

**Construção de junções Josephson do tipo ponte obtidas manualmente em uma pastilha de  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{2.0}\text{Cu}_{3.0}\text{O}_x$**

Construcción de uniones Josephson del tipo puente obtenidas manualmente em una tableta de  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{2.0}\text{Cu}_{3.0}\text{O}_x$

*The Construction of Josephson Junctions Obtained Manually in a Superconductor Pellet of  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{2.0}\text{Cu}_{3.0}\text{O}_x$*

<sup>1</sup>Gustavo Quereza de Freitas; Jéferson Aparecido Moreto; Cícero Rafael Cena; Claudio Luiz Carvalho

**Resumo:** Desde a descoberta dos supercondutores de alta temperatura crítica em 1986, suas propriedades têm sido extensivamente estudadas. Neste trabalho relata-se a construção de junções Josephson do tipo ponte, obtidas manualmente em uma pastilha de  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{2.0}\text{Cu}_{3.0}\text{O}_x$ . Os resultados mostram um salto da corrente elétrica na curva característica *I versus V* com voltagem nula, indicando o tunelamento Josephson.

**Palavras-chave:** Efeito Josephson; supercondutor; Pares de Cooper.

**Resumen:** Desde el descubrimiento de los supercondutores de alta temperatura crítica en 1986, sus propiedades han sido ampliamente estudiadas. En este trabajo se relata la construcción de rodillas Josephson del tipo puente, obtenidas manualmente en una tableta de  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{2.0}\text{Cu}_{3.0}\text{O}_x$ . Los resultados muestran un pico de corriente eléctrica en la curva característica *I versus V* con tensión cero, lo que indica el tunelamento Josephson.

**Palabras-llave:** Efecto Josephson; Superconductor; Pares de Cooper.

**Abstract:** *Since the discovery of high critical temperature superconductors in 1986, their properties have been extensively studied. In this work, it is reported the construction of Josephson junctions, manually obtained on a superconductor pellet of  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{2.0}\text{Cu}_{3.0}\text{O}_x$ . The results display a leap of the electric current with zero-voltage at the *I versus V* characteristic curve, indicating that the Josephson tunneling has occurred.*

**Keywords:** *Josephson Effect; Superconductor; Cooper Pairs.*

<sup>1</sup>Mestre em Ciências dos Materiais pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, é docente de Física no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rod. Sul Goiana Km 01, Zona Rural, Rio Verde - Goiás - Brasil, e-mail: [gustavoquereza@yahoo.com.br](mailto:gustavoquereza@yahoo.com.br).

## 1. Introdução

A supercondutividade é um fenômeno quântico em escala macroscópica que resulta da existência de uma função de onda única, a qual descreve o condensado de muitas partículas e mantém a coerência de fase em grandes distâncias (PUREUR, 2012). De acordo com Costa e Pavão (2012), a supercondutividade ainda é um campo de pesquisa atual que tem contribuído para o desenvolvimento científico e tecnológico. O fenômeno da supercondutividade foi observado pela primeira vez no ano de 1911, em Leiden, na Holanda, por Heike Kamerling Onnes.

Os materiais supercondutores são divididos em dois tipos, de acordo com suas propriedades específicas. Os supercondutores do Tipo I são formados principalmente pelos metais e por algumas ligas e, em geral, são condutores de eletricidade à temperatura ambiente. Já os supercondutores do Tipo II são formados por ligas metálicas e outros compostos (BRANÍCIO, 2001). É importante salientar que, em geral, as temperaturas críticas ( $T_c$ ) associadas a eles são muito mais altas que as dos supercondutores do Tipo I.

Uma das aplicações mais importantes da supercondutividade está relacionada com o Efeito Josephson. O Efeito Josephson é um efeito físico que se manifesta pela aparição de uma corrente elétrica que flui através de dois supercondutores fracamente interligados. De acordo com Hikino *et al.* (2008), em um supercondutor/isolante/supercondutor de junção, o efeito Josephson é caracterizado por um salto da corrente elétrica em uma diferença de potencial nula.

