

## ESTUDO DAS PROPRIEDADES GRANULARES E POROSAS EM AMOSTRAS SUPERCONDUTORAS DE $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

**FELIPE FERREIRA RIBEIRO<sup>1</sup>; MATEUS SOUZA DUTRA<sup>2</sup> ; RENATA BELMUDES SCHNEIDER<sup>3</sup>; FÁBIO TEIXEIRA DIAS<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – felipehd48@hotmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas – slash1936@hotmail.com*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Pelotas – schneiderrenata10@gmail.com*

<sup>4</sup>*Universidade Federal de Pelotas – diasft@gmail.com*

### 1. INTRODUÇÃO

Os materiais supercondutores são empregados em uma vasta gama de aplicações, onde podemos ressaltar a sua proficiência no transporte de energia elétrica, pois estes materiais têm como uma de suas principais características apresentar resistência elétrica nula abaixo de certa temperatura. Logo, a busca por materiais que suportem altas densidades de corrente na maior temperatura possível sem atingir o estado resistivo é de grande importância. (OSTERMANN E PUREUR, 2005).

A efetividade do transporte de corrente elétrica e atenuação da dissipação de energia elétrica estão fortemente ligadas a granularidade e porosidade da amostra. Um estudo específico da granularidade e porosidade se fazem importantes, visto que seu entendimento é essencial para a criação de métodos que busquem controlar as perdas oriundas destas propriedades. Para isso, foi utilizado o sistema YBCO, um compósito formado de Ítrio, Bário, Cobre e Oxigênio ao qual apresenta um amplo ramo de aplicações tecnológicas e pesquisas em física teórica e experimental. Através da estequiometria  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  apresentamos os resultados obtidos através de microscopia óptica bem como micrografias geradas para as duas amostras, com o intuito de investigar a microestrutura superficial e possíveis defeitos estruturais. (BRANÍCIO, 2001).

### 2. METODOLOGIA

A amostra foi confeccionada baseada no método de reação em estado sólido. Primeiramente foi utilizado um composto com estequiometria já ajustada, com a fase de interesse  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , na qual denominamos fase Y-123 que apresenta um caráter supercondutor. Em sequência da primeira amostra, a confecção da segunda amostra seguiu procedimentos similares à da anterior. A adição da fase  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$  conhecida como fase verde, não sendo supercondutora, na mistura deveria ser de 30% da massa total, enquanto os outros 70% eram reservados para a fase Y-123 já utilizada na primeira amostra.

O composto Y-123 foi utilizado nas duas amostras, porém apenas na segunda foi realizada a adição de fase Y-211. A estequiometria foi encontrada utilizando uma balança de precisão eletrônica. Em seguida, foi colocado esta porção em um almofariz de ágata para ser feita a maceração, com duração de 30 minutos, procedimento este que busca efetivar a homogeneização da mistura, visando aprimorar o processo de reação. Logo após o composto foi inserido em um cadrinho de alumina e levado ao forno para ser realizada a calcinação. Foram realizadas duas calcinações, ambas com rampas de temperaturas distintas, onde a temperatura

máxima para cada processo foi de 900 °C e 920 °C, respectivamente. Entre as calcinações, foram realizadas novas macerações.

Após coletar a amostra do processo de calcinação, o pó resultante foi prensado, utilizando como invólucro um cilindro de aço, ao qual configura a forma superficial da amostra. Posteriormente a amostra foi levada ao forno para um novo tratamento térmico chamado sinterização, finalizando o processo de obtenção da amostra. (BERCHON, 2013).

A técnica de microscopia óptica foi utilizada após a produção das duas amostras, com o rigor de analisar e caracterizar a estrutura superficial, oposta a que esteve em contato com o cadinho nos processos de tratamento térmico.

