

OS EFEITOS DA PRESSÃO QUÍMICA SOBRE AS FLUTUAÇÕES CRÍTICAS E GAUSSIANAS NO SUPERCONDUTOR $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

LUTIENE FERNANDES LOPES¹; FÁBIO TEIXEIRA DIAS¹; DOUGLAS LANGIE DA SILVA; PAULO PUREUR³; JACOB SCHAF³; VALDEMAR DAS NEVES VIEIRA²

¹Universidade federal de Pelotas – lutiene_@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – vdnvieira@gmail.com

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul

1. INTRODUÇÃO

O estudo do fenômeno das flutuações térmicas dos pares de Cooper (FTPC) na magnetocondutividade dos supercondutores de alta temperatura crítica (HTSC) apresenta-se como uma ferramenta eficaz para o fornecimento de informações que colaborem para a elucidação do mecanismo supercondutor nesses materiais (VIEIRA; DIAS; PUREUR, 2009) e (FISHER; FISHER; HUSE, 1991). Especificamente, ele fornece informações relevantes a respeito de como se estabelece a dinâmica entre superelétrons (pares de Cooper) durante a transição do estado normal para o supercondutor nos HTSC. Neste trabalho nos dedicamos a pesquisar os efeitos provenientes da pressão química sobre as FTPC no $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. A introdução de pressão química na estrutura desse supercondutor se dá por meio da substituição de 1% dos átomos de Ba por Sr. Neste cenário, o aumento da pressão na estrutura do $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ocorre em virtude de que o átomo de Sr apresenta raio iônico menor do que o do Ba e substituiu esse último diretamente em grandes quantidades.

2. METODOLOGIA

Para tornar possível a realização desse trabalho foram crescidos monocristais de $\text{YBa}_{1.98}\text{Sr}_{0.02}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, segundo a técnica de auto-fluxo (VIEIRA; SCHAF, 2004) no Laboratório de Materiais Supercondutores (LMS) da UFPEL. O monocristal escolhido 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 resistividade elétrica AC em função da temperatura e do campo magnético, $\rho(T,H)$ 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 teve os valores de $\rho(T,H)$ registrados enquanto a temperatura variava a uma taxa não superior a -0.5 K/min enquanto 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. Na figura 1.a encontra-se representada a transição resistiva normal-supercondutor do $\text{YBa}_{1.98}\text{Sr}_{0.02}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

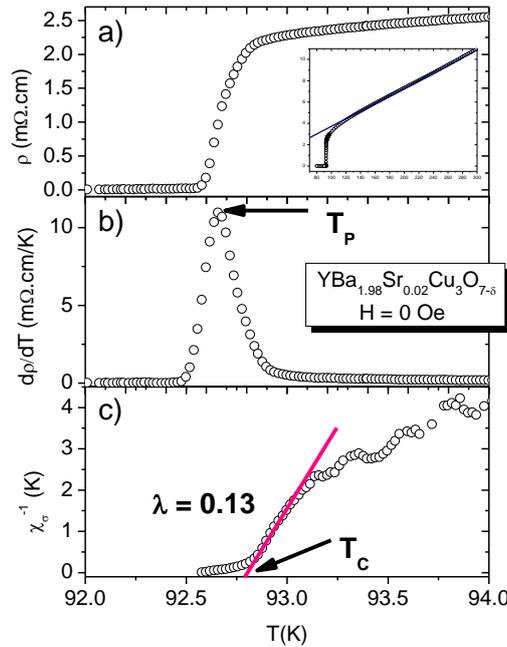


Figura 1: (a) Transição resistiva $\rho(T)$. Inset da figura: extrapolação do ajuste em altas temperaturas, (b) $d\rho(T)/dT$, (c) derivada logarítmica $(\chi_\sigma(T))^{-1}$ para a amostra de $\text{YBa}_{1.98}\text{Sr}_{0.02}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

A contribuição das FTPC na magnetocondutividade da amostra $\text{YBa}_{1.98}\text{Sr}_{0.02}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ é obtida a partir da aplicação do princípio desenvolvido por Kouvel-Fischer a análise de fenômenos críticos em sistemas magnéticos. (COSTA; PUREUR; GUSMÃO; SENOUSI; BEHNIA, 2001). De acordo com essa aproximação a contribuição das FTPC é obtida da determinação do excesso da condutividade, $\Delta\sigma(T)$ proveniente da extrapolação do comportamento linear da curva de $\rho(T)$ em altas temperaturas, veja “inset” da figura 1.a. Numericamente $\Delta\sigma(T) = [\rho(T) - \rho_R(T)]^{-1}$ onde $\rho(T)$ é a resistividade medida e $\rho_R(T)$ é a resistividade obtida a partir da extrapolação do comportamento linear de $\rho(T)$ quando $T = 0$.

