usado, sabemos que a quantidade adicional de Y211 está presente na amostra através da análise por energia dispersiva (EDS) feito durante a microscopia, mostrada na Figura 2 abaixo.

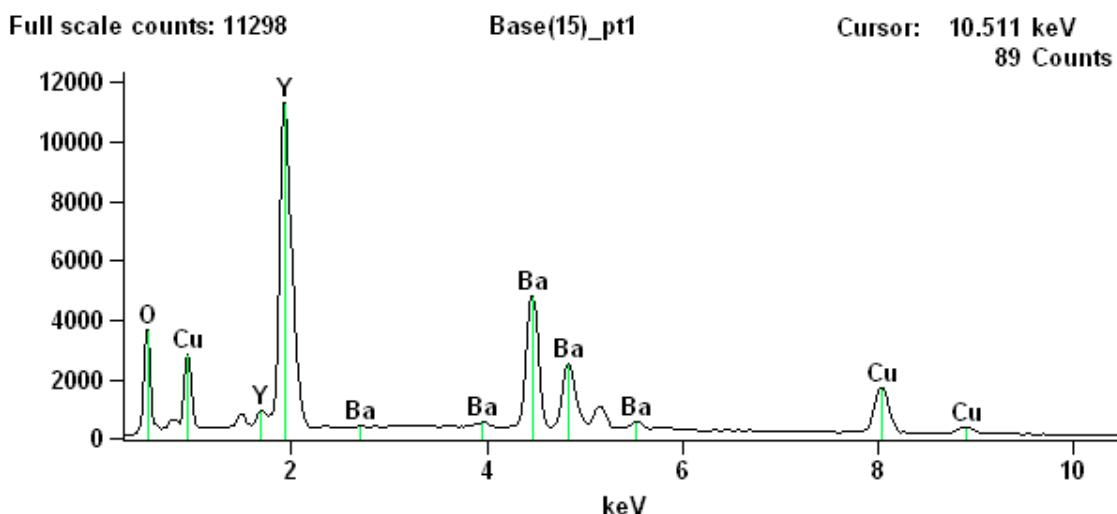


Figura 2: Gráfico do EDS com a concentração de elementos.

Notamos na Figura 2 a concentração de elementos em uma área próxima aos pontos mais claros da Figura 1, onde podemos concluir que se trata de uma concentração de  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$ .

Os dados de relaxação magnética foram feitas através de um processo ZFC, onde resfriamos a amostra até temperaturas muito baixas e aplicamos um campo magnético intenso e vemos a resposta do momento magnético ao longo do tempo, com o objetivo de compreender a eficácia dos centros de aprisionamento de vórtices que mantém as propriedades do superconductor. Ajustamos as curvas através de uma equação exponencial dupla e em seguida separamos em 2 ajustes exponenciais simples, seguindo a equação para a exponencial dupla:

$$M - M_0 = A_1 e^{\frac{t}{t_1}} + A_2 e^{\frac{t}{t_2}}$$

Onde os índices  $M$  são os momentos magnéticos em unidade emu,  $t_1$  e  $t_2$  é o tempo total do procedimento em segundos e  $A$  são constantes com unidade de momento magnético.

Vemos o comportamento do momento magnético com o tempo da amostra na Figura 3 e Figura 4 com os ajustes de exponenciais dupla e simples, nomeadas de imagens A) e B) respectivamente.

