

CORRELAÇÃO ENTRE TEMPERATURAS DE RESISTÊNCIA NULA E IRREVERSIBILIDADE MAGNÉTICA EM MONOCRISTAIS DE YBCO(123) DOPADOS COM CÁLCIO

DANIELA GOETZKE MACEDO¹; FABIO TEIXEIRA DIAS¹; PAULO PUREUR²;
JACOB SCHAF²; VALDEMAR DAS NEVES VIEIRA³

¹UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – danielagmacedo@yahoo.com.br

²UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

³UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – vdnvieira@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os monocristais de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ de melhor qualidade e otimamente oxigenados são caracterizados como supercondutores homogêneos. Neste cenário tanto as propriedades magnéticas quanto as de transporte elétrico do material são compreendidas em termos de um mecanismo físico bem definido. Entretanto, de acordo com VIEIRA (2007), a maioria esmagadora dos supercondutores são classificados como materiais inomogêneos.

A inomogeneidade pode estar vinculada a simples presença de defeitos microscópicos na rede cristalina do material. Impurezas como as vacâncias de oxigênio e elementos químicos segregados na estrutura são exemplos mais proeminentes deste tipo de defeitos. No caso específico dos monocristais de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ esta estrutura de defeitos pode causar distorções junto a rede cristalina provocando a ocorrência de inomogeneidades na distribuição do conteúdo de oxigênio ao longo da sua estrutura levando este material, nessas condições, a ser caracterizado como um supercondutor inomogêneo ou granular.

Ao contrário do que foi dito para as propriedades elétricas e magnéticas de um supercondutor homogêneo, estas serão descritas por mecanismos físicos distintos que se mostrarão fortemente dependentes da temperatura, densidade de corrente e campo magnético aplicados.

Os supercondutores do tipo II, como o $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, são caracterizados por apresentarem uma fase mista no seu diagrama $H-T$. Nesta fase o campo magnético se estabelece no material na forma de vórtices. A estrutura do vórtice é constituída de um núcleo, onde o fluxo magnético encontra-se confinado, o qual é blindado por supercorrentes. Na fase mista os vórtices interagem entre si e com os defeitos da estrutura do material. Quando a interação entre os defeitos estruturais e os vórtices é preponderante os vórtices são aprisionados por esses. Por outro lado quando essa interação não é relevante os vórtices movimentam-se livremente causando dissipação de energia.

Uma das maneiras de pesquisar os efeitos provenientes da “granularidade” nas propriedades magnéticas e elétricas em supercondutores monocristalinos é contrastar a disposição e o comportamento apresentados pelas temperaturas de irreversibilidade magnética, $T_{\text{irr}}(H)$ e de resistência nula, $T_{\text{R}}(H)$ ao longo do diagrama $H-T$ desses materiais, como reportado por VIEIRA (2002) e DIAS; VIEIRA (2008). A $T_{\text{irr}}(H)$ pode ser obtida de maneira bastante precisa a partir da execução de medidas de magnetização DC ou magnetoresistividade DC ou AC, sendo esta última técnica empregada com sucesso na determinação de $T_{\text{R}}(H)$.

A $T_{\text{irr}}(H)$ pode ser concebida como a temperatura sobre a aplicação de campo magnético que delimita a magnetização irreversível (vórtices aprisionados), $T < T_{\text{irr}}$ da reversível (vórtices em movimento), $T > T_{\text{irr}}$. Por outro lado, $T_{\text{R}}(H)$ delimita a temperatura sobre a aplicação de campo magnético na qual

o transporte de corrente elétrica é resistivo (dissipativo), $T > T_R$ daquela que ele é não-resistivo (não-dissipativo), $T < T_R$.

De acordo com alguns trabalhos listados na literatura, DIAS; VIEIRA (2008), VIEIRA (2007) e VIEIRA et al. (2001), $T_{irr}(H)$ e $T_R(H)$ devem ser coincidentes para supercondutores homogêneos independentemente da temperatura e do campo magnético utilizados ao passo que para supercondutores inhomogêneos em virtude da temperatura e do campo magnético empregados estas temperaturas apresentam valores distintos entre si. Foi esta a justificativa apresentada por DIAS; VIEIRA (2008) para classificar um monocristal de $YBa_2Cu_{2.97}Zn_{0.03}O_{7-\delta}$ como um supercondutor inhomogêneo.

Diante da perspectiva de pesquisar e ampliar os efeitos de uma possível “granularidade” as propriedades supercondutoras de outros compostos da família $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ é que nos motivamos a preparar monocristais de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ onde até 10% do Y foi substituído por Ca e empregar o contraste entre a disposição de $T_{irr}(H)$ e de $T_R(H)$ ao longo do diagrama $H-T$ desses materiais como meio de caracterizar estes efeitos.