O equipamento utilizado para realizar as análises de microscopia foi o microscópio Carl Zeiss Stemi DV4. A observação e coleta de dados ocorreu em dois momentos distintos. Posteriormente, foi realizada a micrografia, ao qual foi utilizado o estereomicroscópio Zeiss Discovery V20, equipado com câmera digital que permitiu a captura de imagens das amostras. A exploração destas imagens é de grande relevância, visto que elas permitem uma visibilidade maior das características em análise perante o procedimento anterior de microscopia óptica, contribuindo analogamente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

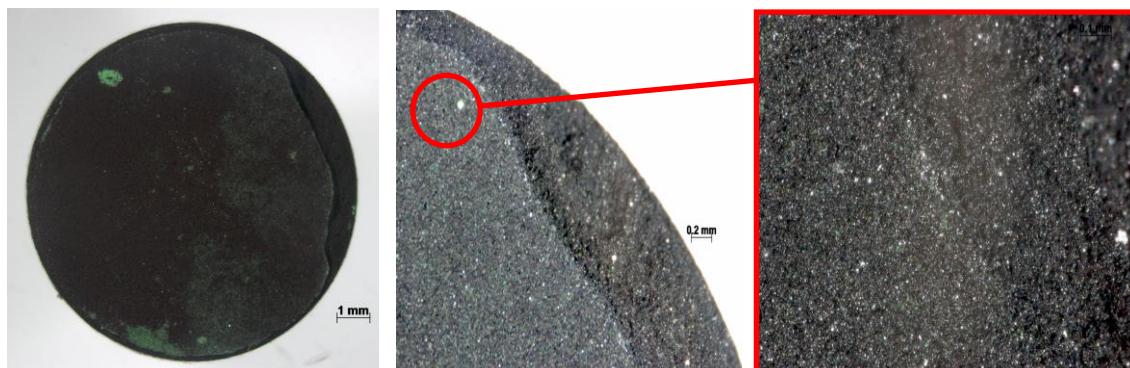
Neste capítulo serão apresentados os dados obtidos bem como as devidas explicações a respeito dos fenômenos envolvidos, buscando realizar um contato coerente entre os dados coletados proveniente das amostras submetidas a análise microscópica e as teorias que fundamentam o entendimento acerca do estado supercondutor.

#### 3.1 AMOSTRA POLICRISTALINA $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Em primeira análise, se verificou a existência de pequenas regiões de aspecto circular com coloração esverdeada. Elas se encontram distribuídas de forma desordenada, próximas as extremidades da amostra, sem estarem equidistantes ou organizadas de forma unificada.

Ao longo da borda é observado uma estreita fração da área que foi perdida, dando origem a uma pequena rachadura. Nesta região da amostra, é possível verificar a presença de zonas onde há uma menor elevação, gerando pequenos relevos em formas de canais.

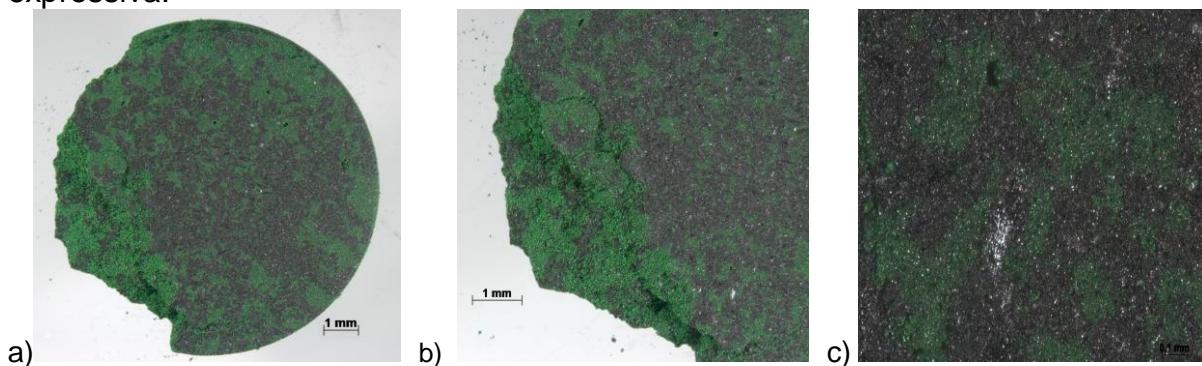
Figura 3.1 – Compilação de imagens evidenciando as características microestruturais.



### 3.2 AMOSTRA POLICRISTALINA $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ COM ADIÇÃO DE FASE $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$

A nível estrutural, foram observadas rachaduras e regiões com porosidade acentuada. A superfície da amostra apresenta uma coloração que varia entre o verde escuro, proveniente da adição de fase verde no processo de confecção da amostra, bem como uma coloração cinza escuro, oriunda da composição química da fase Y-123.

