

## **Determinação da radiação infravermelha em têxteis biofuncionais**

### **(Determination of infrared radiation in biofunctional textiles)**

M. A. Scapin; V. L. R. Salvador, M. E. Cotrim, M. A. F. Pires

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)  
Av. Professor Lineu Prestes 2242  
05508-000 São Paulo, SP, Brasil  
[mascapin@ipen.br](mailto:mascapin@ipen.br)

#### **Resumo**

*Um dispositivo para medir radiação infravermelha foi desenvolvido utilizando uma placa microcontroladora Arduino Uno e um termômetro infravermelho MLX90614. O princípio de funcionamento do dispositivo está baseado na lei de Stefan-Boltzmann. Este dispositivo permite diferenciar tecidos com materiais biocerâmicos incorporados. A validação foi realizada com uma amostra de material biocerâmico MIG3® e dois têxteis de elastano / poliamida, um com material biocerâmico incorporado e outro livre de biocerâmica. Os resultados mostraram que o dispositivo é eficiente para medir radiação infravermelha em tecidos com material biocerâmico incorporado. Além disso, identificar qual tecido apresenta maior teor de biocerâmica. A simplicidade do ensaio e o baixo custo do dispositivo mostraram um forte potencial de aplicação no processo de controle de qualidade e também como ferramenta pedagógica em instituições de ensino.*

*Palavras chave: infravermelho, tecido biofuncional, biocerâmica*

#### **Abstract**

*An infrared radiation-measuring device has developed using Arduino Uno microcontroller board and one MLX90614 infrared thermometer. The working principle of the measuring device has based on Stefan- Boltzmann law. This device allows differentiating textiles with incorporated bioceramic materials. The validation of device has performed with one MIG3® bioceramic material sample and two elastane/polyamide textile, one with incorporated bioceramic material and another free from bioceramic. The results showed device is efficient for infrared radiation measuring in textiles with incorporated bioceramic material. Furthermore, identify the one with higher of bioceramic contents. The test simplicity and low-cost of device showed a strong application potential in quality control process and educational institutions as tool pedagogic.*

*Keywords: infrared, biofunctional textiles, bioceramic*

## INTRODUÇÃO

A aplicação da radiação infravermelha (IV) no contexto de efeitos biológicos tem sido objeto de estudo nesses últimos anos, demonstrado a sua potencialidade para regeneração celular, aumento da circulação sanguínea, do hormônio do crescimento entre outros [1, 2, 3]. Em decorrência dessas propriedades, materiais potencialmente emissores de radiação IV começaram a ser estudados e desenvolvidos, dentre eles, os cerâmicos, incorporados nos tecidos têxteis [4, 5, 6]. Os têxteis compostos com cerâmicas, denominadas biocerâmicas, por causa da funcionalidade biológica são uma nova categoria de têxteis funcionais, que exercem fortes efeitos rotacionais e vibracionais, em nível molecular, com potencial biologicamente benéfico [7, 8]. As biocerâmicas, baseiam-se no princípio de absorver a radiação IV emitida pelo corpo humano e emití-la novamente em comprimentos de onda específicos [9]. Os estudos clínicos utilizando têxtil composto com biocerâmicas tem apresentado resultados satisfatório no tratamento da síndrome de Raynaud [9], alívio da dor [10], redução de edema [11], entre outros.

Os têxteis funcionais tem como finalidade o suporte as terapias médicas e as prevenções dermatológicas. A eficácia de suas aplicações tem sido demonstradas por meio de protocolos *in vivo*, utilizando especialmente a técnica de termografia por infravermelho, ou seja, método de diagnóstico por imagem digital, baseado na distribuição de temperatura cutânea ou quantificação de assimetrias [10, 11, 12]. Com relação aos protocolos *in vitro*, a literatura tem reportado muito pouco, entretanto, a emissividade tem sido utilizada como um parâmetro, apesar de não estar completamente estabelecida [13].

