

DENSIDADE DE ENERGIA CINÉTICA DOS PARES DE COOPER NO SUPERCONDUTOR $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

ANA PAULA AGUIAR DE MENDONÇA¹; ROVAN FERNANDES LOPES¹; FÁBIO TEIXEIRA DIAS¹; PAULO PUREUR²; VALDEMAR DAS NEVES VIEIRA³

¹Universidade Federal de Pelotas – apam25@hotmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul

³Universidade Federal de Pelotas – vdnvieira@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A energia cinética, $K(T)$ é uma ferramenta relevante para ser empregada na compreensão da transição entre os estados normal e supercondutor nos supercondutores de alta temperatura crítica (HTSC, sigla em inglês) ^[1,2]. Especificamente, o estudo do seu comportamento fornece informações que ajudam a compreender o comportamento do parâmetro de ordem supercondutor nas proximidades da temperatura crítica de transição, fornecendo, portanto informações relevantes a respeito de uma grandeza tida como chave para a elaboração de uma proposta teórica que justifique a supercondutividade nestes sistemas ^[1].

Segundo a teoria BCS, o estado eletrônico dos supercondutores adquire energia cinética durante a condensação. Resultados provenientes de experimentos de infravermelho revelam larga transferência do montante espectral para o condensado superfluido nos HTSC. Esta transferência estaria associada diretamente a atuação de um mecanismo motor associado à energia cinética planar do condensado. Outra maneira de quantificar $K(T)$ nos HTSC seria aplicar o teorema virial da supercondutividade.

Motivados por esta perspectiva, propomos a efetivação de um estudo experimental onde serão realizadas medidas de magnetização DC em função da temperatura e campo magnético, $M(H, T)$, em monocristais de $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($x = 0, 0.37$) e policristais de $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($x = 0$ e 0.25) onde estes resultados serão analisados sobre a perspectiva do teorema virial da supercondutividade com a finalidade analisar o papel que a desordem química introduzida exerce na densidade de energia cinética média dos pares de Cooper no supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os monocristais utilizados neste estudo foram crescidos pelo método de auto-fluxo ^[3] e os policristais foram preparados via método de reação de estado sólido. A Figura 1 ilustra alguns dos monocristais obtidos.



Figura 1 – Monocristais crescidos no Laboratório de Materiais Supercondutores (LMS) da UFPel.

Os monocristais e policristais foram submetidos a medidas de magnetização DC, em função da temperatura e campo magnético $[M(T,H)]$, em um magnetometro SQUID MPMS-XL da marca Quantum Design, seguindo as prescrições “zero field cooled” $[M_{ZFC}(T,H)]$ and “field cooled” $[M_{FC}(T,H)]$, com o objetivo de determinar a temperatura de irreversibilidade magnética, $T_{IRR}(H)$ a qual aparece em destaque na Figura 3 juntamente com a temperatura crítica de transição, $T_C(H)$. As medidas foram efetuadas a campos magnéticos constantes de até 50KOe aplicados paralelamente ao eixo cristalográfico c dos monocristais ($H // c$) e ao longo do eixo de maior dimensão dos policristais.

O teorema virial da supercondutividade, expresso na Equação 1, foi empregado para obtenção do comportamento da energia cinética do condensado $K(T)$ a partir do produto da magnetização, M e indução magnética, B .

$$K = \left\langle \frac{\hbar^2}{2m} \left| \left(\vec{\nabla} - \frac{2\pi i}{\Phi_0} \vec{A} \right) \Psi \right|^2 \right\rangle = |\vec{B} \cdot \vec{M}| \quad (1)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta o diagrama H-T para o monocristal de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO) onde a região localizada entre o conjunto de pontos de $T_C(H)$ e de $T_{IRR}(H)$ recebe a denominação de líquido de vórtices é caracterizada pela movimentação de vórtices os quais não sofrem ação dos mecanismos de aprisionamento de fluxo magnético. Por outro lado, a região do diagrama H-T localizada abaixo do conjunto de pontos de $T_{IRR}(H)$ recebe a denominação de sólido de vórtices sendo esta caracterizada pelo aprisionamento dos vórtices devido à ação dos mecanismos de aprisionamento de fluxo magnético.