Ainda segundo esta análise, nas proximidades da transição normal-supercondutor, $\Delta\sigma(T)$ diverge segundo uma lei de potências dada por:

$$\Delta\sigma(T) = A[1 - (T/T_c)]^{-\lambda} \quad (1)$$

Na equação anterior, A é uma constante, T_c é a temperatura crítica de transição do estado normal para o supercondutor e λ é o expoente crítico. Agora, tomando a derivada logarítmica de $\Delta\sigma(T)$ em relação a temperatura, $[\chi_\sigma(T)]^{-1}$ e aplicando a equação (1) ao seu resultado obtêm-se:

$$[\chi_\sigma(T)]^{-1} = -d/dT \ln(\Delta\sigma(T)) = 1/\lambda (T - T_c) \quad (2)$$

De acordo com a equação (2) a simples identificação de um comportamento linear no gráfico de $[\chi_\sigma(T)]^{-1}$ permite que sejam identificados simultaneamente o expoente crítico λ e a sua respectiva temperatura crítica. Em particular, na figura 1.c a intersecção da reta com o eixo das temperaturas no gráfico de $[\chi_\sigma(T)]^{-1}$ fornece a temperatura crítica de transição, T_c para a amostra $\text{YBa}_{1.98}\text{Sr}_{0.02}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ e a inclinação dessa fornece o inverso do expoente crítico λ^{-1} cujo valor caracteriza fisicamente o comportamento das FTPC.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As figuras 2.a e 2.b ilustram os resultados obtidos para os gráficos de $[\chi_\sigma(T)]^{-1}$ relativos a amostra $\text{YBa}_{1.98}\text{Sr}_{0.02}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ quando um campo magnético variando de $0 \leq H \leq 50\text{kOe}$ são aplicados. Nas figuras, os ajustes lineares identificam a existência dos regimes de FTPC os quais apresentam o seu respectivo valor de λ , obtido a partir da aplicação da equação (2), indicado junto a estes.

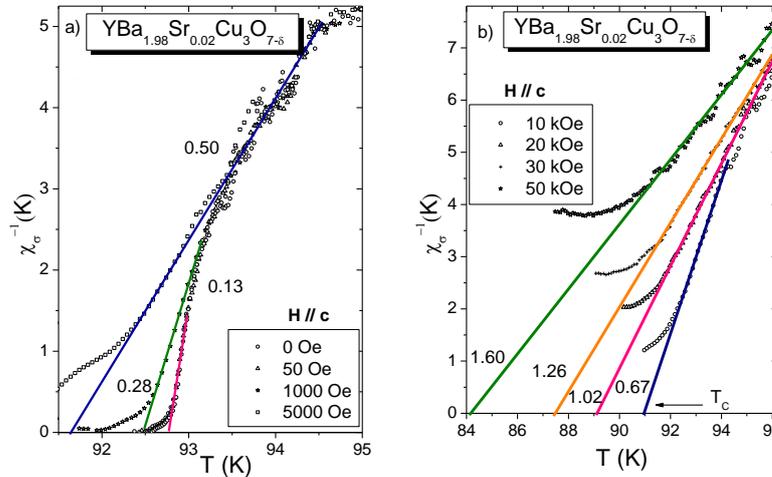


Figura 2: Gráfico de $[\chi_\sigma(T)]^{-1}$ para o monocristal de $\text{YBa}_{1.98}\text{Sr}_{0.02}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ com campo magnético aplicado (a) $H \leq 5\text{kOe}$ e (b) $5\text{kOe} \leq H \leq 50\text{kOe}$.

Nas figuras anteriores é possível verificar que λ assume valores entre 0,13 e 1,60 e que o valor de T_c , indicado nas figuras, diminui à medida que a intensidade de H varia entre 0 e 50kOe. A existência de expoentes nos valores de 0,16 e 0,33 está diretamente associada a flutuações térmicas genuinamente críticas por parte dos pares de Cooper onde estes estão diretamente correlacionados (COSTA; PUREUR; GUSMÃO; SENOUSI; BEHNIA, 2001). Por outro lado a medida em que H vai sendo intensificado os regimes críticos desaparecem e no lugar desses surgem regimes dominados por flutuações Gaussianas 3D ($\lambda = 0,5$), 2D ($\lambda = 1,0$) e 1D ($\lambda = 1,5$). Estes regimes são caracterizados por FTPC descorrelacionadas (VIEIRA; PUREUR; SCHAFF, 2001).

