

# O PAPEL DAS FLUTUAÇÕES TÉRMICAS NA MAGNETIZAÇÃO REVERSÍVEL E DINÂMICA DE VÓRTICES DE MONOCRISTAIS DE $YBa_{2-x}Sr_xCu_3O_{7-\delta}$

**LECIONE CAVALCANTE DOS SANTOS<sup>1</sup>**; FÁBIO TEIXEIRA DIAS<sup>1</sup>; PAULO  
PUREUR<sup>2</sup>; JACOB SCHAF<sup>2</sup>; VALDEMAR DAS NEVES VIEIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – lecionemestrando.fis2015@gmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

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

## 1. INTRODUÇÃO

Os supercondutores de alta temperatura crítica (HTSC) são materiais particularizados por exibirem supercondutividade a temperaturas superiores à da liquefação do nitrogênio ( $T > 77,5K$ ) e por manterem-se neste estado sob aplicação de campos magnéticos elevados ( $H < 10^3$ kOe) (WUL, 1987). Além disso, a sua região magneticamente reversível, ao longo do diagrama  $H-T$ , é caracterizada por apresentar uma grande amplitude de alcance quando comparada a exibida pelos supercondutores do tipo II convencionais. Nesta região, os efeitos de flutuações térmicas sobre os pares de Cooper, ou superpartículas, (FTPC) nos HTSC são intensos quando comparados aos observados nos supercondutores do tipo II convencionais. O fortalecimento desse fenômeno deve-se muito em virtude do alto valor da temperatura crítica de transição ( $T_c \sim 100K$ ), do pequeno comprimento de coerência, ( $\xi(0) \sim 10nm$ ) e do alto grau de anisotropia planar ( $\gamma \sim 10$ ) apresentado pelos HTSC quando comparados aos demais supercondutores do tipo II (SALEM-SUGUI et al. 2006).

O estudo dos efeitos das FTPC nas propriedades elétricas, magnéticas e de calor específico fornece informações relevantes sobre os mecanismos físicos responsáveis pelo estabelecimento da supercondutividade nos HTSC, fenômeno até o presente momento não compreendido de maneira consensual, bem como da dinâmica de vórtices desses materiais (SALEM-SUGUI et al. 2006).

Uma das maneiras de estudar a contribuição desses efeitos através do emprego das propriedades magnéticas consiste em caracterizar o comportamento da magnetização reversível,  $M_R(T,H)$  dos HTSC por meio de funções de escala específicas. As mais empregadas são a 3D-XY e a lowest Landau level (LLL) em 2D e 3D. A classificação de  $M_R(T,H)$  em termos destas funções de escala permite investigar a dimensionalidade da rede de vórtices além de fornecer informações relevantes sobre o campo crítico superior,  $H_{c2}(T)$ ,  $\xi(T,H)$ , parâmetro de Ginsburg-Landau,  $k(T,H)$  e  $\gamma(T,H)$  (SALEM-SUGUI et al. 2006). A determinação dos comportamentos de  $H_{c2}(T)$ ,  $\xi(T,H)$ ,  $k(T,H)$  e  $\gamma(T,H)$  é tida como essencial para a

compreensão de como efetivamente funcionariam os mecanismos físicos responsáveis pelo estabelecimento da supercondutividade nos HTSC. GAO; HONG et al. (2006).

Em particular, a aplicabilidade das funções de escala 3D-XY e LLL na descrição do comportamento de  $M_R(T,H)$  do HTSC  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  tem sido pesquisada em função da concentração de portadores [parâmetro ( $7-\delta$ )] quando  $H \leq 50\text{kOe}$  são aplicados (SALEM-SUGUI et al. 2001). Os resultados obtidos mostram que para  $H < 3\text{kOe}$  o comportamento de  $M_R(T,H)$  obedece a função de escala 3D-XY ou seja a rede de vórtices assume um caráter 3D onde efeitos de frustração e desordem sobre a dinâmica de vórtices são predominantes. Entretanto, quando  $H > 10\text{kOe}$  são aplicados, o comportamento de  $M_R(T,H)$  passa a ser descrito pela função de escala 2D-LLL. Nesse cenário, a rede de vórtices é bidimensional e é preenchida por vórtices do tipo panqueca os quais encontram-se justapostos ao longo da direção cristalográfica c do monocrystal. O comportamento 2D-LLL foi verificado pelo menos para três concentrações distintas de portadores no  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (SALEM-SUGUI et al. 2001).