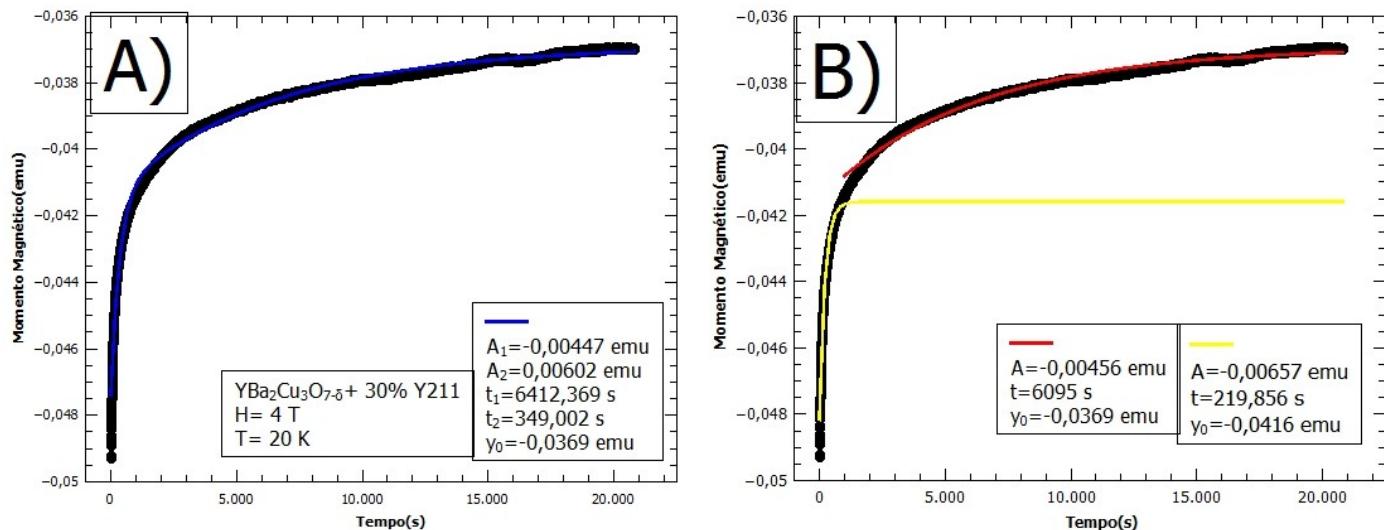


Figura 3: Dados da amostra a uma temperatura 20K e exposto a um campo magnético de 4 Teslas.

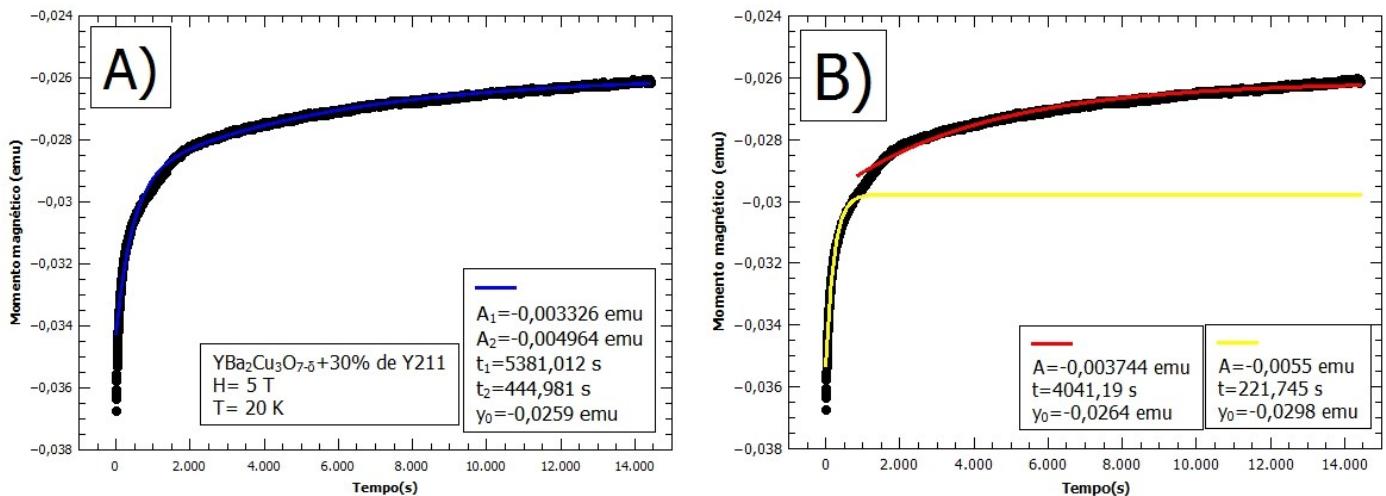


Figura 4: Dados da amostra a uma temperatura de 20K e exposto a um campo magnético de 5 T.

Como vemos na Figura 3 e na Figura 4 o momento magnético aumenta com o tempo, mostrado que a blindagem do campo magnético está comprometida, ou seja, há vórtices livres permitindo a passagem de campo magnético na amostra, o que é esperado em campos magnéticos tão intensos.

Esse método de análise de relaxação diamagnética não possui muitos materiais para ser estudado já que são medidas demoradas e um estudo novo nessa área.

#### 4. CONCLUSÕES

Ainda possuímos mais amostras para serem confeccionadas, agora precisamos mudar alguns parâmetros entre elas, o tratamento térmico e a semente precursora que será usada, tudo para adequarmos os métodos de texturização encontradas na literatura as condições de nossa infraestrutura, para obtermos amostras de melhor qualidade e compararmos o efeito da relaxação diamagnética de nossas amostras e continuarmos os estudos. Um Agradecimento ao Centro de Microscopia Eletrônica do Sul (CEME-Sul), a Universidade Federal do Rio Grande, e a UFRGS por disponibilizarem seus equipamentos para o fornecimento de dados para este trabalho.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GARCIA, E. L. **Estudo da relaxação magnética em supercondutores  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  que exibem o efeito Meissner paramagnético.** 2015. 135f. Dissertação (Mestrado em Física) – Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal de Pelotas.
- NUNES, S. E. **Correlação entre a irreversibilidade magnética e a resistência nula em supercondutores de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .** 2013. 128f. Dissertação (Mestrado em Física) – Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal de Pelotas.