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi desenvolver um dispositivo e um protocolo simples, de baixo custo e eficiente para medir *in vitro* a emissão de energia, ou seja, a radiação infravermelha de têxteis com biocerâmica incorporada. O dispositivo foi desenvolvido com a plataforma comercial Arduino, modelo Uno e um sensor de temperatura infravermelho [14, 15]. A validação foi realizada com uma amostra de biocerâmica MIG3®, matéria prima incorporada nos têxteis biofuncionais, diluída em ácido bórico nas concentrações 5, 10 15 e 20% e o têxtil poliamida/elastano (90/10%), sem e com biocerâmica MIG3®, da empresa Invel® [16].

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Termômetro Infravermelho

De acordo com a *Lei de Stefan-Boltzmann*, todo objeto na temperatura acima do zero absoluto (K) emite radiação, sendo o espectro proporcional a sua temperatura. Dentro desse contexto, a empresa *Melexis (Microelectronic Integrated Systems)* desenvolveu um sensor (MLX90614) que detecta essa radiação e a converte em um sinal elétrico proporcional a temperatura de um objeto no seu campo de “visão”. O sensor é constituído por um chip de silício com uma fina membrana micromecanizada sensível a radiação infravermelha, em conjunto com a eletrônica necessária para amplificar e digitalizar o sinal e calcular a temperatura. Além disso, um filtro óptico para a radiação visível e solar. O conjunto inclui um amplificador de baixo ruído, um conversor ADC de 17 bit, um DSP (processador digital de

senal) e um compensador de temperatura ambiente. O sensor MLX90614 é calibrado de fábrica na faixa de -40 a 125 °C para a temperatura do ambiente e 70 a 382 °C para a temperatura do objeto. O modulador de altura de pulso de 10 bit (PWM) é como um padrão, configurado para transmitir continuamente a temperatura do objeto na faixa de -20 a 120 °C, com uma resolução de saída de 0,14 °C [15].

#### Princípio do processamento de sinal

O sensor de temperatura MLX90614 é controlado por um autômato finito (*internal state machine*), que comanda as medidas, os cálculos das temperaturas do ambiente ( $T_a$ ) e do objeto ( $T_o$ ) e realiza o pós-processamento das temperatura para emití-las através da saída PWM (modulador de altura de pulso). O condicionamento de sinal suporta dois sensores de infravermelho. As saídas dos sensores são amplificadas por um amplificador *chopper* de baixo ruído, com ganho programável, convertido por um modulador “Sigma Delta” em um único fluxo de bits e alimentado por um processador de sinal digital. O sinal é tratado pelos filtros digitais FIR (*Finite Impulse Response*) e IIR (*Infinite Impulse Response*) para a redução da largura da banda do sinal de entrada. A saída do filtro IIR é o resultado da medida disponível na RAM interna. Com base nos resultados das medidas são calculadas as temperaturas correspondentes a  $T_a$  e  $T_o$ , ambas com resolução de 0,01 °C [15].

#### A placa Arduino Uno

O Arduino é constituído por um hardware, um microcontrolador e componentes eletrônicos montados numa placa de circuito impresso; um software na memória de programas do microcontrolador e uma interface gráfica que “roda” num computador padrão PC. O hardware do Arduino é baseado nos microcontroladores ATmega328. Para se interligar ao ambiente externo, o Arduino possui um conjunto de dois conectores: um com 14 pinos para entradas ou saídas de sinais digitais e outro de 6 pinos para entrada de sinais analógicos. As portas (*ports*), conexão física entre a CPU (*Central Process Unit*) e o ambiente externo, são grupos de 8 pinos do microcontrolador fisicamente conectados a registradores de 8 bits no circuito digital, através dos quais se pode enviar ou receber combinação de níveis lógicos na forma de 1 byte [17].

#### O IDE do Arduino

O ambiente de desenvolvimento integrado ou IDE é um conjunto de aplicativos acessíveis por uma única interface gráfica, uma só tela principal, para a edição, depuração, compilação e gravação de programas na parte restante da memória flash do Arduino. Ele pode ser “baixado” sem nenhum custo na página web oficial do Arduino em [www.arduino.cc/en/Main/Software](http://www.arduino.cc/en/Main/Software) [17]. Nesse trabalho foi utilizado o programa *sensor\_temperatura\_infravermelho* com o auxílio da biblioteca *SparkFunMLX90614.h*.