Segundo os autores Santos e Caldeira (2011), quando se coloca uma barreira suficientemente fina de um material isolante (óxidos, por exemplo) entre duas regiões supercondutoras, pode-se verificar um efeito devido ao *overlap* das funções de onda supercondutoras de cada um dos lados da barreira. Essa barreira agiria como um supercondutor fraco, deixando uma pequena corrente (DC) supercondutora fluir no material em questão.

O entendimento e o controle da formação da fase supercondutora em supercondutores com alta temperatura crítica ( $T_c$ ) é um fator de extrema importância para a obtenção das propriedades elétricas e magnéticas. Dessa maneira, o objetivo do presente trabalho é o de descrever a preparação de uma junção Josephson tipo ponte (produzida manualmente), a partir de uma pastilha de  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{2.0}\text{Cu}_{3.0}\text{O}_x$ , via método Pechini.

## 2. Experimental

O material precursor da pastilha de  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{2.0}\text{Cu}_{3.0}\text{O}_x$  foi baseado no método Pechini, também conhecido como método dos precursores poliméricos. A utilização do Método Pechini dentro da pesquisa em materiais está cada vez mais difundida, pois apresenta boas vantagens como síntese a baixas temperaturas, baixa contaminação e possibilidade de obtenção de pós nanométricos (HUSSEIN, M., MIYAHARA, R. Y., 2011).

Na pesquisa, íons metálicos foram distribuídos sob uma cadeia polimérica formando uma resina. Posteriormente, esta resina foi tratada termicamente a uma temperatura de 90 °C até a obtenção do material na forma de pó. Em seguida calcinado várias vezes a uma temperatura de 500 °C e então sinterizado por um período de 100 h a uma temperatura de 840 °C. O processo de sinterização aconteceu em temperatura ambiente para a obtenção das fases supercondutoras desejadas.

Para a confecção das pastilhas, os pós foram prensados uniaxialmente utilizando-se um pastilhador de aço inox, com diâmetro de 12 mm, aplicando uma pressão de aproximadamente 9 MPa em temperatura ambiente.

A caracterização estrutural das pastilhas foi realizada por meio da técnica de Difratomia de raios-X (DRX), que possibilitou a identificação das fases supercondutoras presentes na amostra. Para isso, utilizou-se um difratômetro de raios-X da marca *Shimadzu* modelo XRD-6000. As medidas foram efetuadas usando um filtro de  $\text{CuK}_{\alpha 1}$  com comprimento de onda de 1,542 Å, step de 0.02°, velocidade de 1°/min e intervalo de 2θ de 5° - 65°. Para a construção da Junção Josephson do tipo ponte foi retirada uma pequena parte da pastilha de  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{2.0}\text{Cu}_{3.0}\text{O}_x$  na forma de um paralelepípedo com dimensões de 5x3x1 mm.

A junção foi esculpida no ponto médio da pastilha em três etapas. Os materiais utilizados para esculpir a junção Josephson foram fio de Nylon e Microscópio Ótico. A junção foi obtida por meio de desgaste do sistema Pastilha + Fio de nylon. As dimensões foram mensuradas gradativamente via Microscopia Ótica. A Figura 1 apresenta as imagens de microscopia ótica para as três etapas utilizadas no presente trabalho e a Figura 2 o desenho esquemático de como foram colocados os contatos na amostra para as medidas de quatro pontas.