Este trabalho tem como objetivo principal estudar o efeito da pressão química, introduzida na estrutura do  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  por meio da substituição parcial do Ba por Sr, no comportamento das FTPC na dinâmica de vórtices reversível de monocrystals de  $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $x \leq 0,5$ ). Para isso, o comportamento de  $M_R(T,H)$ , para  $H \leq 50\text{kOe}$ , será submetido ao escalonamento em função da temperatura e do campo magnético aplicados de acordo com as funções de escala 3D-XY e LLL.

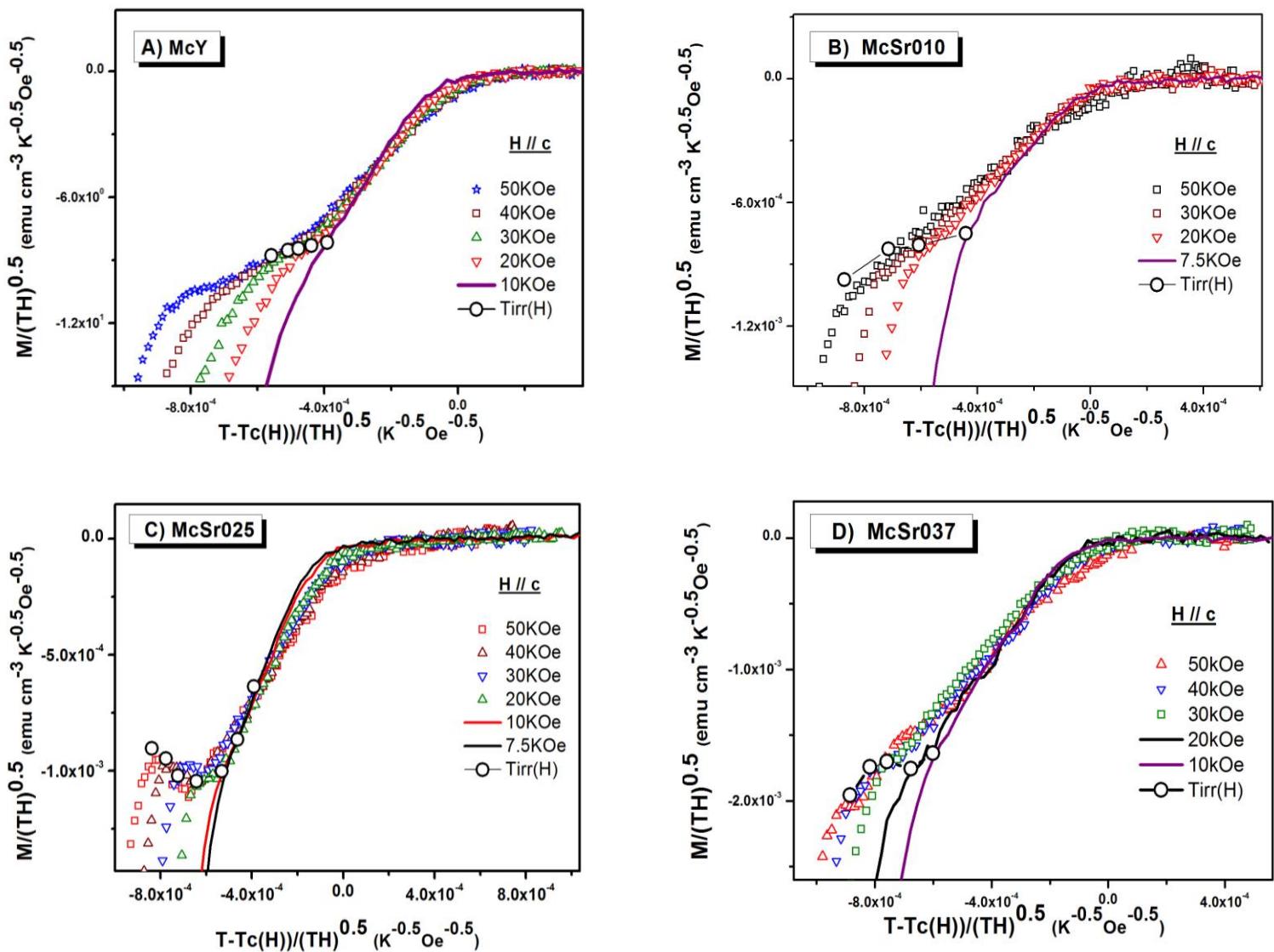
## 2. METODOLOGIA

Os monocrystals de  $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $x = 0; 0,02; 0,10; 0,25; 0,37$  e  $0,50$ ), empregados nesse trabalho, foram crescidos no laboratório de materiais de supercondutores (LMS) da UFPel por meio do emprego da técnica de auto-fluxo. LIN et al. (1992).