#### Preparação das amostras para a validação do dispositivo

As amostras de biocerâmicas MIG3®, matéria prima incorporada nos têxteis funcionais da marca Invel® foram fornecidas na forma de pó, com tamanho de grão < 0,074 mm. Alíquotas de 200, 400, 600 e 800 mg foram adicionados em ácido bórico ( $H_3BO_3$ ), com grau de pureza

analítico (Merck®) até se completar 4,000 g. Cada mistura foi homogeneizada em um misturador mecânico (76156 Mixer/Mill®) por 15 min e compactadas em um prensa hidráulica (Herzog-HTP40) com 100 kN por 1 min. Deste modo um conjunto de 4 amostras com 5, 10, 15 e 20 % de MIG3® foram obtidas na forma de um disco, com  $25,00 \pm 0,01$  mm de diâmetro e  $5,0 \pm 0,1$  mm de espessura, denominadas nesse trabalho como pastilhas.

#### Avaliação da confiabilidade das pastilhas

A composição química da biocerâmica MIG3®, em termos de maiores constituinte, conforme a Invel® são: MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>. A confiabilidade das pastilhas foi avaliada por um espectrômetro de fluorescência de raios X de comprimento de onda dispersivo (WDXRF) RIGAKU Co, modelo RIX 3000, com tubo de Rh, tensão de aceleração máxima de 60kV e detector proporcional de fluxo. Sob as condições analíticas estabelecidas, réplicas de três medidas para os elementos Mg, Al e Si foram realizadas nas pastilhas branco (0%), 5, 10, 15 e 20 % de MIG3®. As intensidades dos raios X (taxa de contagem – kcps) medidas para cada elemento foram relacionadas com as concentrações nominais e por regressão linear, uma curva de calibração foi construída. Os parâmetros da curva (coeficiente angular e coeficiente linear) foram utilizados para recalculas as concentrações. A estatística *Fisher-Snedecor* (teste F), para um nível de significância de 0,05 foi aplicada para comparar as concentrações nominais com as calculadas.

#### Preparação das amostras têxteis

A Invel® forneceu os seguintes têxteis: poliamida / elastano (90/10%), um sem e dez com biocerâmica MIG3® incorporada. Além disso, três calcinhas de poliamida / elastano comercialmente disponíveis, sendo uma convencional, ou seja, livre de biocerâmica e as outras duas com biocerâmica, uma Invel® e a outra do concorrente. As amostras foram cortadas em tamanho 30 x 30 mm e pesadas em balança analítica.

#### Dispositivo de medição de radiação infravermelha

O dispositivo de medição de radiação infravermelha foi construído em uma caixa de papelão nas dimensões de 20 x 20. Dentro da caixa foi fixado o termômetro infravermelho (IR MLX90614) com fita adesiva (Figura 1).



Figura 1 - Dispositivo de medição de radiação infravermelha

No sensor, os *jumpers*, cor laranja foi soldado na posição VIN, preto na posição GND, verde na posição SCL e azul na posição DAS. Os mesmos *jumpers*, nas respectivas cores, foram conectados na placa Arduino Uno, nas seguintes posições: 5 v, GND, A4 e A5, respectivamente, como mostrado na Figura 2.

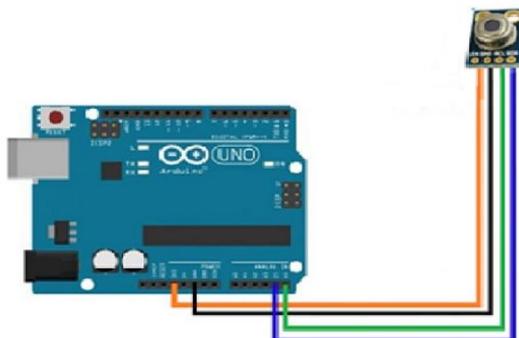


Figura 2: Diagrama da ligação dos *jumpers* na placa Arduino Uno

#### Aquisição de temperatura

O dispositivo de medição da radiação infravermelha foi conectado ao microcomputador por meio do cabo USB e posicionado ao lado de uma estufa de esterilização e secagem modelo 404D, marca Ethiktechnology. A estufa foi programada para temperatura de  $40 \pm 1$  °C e a verificação foi realizada por meio de um termômetro digital modelo K29-5030, marca Kasvi, calibrado para as faixas de 5, 25, 45 e 100 °C. As amostras foram introduzidas na estufa por um período de 24 h. Posteriormente, cada amostra foi retirada da estufa e colocada dentro do dispositivo. Por meio do programa *sensor\_temperatura\_infravermelho* as temperaturas ambiente ( $T_a$ ) e da amostra ( $T_o$ ) foram registradas simultaneamente por 2 min. O processo foi realizado em triplicata.