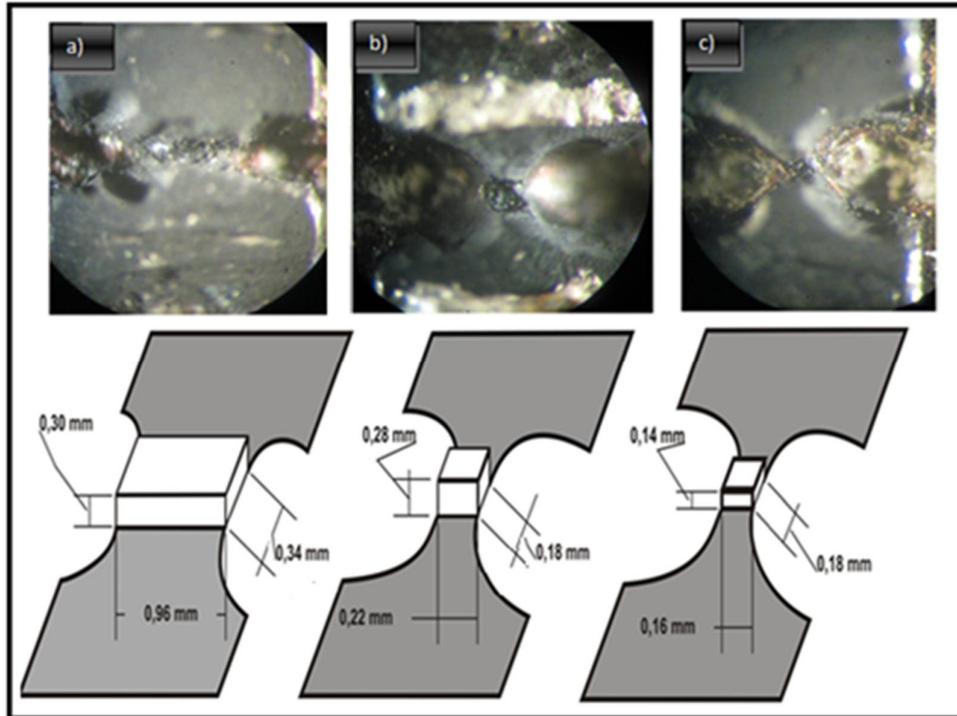


Figura 1: Imagem obtida via microscopia ótica, apresentando a junção em três etapas.  
 Fonte: Próprio autor

As propriedades elétricas foram determinadas pelo método de quatro pontas DC, através de medidas da resistência elétrica em função da temperatura ( $R \times T$ ) e tensão em função da corrente elétrica ( $V \times I$ ), fornecendo a  $T_c$  de transição para o estado supercondutor.

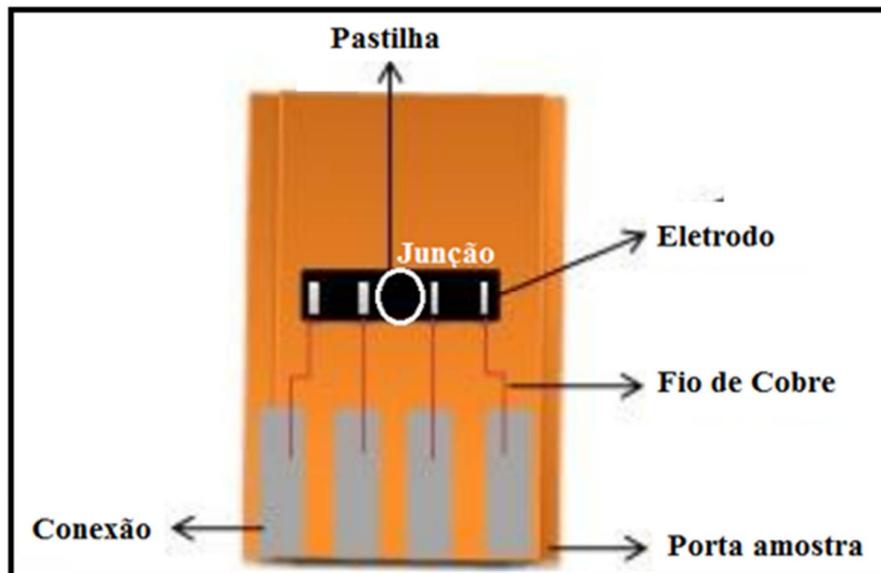


Figura 2: Esquema para as medidas de quatro pontas.  
 Fonte: Adaptado de Carvalho (1999)

### 3. Resultados e Discussão

O difratograma de XRD do pó tratado forneceu as fases supercondutoras contidas na pastilha, sendo elas: (2223) e (2212). Houve uma predominância da fase (2223), como pode ser visto na Figura 3.