As magnetizações “zero field cooling” [ $M_{ZFC}(T,H)$ ] e “field cooled cooling” [ $M_{FCC}(T,H)$ ], empregadas para a determinação de  $M_R(T,H)$  (DIAS et al. 2008), foram medidas com o auxílio de um magnetômetro SQUID, modelo 2000 desenvolvido pela Quantun Desing, quando  $H \leq 50\text{kOe}$  foram aplicados paralelamente a direção do eixo cristalográfico c das amostras pesquisadas. Estas medidas ocorreram no laboratório de supercondutividade e magnetismo (LSM) da UFRGS.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 1 de A a D ilustra o comportamento de  $M_R(T,H)$  das amostras: A) McY, B) McSr010, C) McSr025 e D) McSr037 quando submetidas a função de escala 2D-LLL. Os símbolos circulares abertos representam o valor da temperatura de irreversibilidade magnética,  $T_{irr}(H)$ . Esta temperatura determina a diferenciação da magnetização reversível ( $T \geq T_{irr}$ ) da irreversível ( $T < T_{irr}$ ) nas curvas da figura 1. As linhas sólidas representam curvas de  $M_R(T,H)$  que não escalaram a função de escala 2D-LLL.



**Figura 1:** Aplicação da função de escala 2D-LLL a  $M_R(T,H)$  das amostras; A) McY, B) McSr010, C) McSr025 e D) McSr037.

É possível verificar na figura 1 de A a D que a função de escala 2D-LLL funciona de maneira satisfatória para  $H > 10$ kOe no escalonamento das curvas de  $M_R(T,H)$  para a maioria das amostras pesquisadas.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados experimentais parciais de nosso trabalho mostrados na figura 1 de A a D, mostram que as curvas de magnetização, no limite reversível, das amostras de McY, McSr010, McSr025 e McSr037 reproduzem um comportamento único para  $H > 10\text{kOe}$ . Este comportamento é regido pela função de escala Lowest Landau Level em duas dimensões (2D-LLL). Desta forma, pode-se conceber que a estrutura da dinâmica de vórtices das nossas amostras, quando  $H > 10\text{kOe}$  são aplicados, é de caráter bi-dimensional e possivelmente constituída por vórtices do tipo panqueca (SALEM-SUGUI et al. 2006). Por outro lado, o efeito da pressão química imposta pela dopagem parcial da estrutura do  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  com até 18% de Sr não afeta de maneira significativa o comportamento da dinâmica de vórtices nesse sistema quando  $H > 10\text{kOe}$  são aplicados.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

M K WU. superconductivity at 93K in a new mixed phase YBACUO compound system at ambient pressure. **Physical Review Letters**, v. 58, n. 9, p. 908–910, 1987.

SALEM-SUGUI JR, S. et al. Dimensional Crossover in the Fluctuation Magnetization in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  and its Evolution with the Content of Oxygen. **Journal of low temperature physics**, v. 143, n. 3-4, p. 131-139, 2006.

GAO, Hong et al. Reversible magnetization and critical fluctuations in systematically doped  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  single crystals. **Physical Review B**, v. 74, n. 2, p. 020505, 2006.

LIN, C. T. et al. Growth of large and untwinned single crystals of YBCO. **Physica C: Superconductivity and its applications**, v. 195, n. 3-4, p. 291–300, 1992.

DIAS, F. T. et al. Correlation between the magnetic irreversibility limit and the zero resistance point in different granular  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  superconductors. **Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics**, v. 77, n. 13, p. 1–3, 2008.

SALEM-SUGUI, S. et al. Study of vortices fluctuations in deoxygenated  $\text{YBaCuO}$  single crystals. **Journal of magnetism and magnetic materials**, v. 226, p. 304-306, 2001.