#### Tratamento dos dados

Os valores de temperatura ambiente ( $T_a$ ) e da amostra ( $T_o$ ) foram transferidos para uma planilha *Microsoft Excel* e os seguintes cálculos foram realizados:

Média e desvio padrão das réplica de medidas; diferença entre a média das temperaturas da amostra ( $T_o$ ) com a ambiente ( $T_a$ ); conversão da diferença de temperatura em comprimento de onda, utilizando a equação (A) [18].

$$\lambda_{\mu m} = \frac{b}{T} \quad (A)$$

Onde,  $\lambda_{\mu m}$  = comprimento de onda em micron; b = constante de dispersão de *Wien* (2897  $\mu m \cdot K$ ); T = temperatura em Kelvin.

O comprimento de onda em micrometro ( $\mu\text{m}$ ) foi convertido para angström ( $\text{\AA}$ ) e posteriormente, para energia em elétron-volt (eV) utilizando a equação (B)

$$\lambda_{\text{\AA}} = \frac{h \cdot c}{E(\text{eV})} \quad (\text{B})$$

Onde,  $\lambda_{\text{\AA}}$  = comprimento de onda em angström;  $h$  = constante de Plank ( $\text{erg} \cdot \text{s}$ );  $c$  = velocidade da luz ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $E(\text{eV})$  = energia em elétron-volt.

Os valores de energia foram relacionados com o tempo e os gráficos de energia (eV) versus tempo (s) para cada amostra foram obtidos. Além disso, as energias também foram relacionadas com as concentrações das pastilhas. Aplicando o método de regressão linear foram construída 9 curvas. Os coeficientes de correlação ( $R^2$ ) de cada curva foram relacionados com o tempo fornecendo o gráfico  $R^2$  versus tempo (s).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise por fluorescência de raios X (WDXRF)

Na Tabela I são mostrados os resultados das análises por WDXRF das pastilhas com 5, 10, 15 e 20% de MIG3®: teores nominais (TN) e os calculados (TC), juntamente com os respectivos desvios. Além disso, os coeficientes de correlação ( $R^2$ ) e os valores da estatística F de *Fisher-Snedecor* ( $F_{\text{calculado}}$  e  $F_{\text{critico}}$ ), estabelecido para um nível de significância de 0,05.

**Tabela I.** Resultados das análises por WDXRF das pastilhas MIG3®, diluídos em  $\text{H}_3\text{BO}_3$

Composto	Pastilha	TN (%)	TC (%)	$R^2$	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{critico}}$
MgO	5	5,00725±0,00005	5,02±0,03	0,985		
	10	10,25703±0,00005	9,66±0,05			
	15	14,86270±0,00005	15,96±0,08			
	20	19,86540±0,00005	19,3±0,1			
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5	5,00725±0,00005	4,91±0,02	0,979	0,68	3,49
	10	10,25703±0,00005	9,72±0,05			
	15	14,86270±0,00005	16,20±0,08			
	20	19,86540±0,00005	19,2±0,1			
$\text{SiO}_2$	5	5,00725±0,00005	4,87±0,02	0,973		
	10	10,25703±0,00005	9,68±0,05			
	15	14,86270±0,00005	16,38±0,08			
	20	19,86540±0,00005	19,1±0,1			

As curvas (taxa de contagem - kcps versus teor nominal) construídas para os compostos MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub> apresentaram os coeficientes de correlação ( $R^2$ ) satisfatório, visto que, para todos os compostos, estão próximos do valor 1, demonstrando que o teor de MIG3® é diretamente proporcional ao teor nominal (TN). O valor de  $F_{\text{calculado}}$  (0,68) para todos os compostos foram menores que o valor de  $F_{\text{crítico}}$  (3,49), demonstrando que, estatisticamente não há diferença entre os teores nominais (TN) e os calculados (TC).