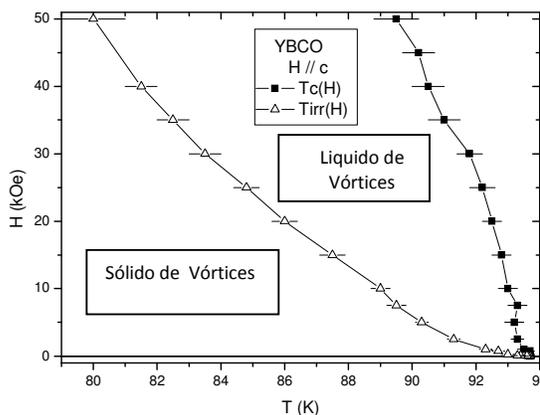


Figura 2– Irreversibilidade magnética

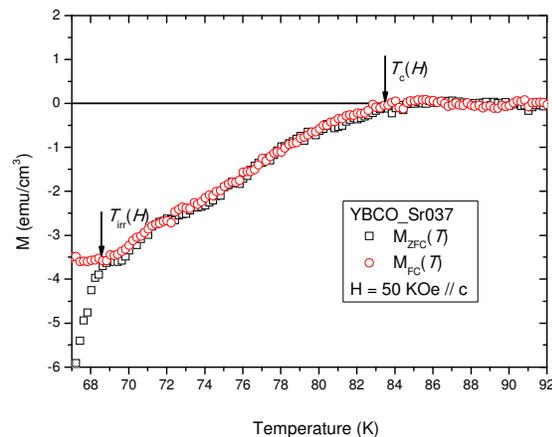


Figura 3– Medidas de magnetização ZFC e FCC

O teorema virial da supercondutividade encontra-se fundamentado na teoria de Vórtices de Abrikosov onde os efeitos de aprisionamento de fluxo magnético não são levados em consideração, portanto, a análise de $K(T)$ a partir da aplicação deste

teorema restringe-se a região líquido de vórtices da Figura 2. Este regime encontra-se compreendido entre $T_C(H)$ e $T_{IRR}(H)$ nas curvas de $M_{ZFC}(T,H)$ e $M_{FC}(T,H)$ expressas na Figura 2.

As Figuras 4, 5 e 6 ilustram o comportamento de $K(T)$ para os monocristais de $YBa_{1.63}Sr_{0.37}Cu_3O_{7-\delta}$ (Sr037) e YBCO e um policristal de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO Poly). Os campos magnéticos aplicados variam entre 10 kOe e 50 KOe.

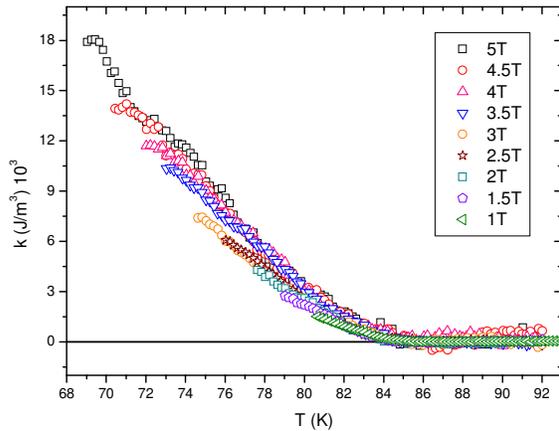


Figura 4 – Energia Cinética para amostra de Sr 037.

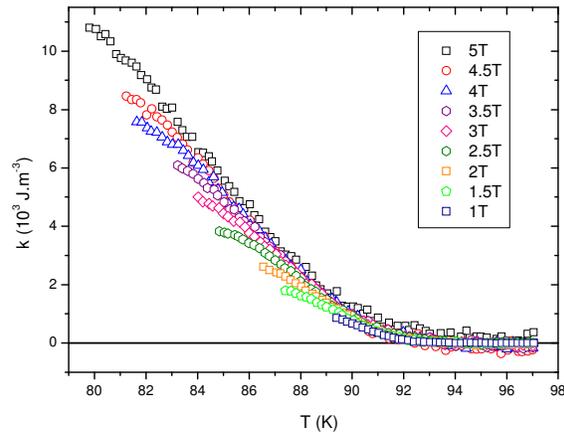


Figura 5 – Energia cinética para amostra de YBCO.