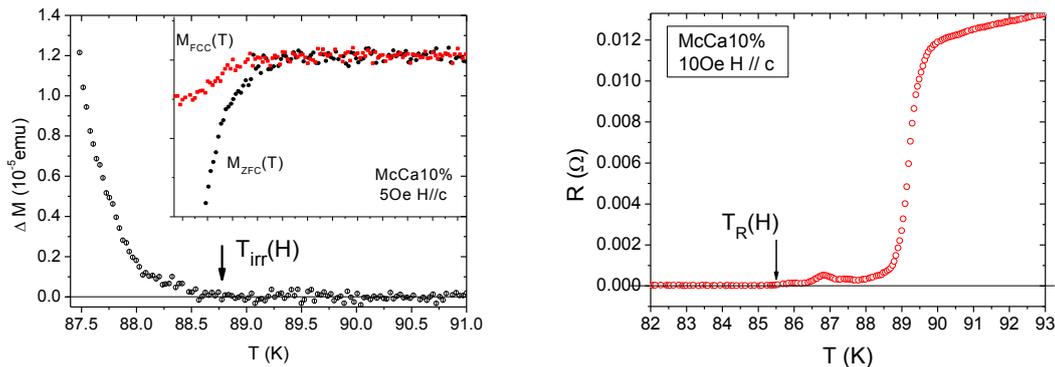
2. METODOLOGIA

Para tornar possível a realização desse trabalho foram crescidos monocristais de $Y_{0.9}Ca_{0.1}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ [McCa10%] segundo a técnica de auto-fluxo (VIEIRA; SCHAFF, 2004) no Laboratório de Materiais Supercondutores (LMS) da UFPEL. O monocristal selecionado teve a sua estrutura cristalográfica ao longo do eixo c caracterizada por meio da aplicação da técnica de difração de raio-x. As medidas de magnetoresistência elétrica AC em função da temperatura e do campo magnético, $R(T,H)$ foram realizadas com o auxílio de um PPMS, marca Quantum Design localizado no Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo da UFRGS. Durante a transição normal-supercondutor o monocristal McCa10% teve os valores de $R(T,H)$ registrados enquanto a temperatura variava a uma taxa não superior a -0.5 K/min e a densidade de corrente, J era aplicada ao longo do plano ab e o campo magnético de até 50kOe era aplicado ao longo do eixo c deste. Por outro lado, as medidas de magnetização DC em função da temperatura e do campo magnético foram realizadas com o auxílio de um SQUID, marca Quantum Design localizado no Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo da UFRGS. A magnetização DC do monocristal foi registrada por meio da adoção dos protocolos experimentais $M_{ZFC}(T,H)$ e $M_{FCC}(T,H)$, utilizados por (DIAS; VIEIRA 2008), enquanto a amostra foi resfriada ou aquecida a uma taxa não superior a 0,2 K/min em campos magnéticos de até 50kOe aplicados paralelamente ao eixo cristalográfico c do monocristal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No “inset” da Figura 1.a encontra-se representado o comportamento de $M_{ZFC}(T)$ e $M_{FCC}(T)$ do monocristal McCa10% para $H=50$ Oe aplicado paralelamente ao seu eixo c. A Figura 1a principal ilustra a partir da aplicação da operação $\Delta M(T) = M_{ZFC}(T) - M_{FCC}(T)$ o critério experimental adotado para a obtenção de $T_{irr}(H)$.

Por outro lado, a Figura 1.b ilustra a transição magnetoresistiva, $R(T)$ para o monocristal McCa10% submetido a um campo $H=10$ Oe aplicado paralelamente ao seu eixo c, onde o critério experimental adotado para a obtenção de $T_R(H)$ encontra-se destacado.



Figuras: (1.a) comportamento de $M_{ZFC}(T)$ e $M_{FCC}(T)$ e definição de $T_{irr}(H)$; e (1.b) transição magnetoresistiva e definição de $T_R(H)$, respectivamente.

Após a obtenção de um número não inferior a dez pontos experimentais para $T_{irr}(H)$ e $T_R(H)$ foi possível perfilar no diagrama H-T o comportamento do conjunto de dados de $T_{irr}(H)$ e $T_R(H)$ o qual é apresentado na Figura 2.