### Validação do dispositivo

A Figura 3 mostra o gráfico de energia (eV) versus tempo (s) para as pastilhas sem (0%) e com 5, 10, 15 e 20% de MIG3®. No eixo tempo foram desconsiderados os valores medidos nos primeiros 10 s, porque esse foi o tempo médio gasto para retirar a amostra da estufa e posiciona-la no dispositivo. O gráfico mostra que com o decorrer do tempo todas as amostras perdem energia, isso porque, as amostras deixaram de receber calor, comprovando o princípio apresentado na introdução desse trabalho, ou seja, absorver a radiação infravermelho fornecida e emití-la novamente em comprimentos de onda específicos, por analogia, energia [9]. Além disso, quanto maior o teor de biocerâmica, maior a quantidade de energia transferida, ou seja, a amostra com 20% de MIG3® é a que emite maior quantidade de energia.

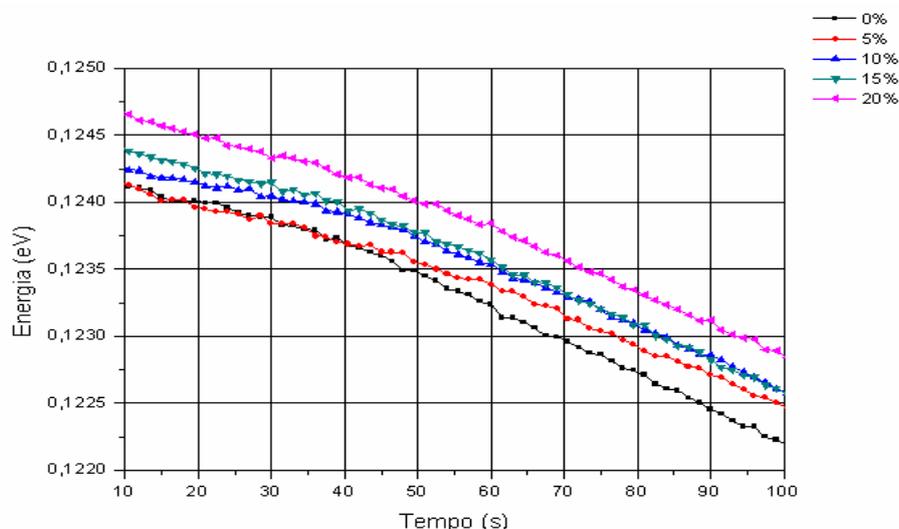


Figura 3 – Gráfico do energia (eV) versus tempo (s) para as pastilhas

A Figura 4 mostra o gráfico dos coeficientes de correlação ( $R^2$ ) (obtidos das curvas de energias versus a concentração das pastilhas) em função do tempo. O gráfico mostra que os valores de ( $R^2$ ) versus (t) descreve uma distribuição normal. Assim, pode-se verificar que os valores de energia medidos no intervalo de 45 a 70 s apresentam um nível de confiança de 68% e no intervalo de 30 a 85 s, 95% de confiança. Os resultados demonstram a confiabilidade do dispositivo para medir radiação infravermelha de materiais biocerâmicos nesses intervalos de tempo.

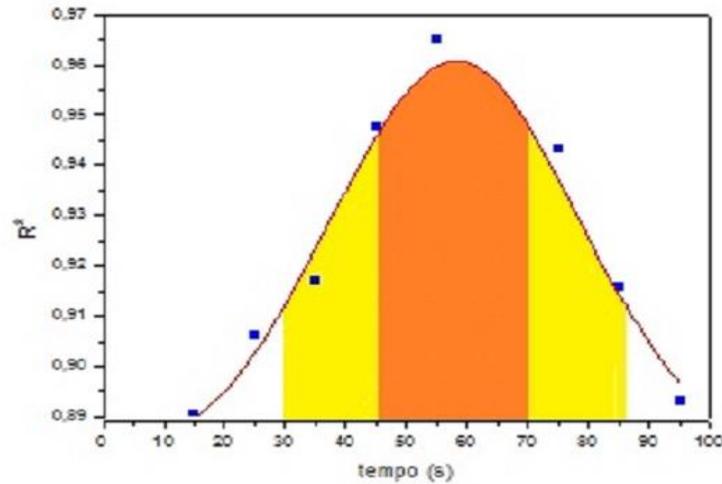


Figura 4 – Gráfico ( $R^2$ ) versus tempo (s)

A Figura 5 mostra o gráfico de energia (eV) versus tempo (s) para os têxteis 90% poliamida / 10% elastano sem e com MIG3®. O gráfico mostra que o têxtil com MIG3® emite mais energia. Os resultados mostram que o dispositivo permite diferenciar têxtil com biocerâmica do sem biocerâmica.