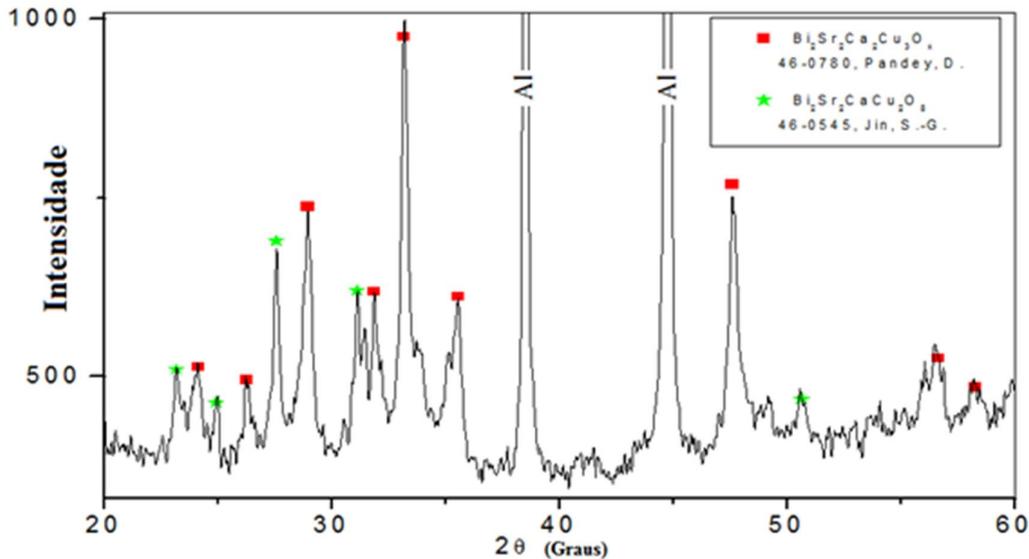
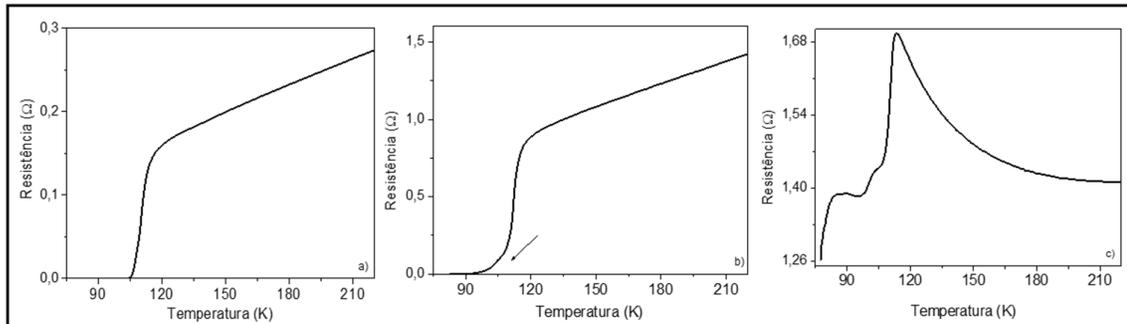


Figura 3. Difratograma de Raios-X da amostra.  
Fonte: Próprio autor

A Figura 4 ilustra o comportamento  $R \times T$  para as três junções construídas. Na Figura 4 (a), foi observado que antes da transição supercondutora a junção Josephson apresentava um comportamento ôhmico e sua temperatura crítica de transição foi de  $T_c=110$  K, o que corrobora com as temperaturas encontradas na literatura para fase (2223) (MAEDA *et al*, 1988). A Figura 4 (b) ilustra o comportamento  $R \times T$  da segunda ponte, antes da transição supercondutora. O comportamento foi análogo ao da primeira ponte e a  $T_c$  encontrada foi de 107 K. Outro comportamento observado foi o surgimento de um *fishtail*, ou seja, um alargamento na curva  $R \times T$ , indicado por uma seta na Figura 4 (b), tal fenômeno é acarretado pelo aquecimento da junção Josephson, que por sua vez, é causado pelo aumento da densidade de corrente devido a redução da área da secção transversal da junção (TOGANO *et al*, 1988).