Por outro lado a figura 3 representa o gráfico de $[\chi_\sigma(T)]^{-1}$ para a faixa de temperaturas onde a amostra já se encontra na fase supercondutora, ou seja, $T(H) < T_c(H)$. Assim como registrado nas figuras 2.a e 2.b é possível identificar para $H \geq 5\text{kOe}$, no gráfico de $[\chi_\sigma(T)]^{-1}$ a existência de uma série de ajustes lineares que caracterizam a existência de um regime de FTPC denominado de S_0 cuja extrapolação com o eixo das temperaturas fornece a temperatura T_{c0} .

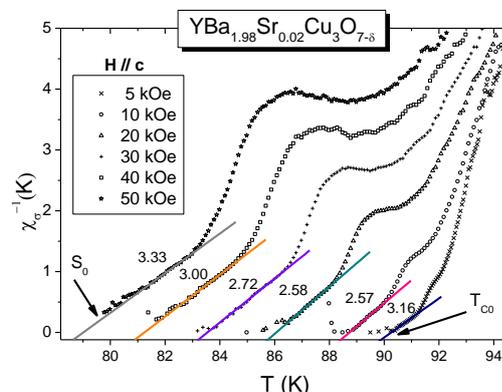


Figura 3: Gráfico de $[\chi_\sigma(T)]^{-1}$ do monocristal de $\text{YBa}_{1.98}\text{Sr}_{0.02}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ na aproximação da resistividade zero (T_{c0}).

Empregando a análise proposta pelas equações (1) e (2) e promovendo as

substituições do expoente crítico λ pelo expoente crítico S_0 e da temperatura crítica de transição T_c pela temperatura de resistividade nula T_{c0} observa-se que S_0 assume valores entre 2,57 e 3,33 e apresenta uma variação suave entre esses para $5\text{kOe} \leq H \leq 50\text{kOe}$. Assim como observado ocorrer para T_c , a temperatura T_{c0} decresce a medida em que H varia entre os limites citados sendo a taxa desse decréscimo superior a observada para T_c .

A existência de um regime de FTPC descrito por um expoente $S_0 \sim 3$ é um indicativo da existência de um fenômeno percolativo inerente a um sistema granular clássico onde grãos supercondutores são acoplados termicamente por junções Josephson ou efeito de proximidade (VIEIRA; PUREUR; SCHAF, 2002).

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados experimentais obtidos para o comportamento de $[\chi_\sigma(T,H)]^{-1}$ no monocristal de $\text{YBa}_{1.98}\text{Sr}_{0.02}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ foi possível destacar alguns dos efeitos provenientes da pressão química sobre as FTPC no $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (VIEIRA; SCHAF, 2004) os quais passam a ser descritos no próximo parágrafo.

Os regimes de FTPC caracterizados como genuinamente críticos mostram-se estáveis frente ao montante de dopante empregado e caracterizam a transição normal-supercondutor neste composto com sendo fracamente de primeira ordem ($\lambda \sim 0$) para $H \sim 0$. Quando $H \geq 1\text{kOe}$ são aplicados. Os regimes de FTPC que antecedem T_c passam a ser descritos por flutuações gaussianas 3D, 2D e 1D, respectivamente. Esta dinâmica é semelhante á observada para o $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ sob estas mesmas circunstâncias (VIEIRA; PUREUR; SCHAF, 2002). Por outro lado, a dopagem com Sr introduziu um caráter granular as propriedades elétricas do $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ para $H \geq 5\text{kOe}$.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VIEIRA, V. N.; DIAS, F. T.; PUREUR, P.; SCHAF, J. Effects of divalent impurities on the fluctuation conductivity of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ single crystals. **Physica B**. v.404, p. 3109–3112, 2009.

FISHER, D.S.; FISHER, M.P.A.; HUSE, D. A. Thermal quenched disorder, phase transitions, and transport in type-II superconductors. **Physical Review B**. v. 43, n. 1, p. 130-159, 1991.

VIEIRA, V. N.; SCHAF, J. Influence of Sr doping on the second magnetization peak and the critical current density of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals. **Physica C**. Amsterdam, v.408, n.0, p.533-534, 2004.

COSTA, R. M.; PUREUR, P.; GUSMÃO, M.; SENOSSI, S.; BEHNIA, K. Scaling Beyond 3D XY in the fluctuation conductivity of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. **Phys. Rev. B**. v. 64, n. 214513, 2001.

VIEIRA, V. N.; PUREUR, P.; SCHAF, J. The Effects of Sr and Ca on the magnetic irreversibility and fluctuation conductivity of YBCO-123. **Physica C**. v. 353, p. 241-250, 2001.

VIEIRA, V. N.; PUREUR, P.; SCHAF, J. 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, p. 224506, 2002.