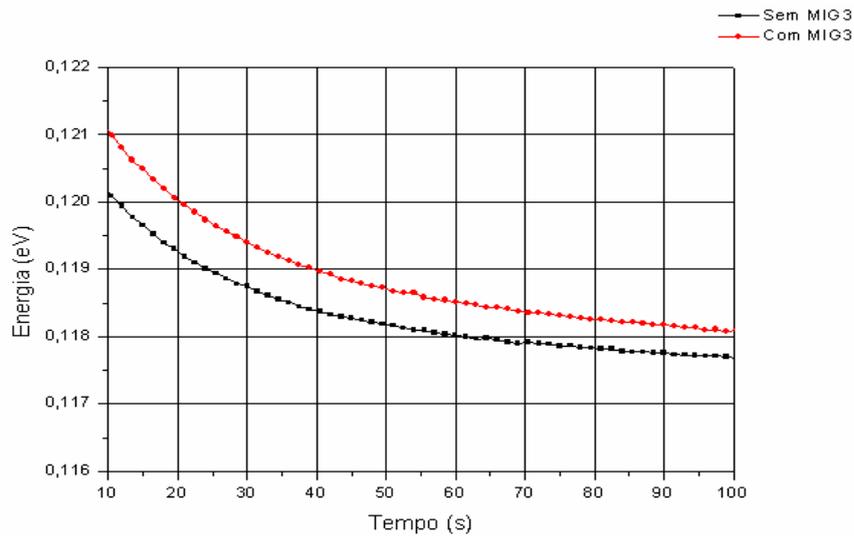


Figura 5 – Gráfico de energia (eV) versus tempo (s) para as amostras de elastano/poliamida

A Figura 6 mostra o gráfico de energia (eV) versus tempo (s) para as três calcinhas de elastano/poliamida disponíveis comercialmente; uma convencional e as outras duas contendo biocerâmica, sendo uma da empresa Invel ® e a outra do concorrente. O gráfico mostra que ambas as calcinhas com biocerâmica incorporada emitem mais energia que a convencional.

Além disso, que a calcinha Invel® emite mais energia que a do concorrente, demonstrando ter maior teor de biocerâmica. Os resultados mostram que o procedimento e o dispositivo são eficientes para detectar a presença de biocerâmica em têxteis e estimar qual apresenta maior teor de biocerâmica.

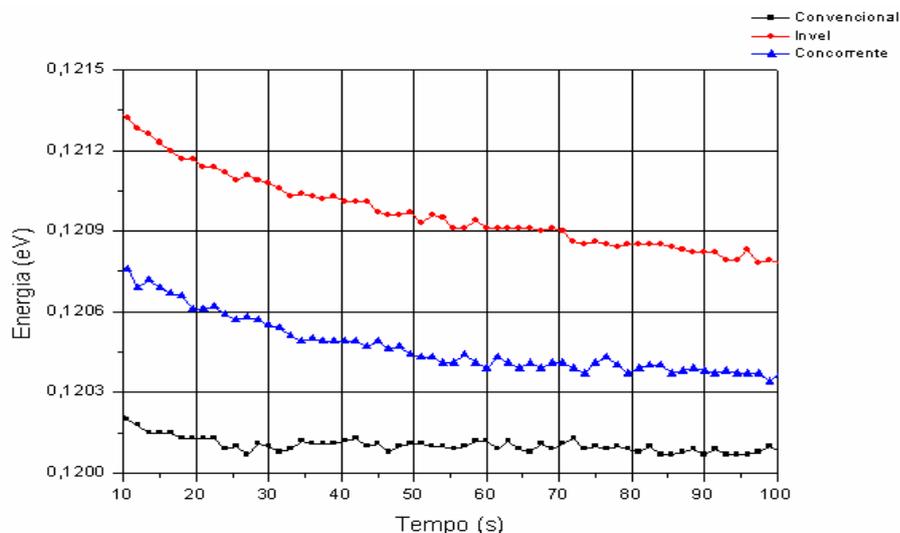


Figura 5– Gráfico do energia (eV) versus tempo (s) para as calcinhas elastano/poliamida