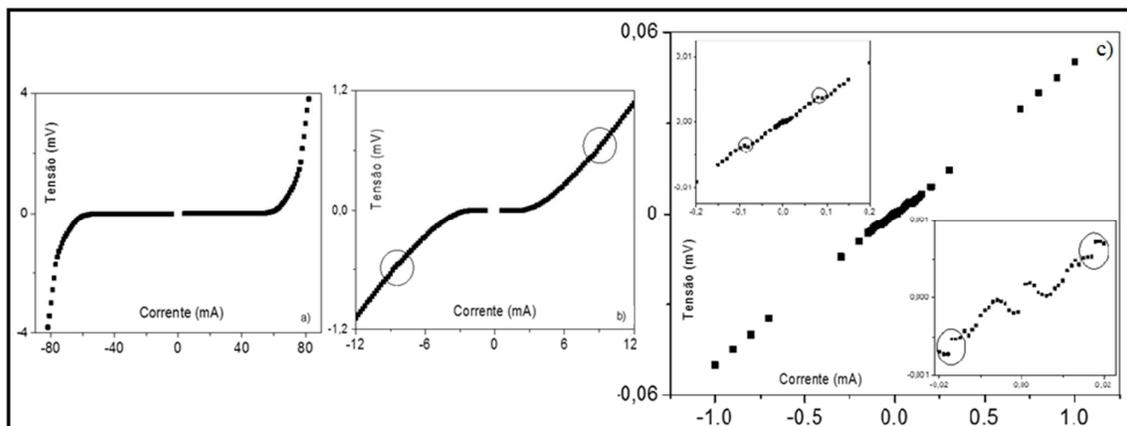
A Figura 4 (c) ilustra o comportamento  $R \times T$  da terceira ponte. É possível verificar que antes da transição supercondutora sua resistência cresce exponencialmente com o decréscimo da temperatura; tal comportamento é típico de um monocristal de  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$  (KLEINER *et al*, 1992; SCHLENGA *et al*, 1998; VEDENEEV *et al*, 1994). Houve duas temperaturas críticas de transição:  $T_c = 110$  K e  $T_c = 88$  K, correspondendo às fases (2223) e

(2212) respectivamente (KANAI *et al*, 1989). Acredita-se que a fase (2212) se tornou mais nítida devido às pequenas dimensões da junção e com isso houve uma sobreposição das fases supercondutoras.



**Figura 4. Comportamento R x T para as três junções esculpidas (a)  $T_c=110$  K, (b) surgimento de um “fish tail” e (c) surgimento de duas temperaturas críticas de transição:  $T_c = 110$  K e  $T_c = 88$  K.**  
**Fonte: Próprio autor**

As curvas características V-I para as três pontes na temperatura de 77 K estão ilustradas na Figura 5. A Figura 5 (a) ilustra a curva característica V-I para a primeira ponte, entretanto, foi observado apenas um excesso de corrente elétrica quando a zero voltagem. Na Figura 5 (b), curva característica V-I para a segunda ponte, observou-se um excesso de corrente elétrica a zero voltagem e um pequeno salto entre 0,6 e 0,8 mV. A Figura 5 (c) ilustra a curva característica V-I para a terceira ponte. É possível observar um excesso de corrente elétrica em três valores de tensão: 0,7; 0,5 e 0  $\mu$ V. A Tabela 1 apresenta os valores das correntes críticas ( $I_c$ ) e densidade de corrente crítica ( $J_c$ ) para as três pontes obtidas neste trabalho.



**Figura 5: Curva característica V-I para a temperatura de 77 K, (a) primeira ponte, (b) segunda ponte e (c) terceira ponte. Os “insets” em (c) mostra os saltos característicos da corrente elétrica do efeito Josephson.**  
**Fonte: Próprio autor**

Tabela 1: Valores de  $I_c$  e  $J_c$  para as três pontes obtidas

Ponte	$I_c$ (mA)	$A$ ( $10^{-3} \text{ cm}^2$ )	$J_c$ (A/cm <sup>2</sup> )
Primeira	58,83	2,880	20,427
Segunda	2,985	0,616	4,781
Terceira	$7 \times 10^{-6}$	0,224	$3,125 \times 10^{-5}$

Fonte: Próprio autor

#### 4. Conclusão

Relatou-se, nesse trabalho, a construção de junções Josephson do tipo ponte, obtidas manualmente em uma pastilha de  $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_{2,0}\text{Ca}_{2,0}\text{Cu}_{3,0}\text{O}_x$ . A partir do exposto, entende-se ser possível concluir que a construção das junções tipo ponte foi eficaz uma vez que houve um salto da corrente elétrica na curva característica  $I$  versus  $V$  com voltagem nula, indicando o tunelamento Josephson.