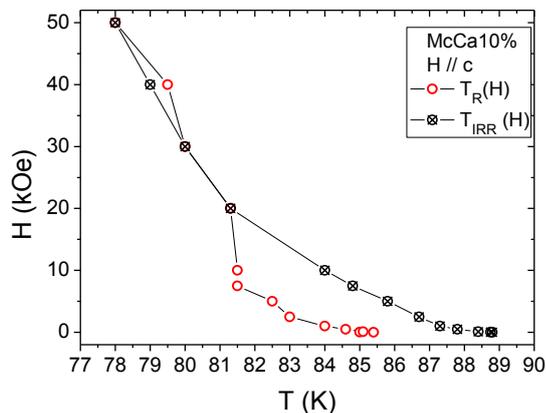


Figura 2: Diagrama H-T correlacionando as curvas de $T_{IRR}(H)$ e $T_R(H)$ para McCa10% ;

Analisando a Figura 2 é possível verificar que os dados de $T_{irr}(H)$ e $T_R(H)$ se sobrepõem para $H \geq 20\text{KOe}$ e para valores inferiores a este os dados de $T_R(H)$ apresentam valores inferiores do que os de $T_{irr}(H)$ para os mesmos valores de campo magnético aplicado. Este comportamento é a assinatura de um supercondutor inomogêneo principalmente se aceitarmos que a substituição parcial de 10% do Y por Ca colaborou para a efetivação da granularidade supercondutora nas propriedades magnéticas e elétricas do $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

De acordo com o cenário anterior a amostra McCa10% apresentaria uma estrutura constituída por regiões supercondutoras (grãos) acopladas fracamente via junções Josephson ou efeito de proximidade. A penetração dos vórtices ocorreria tanto para a região entre os grãos (intergranular) quanto no interior destes (intragranular) sendo as regiões intergranulares mais drasticamente afetadas pela aplicação de campo magnético. Desta forma é possível admitir que $T_{irr}(H)$ e $T_R(H)$ não dependem da mesma região do monocristal. Enquanto que o estabelecimento de $T_{irr}(H)$ depende principalmente da formação de alguns “clusters” entre grãos supercondutores, $T_R(H)$ depende do estabelecimento de um caminho elétrico não resistivo ao longo de toda a amostra o que envolve todo um processo de acoplamento de grãos. Especificamente para $H < 20\text{KOe}$ o

estabelecimento deste caminho somente ocorre para $T_{irr}(H) > T_R(H)$ uma vez que o aprisionamento dos vórtices ocorre mais facilmente entre grãos supercondutores o que ocorre a temperaturas superiores a de $T_R(H)$. Entretanto para $H \geq 20\text{KOe}$, $T_{irr}(H)$ está relacionada ao estabelecimento dos vórtices nas regiões intragranulares ao passo que $T_R(H)$ ainda encontra-se relacionada ao estabelecimento de uma caminho não resistivo para o transporte da corrente elétrica. Em virtude do aumento da intensidade do campo magnético afetar mais severamente a região intergranular do que a intragranular observa-se agora a paridade entre $T_{irr}(H)$ e $T_R(H)$. Este comportamento encontra interpretação nas teorias de vidro de vórtices e vidro supercondutor (VIEIRA; SCHAF, 2004).

Por outro lado o efeito “granular” da substituição parcial de 10% de Y por Ca na correlação entre $T_{irr}(H)$ e $T_R(H)$ mostrou-se mais efetivo do que a substituição parcial de 1% do Cu por Zn nos monocristais de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ reportada por VIEIRA (2002) uma vez que para o monocristal dopado com Zn a diferença entre $T_{irr}(H)$ e $T_R(H)$ foi inferior a 0,5K para $H \leq 1\text{kOe}$.

4. CONCLUSÕES

A substituição parcial de 10% do Y por Ca em monocristais de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ produziu um alto grau de inhomogeneidade as propriedades elétricas e magnéticas deste sistema. Fato corroborado pela diferença em média de aproximadamente 4K observada entre $T_{irr}(H)$ e $T_R(H)$ para $H < 20\text{KOe}$.

Uma possível hipótese para este comportamento estaria alicerçada no fato de que a substituição parcial do Y por Ca causa uma dopagem com lacunas junto aos planos supercondutores de cobre-oxigênio. Este fato acarreta na redistribuição do oxigênio em torno deste, ação que causa deficiência no conteúdo de oxigênio da estrutura e portanto colaboraria fortemente para a introdução de vacâncias de oxigênio junto a estrutura do $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIAS, F. T. e VIEIRA, V. N. Correlation between the magnetic irreversibility limit and the zero resistance point in diferente granular $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ superconductors. **Physical Review B**, v.77, n.134503, 2008;

VIEIRA, V. N. Granular superconductivity in a Ca-doped $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystal: Role of divalent impurities and the effect of applied fields on the grain coupling. **Physical Review B**, v.76, n.024518, 2007;

VIEIRA, V. N. Effects of Zn and Mg in Cu sites of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals on the resistive transition, fluctuation conductivity, and magnetic irreversibilities. **Physical Review B**, v.66, n.224506, 2002.

VIEIRA, V. N., SILVA, J. P. e SHAF, J. Irreversibility limits of the Abrikosov and Josephson flux dynamics in homogeneous and granular high- T_c superconductors. **Physical Review B**, v.64, n.094516, 2001.

VIEIRA, V. N. **Efeitos das substituições químicas na irreversibilidade magnética e magnetocondutividade do supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$** . Janeiro de 2004. Tese de doutorado em ciências. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.