## CONCLUSÕES

As análises por fluorescência de raios X permitiram verificar a confiabilidades das pastilhas para a validação do dispositivo e demonstrar a sua eficiência para medir radiação infravermelha em materiais biocerâmicos com níveis de confiança de 68 e 95%.

Os resultados obtidos para os têxteis poliamida/elastano mostram que o dispositivo é eficiente e sensível para medir radiação infravermelha em têxteis com biocerâmica incorporada e estimar qual apresenta maior teor de biocerâmica.

O baixo custo do dispositivo e a simplicidade do ensaio demonstra uma forte potencialidade de utilização no acompanhamento de processos e garantia de qualidade de têxteis com biocerâmica incorporada.

A versatilidade associada ao baixo custo também aponta para a sua utilização em instituições de ensino, como um instrumento didático, pois o dispositivo pode contribuir de modo lúdico para o aprendizado de conceitos relacionados a termometria entre outros.

## REFERÊNCIAS

- [1] K. Honda, S. Inoue, J. Biometeorology, 1988, v.32, pp. 92-94.

- [2] S. Inoue, M. Kabaya, J. Biometeorology, 1989, v.33, pp. 145-150, 1989.
- [3] Y. Udagawa, H. Nagasawa, J. Cancer Science & Therapy, 2009, v.1 (2), pp. 78-82.
- [4] W. Xu, T. Shyr, M. Yao, J. Textile Research, 2007, v. 77(7), pp. 513-519.
- [5] M. H. Shim, C. H. Park, H. S. Shim, J. Textile Research, 2009, v. 79 (17), pp. 1557-1564.
- [6] M. Wainwright, J. Coloration Technology, 2010, v.126, pp. 115-126.
- [7] N. Pan, G. Sun, Elsevier Ltd, 2011.
- [8] D. K. Gordon, D. Berbrayer, J. Alternative Medicine Review, 2002, v. 7, pp. 328-335.
- [9] M.G. Rodrigues, F. J. C. Braga, Disponível em <<https://ecitydoc.com/download/meias-irradiadoras-de-infravermelho-longo-como-coadjavante.pdf>> Acesso em 06 jun. 2019.
- [10] M.G. Rodrigues, F. J. C. Braga, Disponível em: <<http://docplayer.com.br/19894283-T-shirt-irradiadora-de-infravermelho-longo-como-coadjavante-no-tratamento-do-alivio-da-dor.html>> Acesso em 06 jun. 2019.
- [11] L. A. L. Conrado, E. Munin, A. A. Kurokawa, Disponível em: <[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2004/trabalhos/inic/pdf/IC4-23R.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2004/trabalhos/inic/pdf/IC4-23R.pdf)> Acesso em 06 jun. 2019.
- [12] L. A. L. Conrado, E. Munin, Disponível em: <<http://www.biosind.com.br/site/wp-content/uploads/2016/03/reducao-de-medida-com-modelador-emissor-de-infra-vermelho.pdf>> Acesso em 06 jun. 2019.
- [12] R. G. Affonso, Dissertação (Mestrado em Ciência), Universidade de São Paulo, 2016.
- [13] J. A. Silveira, Disponível em: <http://www.revistadoarduino.com.br>> Acesso em 06 jun. 2019.
- [14] MELEXIS, Disponível em <[https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/MLX90614\\_rev001.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/MLX90614_rev001.pdf)> Acesso em 06 jun. 2019.
- [16] INVEL®. Disponível em <<https://invel.com.br/a-invel-2>> Acesso em 06 jun. 2019.
- [17] ARDUINO WEB EDITOR. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>> Acesso em 06 jun. 2019.
- [18] R. Eisberg, R. Resnick, Física Quântica, Elsevier, Rio de Janeiro (1979).