#### 5. Referências Bibliográficas

- BRANÍCIO, P. S. Introdução à Supercondutividade, Suas Aplicações e a Mini-Revolução Provocada Pela Redescoberta do  $\text{MgB}_2$ : Uma Abordagem Didática. **Rev. Bras. Ensino Física**, v. 23 n.4, 2001.
- CARVALHO, C. L. **Preparação e caracterização de supercondutores BSCCO em forma de filmes e cerâmicas obtidos por precursores poliméricos** (Tese Doutorado) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 1999.
- COSTA, M. B. S., PAVÃO, A. C. Supercondutividade: um século de desafios e superação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 2602, 2012.
- HIKINO, S. *et al.* *Theoretical study of AC Josephson effect in a double barrier Josephson junction.* **Physica C**, 468 p. 1907–1909, 2008.
- HUSSEIN, M., MIYAHARA, R. Y. **Método Pechini para a preparação de nanopartículas.** IX Semana de Estudos de Física da Universidade Estadual do Centro-oeste, Unicentro, 2011.
- KANAI, T. *et al.* Dopant effects on the superconductivity in the Bi-Sr-Ca-Cu-O system. *Japanese Journal of Applied Physics Part 2-Letters*, Tokyo, v. 28, n. 4, p. L551-L554, 1989.
- KLEINER, R. *et al.* **Intrinsic Josephson effects in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$  single-crystals.** *Physical Review Letters*, v. 68, n. 15, p. 2394-2397, 1992.
- MAEDA, H. *et al.* **A new high- $T_c$  oxide superconductor without a rare-earth element.** *Japanese Journal of Applied Physics Part 2-Letters*, v. 27, n. 2, p. L209-L210, 1988.
- PUREUR, P. **Supercondutividade: uma introdução.** IX Escola do CBPF, 2012.
- SANTOS, A. C., CALDEIRA, A. O. **Efeitos Quânticos Macroscópicos: Dispositivos Supercondutores e Condensados de Bose-Einstein.** XIX Congresso de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Campinas, 2011.

SCHLENGA, K. *et al.* *Tunneling spectroscopy with intrinsic Josephson junctions in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  and  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$* . Phys. Rev. B, v. 57, n. 22, p. 14518-14536, 1998.

TOGANO, K. *et al.* *Properties of pb-doped Bi-Sr-Ca-Cu-O superconductors*. Applied Physics Letters, v. 53, n. 14, p. 1329-1331, 1988.

VEDENEEV, S. I. *et al.* *Tunneling in the AB plane of the high- $T_c$  superconductor  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  in high magnetic fields*. Phys. Rev. B, 49, p.9823-9830, 1994.

## 6. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o Departamento de Química e Física da Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, UNESP/Ilha Solteira, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

## 7. Informações complementares sobre os autores:

**Jéferson Aparecido Moreto (Moreto, J. A.):** docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rod. Sul Goiana Km 01, Zona Rural, Rio Verde, Goiás, Brasil, *e-mail:* [Jeferson\\_moreto@yahoo.com.br](mailto:Jeferson_moreto@yahoo.com.br)

**Cícero Rafael Cena (Cena, C. R.):** docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Rua Pedro Cavallo, Portal da Pérola 2, Birigui, São Paulo, Brasil, *e-mail:* [cena@ifsp.edu.br](mailto:cena@ifsp.edu.br)

**Claudio Luiz Carvalho (Carvalho, C. L.):** docente no Departamento de Física e Química, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Avenida Brasil, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil, *e-mail:* [carvalho@dfq.feis.unesp.br](mailto:carvalho@dfq.feis.unesp.br)

---

Artigo recebido em 30 de março de 2015 e aceito para publicação em 25 de junho de 2015.