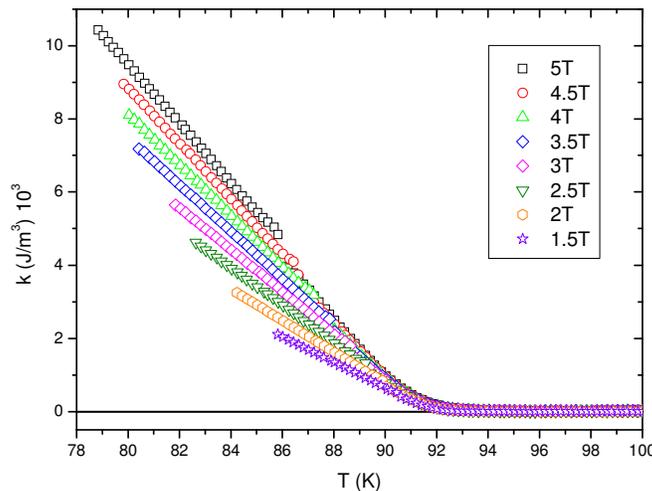


Figura 6 – Energia cinética para amostra de YBCO Poly.

Observe que as curvas de $K(T)$ para Sr037 (Figura 4), YBCO (Figura 5) e YBCO Poly (Figura 6) apresentam características semelhantes no que se refere ao perfil apresentado por $K(T)$. Nestas, $K(T)$ mostra-se independente em relação a B e cresce em magnitude a medida em que B aplicado aumenta.

Especificamente, nos monocristais a dopagem com Sr aumenta significativamente a intensidade de $K(T)$ em relação à obtida para o monocristal puro. A comparação dos resultados obtidos para $K(T)$ entre as amostras YBCO e YBCO Poly sugerem que $K(T)$ independe da morfologia da amostra.

4. CONCLUSÕES

Resultados preliminares de $K(T)$ para os monocristais de $\text{YBa}_{1.63}\text{Sr}_{0.37}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ e $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ e uma amostra policristalina de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ mostram que a série de curvas de energia cinética apresentam o mesmo perfil e suas intensidades aumentam conforme o campo aplicado aumenta. O comportamento $K(T)$ mostra-se independente da morfologia da amostra no caso das amostras de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. A dopagem com Sr aumenta significativamente a intensidade $K(H, T)$, no caso dos monocristais. No momento, medidas experimentais em diferentes dopagens com Sr no YBCO (monocristalino e policristalino) estão em andamento, com o propósito de apoiar esses resultados preliminares e ajudar na elucidação da interpretação destes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. S. Salem-Sugui, Jr., M. M. Dória, A. D. Alvaraga, V. N. Vieira, P. F. Farinas and J. P. Sinnecker, Average kinetic energy density of Cooper pairs above T_c in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ and Nb. **Phys. Rev. B** 76, 132502 (2007).
2. M. M. Dória, S. Salem-Sugui, I. G. de Oliveira, L. Ghivelder and E. H. Brandt, **Phys. Rev. B** 65, 144509 (2002).
3. VIEIRA, V. **Efeito das Substituições Químicas na Irreversibilidade Magnética e Magnetocondutividade do Supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$** . Jan, 2004. Tese (Doutorado em Ciências) – Curso de Pós Graduação em Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
4. V. N. Vieira and J. Schaf, Anisotropic irreversibility of the Abrikosov and Josephson flux dynamics in $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals: Bose-glass and vortex-glass features. **Phys. Rev. B** 65, 144531 (2002).
5. M. M. Dória, J. E. Gubernatis and D. Rainer **Phys. Rev. B** 39, 9573 (1989).