Figura 3.2 – Micrografia abrangendo a amostra, onde se nota a fase verde de forma expressiva.



Logo após, foi constatado a presença de regiões de coloração levemente esverdeadas ao qual estavam localizadas nas extremidades da amostra. Este é um aspecto integrado e comumente verificado em amostras que possuem dopagem química com a fase verde.

Em vista do manuseio com o equipamento, foi verificado a presença de monocristais, distribuídos de modo não uniforme, uma característica singular que é notado em amostras que passaram pelo processo de sinterização no tratamento térmico, conforme a figura 3.2-c.

O sistema YBCO utilizado neste estudo é classificado como integrante do grupo dos cupratos supercondutores. A característica intrínseca deste grupo de materiais é a sua composição granular, ou seja, formada de grãos. Em sua grande maioria, os sólidos cristalinos são formados por um agrupamento de muitos cristais pequenos ou grãos, sendo classificados como policristalinos. (CALLISTER, 2008).

Em uma análise dimensional, para um efeito supercondutor amplamente satisfatório, o tamanho dos grãos é de grande relevância, visto que é preferível se ter grãos maiores do que muitos pequenos. Esta breve afirmação é justificada em função das regiões intergranulares, que são puramente resistivas e provocam a dissipação do transporte de corrente elétrica. Quando a estrutura do material supercondutor é composta de grãos maiores, a presença destas regiões é reduzida, fazendo com que a corrente elétrica possa fluir no material sem resistência. (MORI, 2009).

Um outro fator que causa perdas no transporte de corrente elétrica é a presença de vórtices oriundos do fluxo magnético que penetra a amostra, cuja orientação é paralela ao campo magnético externo aplicado no material. (PUREUR, 1996).

A dopagem química utilizada neste estudo, tem a função de aprisionar estes vórtices, ao qual desempenha um papel fundamental ao suprimir um efeito dissipativo, indesejável para um material supercondutor. Em função de seu caráter isolante, a fase Y-211 é deslocada para as bordas (SILVA, 2014).

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram investigadas as propriedades de microestrutura e morfologia das amostras supercondutoras do composto  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , analisando a relevância do método de dopagem química com a fase Y-211, onde foi verificado que este compósito atua no aprisionamento de vórtices, abrandando os efeitos dissipativos no material supercondutor.

Naturalmente, a presença significativa das características estudadas gera muitas perdas para o transporte em supercondutores, em especial relativo a densidade de corrente crítica. A introdução de defeitos de maneira amplamente controlada aliada ao conhecimento de propriedades microestruturais propiciam densidades de corrente crítica maiores. Além disso, o estudo das propriedades granulares e de porosidade são de extrema importância não só para a caracterização estrutural da amostra em específico, mas também como motivação para o desenvolvimento de novos métodos que busquem controlar e conter as decorrências dissipativas presentes nos materiais supercondutores.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERCHON, L. D. S. **Estudo de Irreversibilidades Magnéticas no Supercondutor Granular  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.985}\text{Fe}_{0.015}\text{O}_{7-\delta}$ .** 2013, 78f. Monografia (Graduação) - Curso de Bacharelado em Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BRANÍCIO, P. S. Introdução à Supercondutividade, Suas Aplicações e a Mini-Revolução Provocada Pela Redescoberta do  $\text{MgB}_2$ : Uma Abordagem Didática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Brasil, v.23, n.4. p. 381-390, 2001.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 1v.

MORI, T. J. **Filmes Finos Supercondutores de Alta Temperatura Crítica**. 2008, 52f. Monografia (Graduação) - Curso de Bacharelado em Física. Universidade Federal de Santa Maria.

OSTERMANN, F; PUREUR, P. **Supercondutividade**. São Paulo: Livraria da Física, 2005. 1v.

PUREUR, P. **Estado Sólido**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1996. 1v.

SILVA, M. F. **Estudo do processo de Texturização em amostras do Supercondutor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  Dopadas com o Compósito  $(\text{YTa})_{0,5}\text{BaO}_3$** . 2014, 28f. Monografia (Graduação) - Curso de Bacharelado em Engenharia de Manufatura. Universidade Estadual de Campinas.