

# ANÁLISE DOS PRIMEIROS PICOS DE EMISSÃO MAGNÉTICA ESPONTÂNEA (SME) CORRESPONDENTES AO INÍCIO DA TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA EM UMA LIGA FE-NI-C<sup>1</sup>

Edgar Apaza Huallpa<sup>2</sup>  
Julio Capó<sup>3</sup>  
Linilson R. Padovese<sup>4</sup>  
Hélio Goldenstein<sup>4</sup>

## Resumo

A Emissão Magnética Espontânea (SME), um fenômeno descrito recentemente que se mostrou uma ferramenta útil para acompanhar a transformação martensítica, é utilizada neste trabalho para caracterizar as primeiras avalanches (“burst”) em uma liga Fe-Ni-C, correspondentes ao início da transformação na temperatura Ms. A origem destes picos de emissão é descrita de forma semi-quantitativa a partir da aplicação da primeira lei de Faraday, obtendo-se uma estimativa da velocidade de propagação da avalanche e da ordem de grandeza do número de átomos de Fe envolvidos em uma avalanche.

**Palavras-chave:** SME; Fe-Ni-C; Tratamentos sub-zero.

## ANALYSIS OF THE FIRST PEAK OF SPONTANEOUS MAGNETIC EMISSION (SME) CORRESPONDING TO THE MARTENSITIC START TRANSFORMATION IN A FE-NI-C ALLOY

## Abstract

The Spontaneous Magnetic Emission (SME), a recently described phenomenon that has been proved to be a useful tool to monitor the martensitic transformation, is used in this study to characterize the first avalanches (“burst”) in a Fe-Ni-C alloy, corresponding to the beginning of the transformation (temperature Ms). The origin of these emission peaks is described semi-quantitatively from the application of Faraday’s first Law, obtaining an estimate of the propagation speed of the avalanche and the order of magnitude of the number of Fe atoms involved in an avalanche.

**Key words:** SME; Fe-Ni-C; Subzero treatments.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>2</sup> Doutorando, Escola Politécnica (Poli), Universidade de São Paulo (USP), Brasil.

<sup>3</sup> Prof., Dr., Universidad de Oriente, Cuba.

<sup>4</sup> Prof., Dr., Poli, USP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O Spontaneous Magnetic Emission (SME),<sup>(1-3)</sup> corresponde às avalanches magnéticas provocadas pelo movimento das paredes de Bloch, o que desencadeia sinais magnéticos espontâneos durante a nucleação e crescimento de domínios de Weiss durante a transformação martensítica, cada evento relacionado ao crescimento de uma ou mais placas ou a um fenômeno de burst, uma avalanche de placas nucleadas por um fenômeno auto-catalítico.

O SME foi demonstrado experimentalmente num aço ferramenta AISI D2,<sup>(2)</sup> e uma liga Fe-Ni-C.<sup>(3)</sup>

Devido a sua aplicabilidade do ruído magnético de Barkhausen durante a transformação martensítica atermica, recentemente foi utilizado com sucesso para determinar a temperatura de início da transformação martensítica  $M_s$ .<sup>(4)</sup>

Devido a sua sensibilidade do SME na detecção de sinais, no presente trabalho se avalia o primeiro pico (início da transformação martensítica) e a quantidade de átomos envolvidos durante o início da transformação martensítica  $M_s$ .

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A liga invar Fe-Ni-C, fornecido pelo Dr. José Roberto Costa Guimarães com a composição química da Tabela 1.

Tabela 1.

C	Ni	Fe
0,035	32,27	Bal.

A liga Fe-Ni-C foi solubilizada a 750°C (por um tempo de 45 minutos), seguido por tempera rápida em água, temperatura esta escolhida depois de executar cálculos no Thermo-Calc® aliado ao banco de dados TCFE (Figura 1), onde só apresenta austenita.

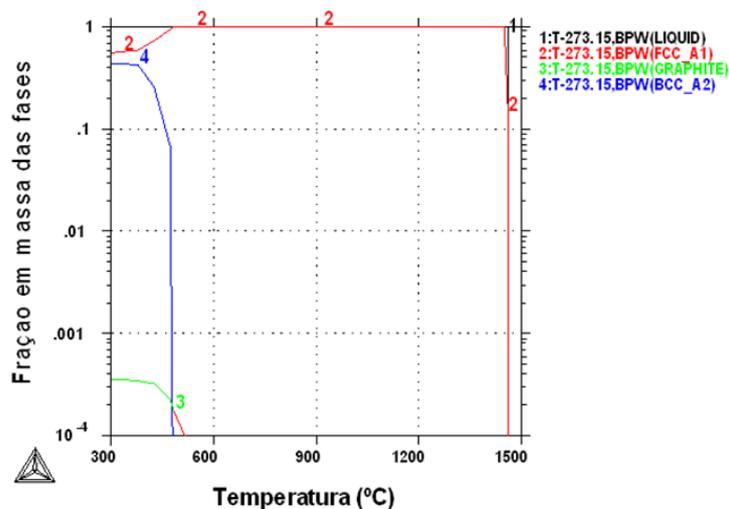


Figura 1. Mapa de fases para a liga Fe-Ni-C calculado pelo programa Thermo-Calc® aliado ao banco de dados TCFE. Nas ordenadas a escala é logarítmica (fração mássica das fases).

A medição de sinais SME (Figura 2) foi realizada com uma bobina de captação colocada ao redor da amostra, e seu acondicionamento eletrônico (composto de

uma bobina feita de um fio fino AWG 44 e 1.000 voltas, que tem uma alta sensibilidade, permitindo registrar pequenas variações de voltagem) equipamento portátil “BarkTech” desenvolvido no Laboratório de Dinâmica (LADIN). O sinal de saída foi medido continuamente através do equipamento Barktech e registrado num computador. A temperatura do material foi registrada com o sensor de termorresistencia PT-100 em simultâneo. A amostra, sensor magnético e da temperatura Forman imersos em um Dewar com nitrogênio liquido.

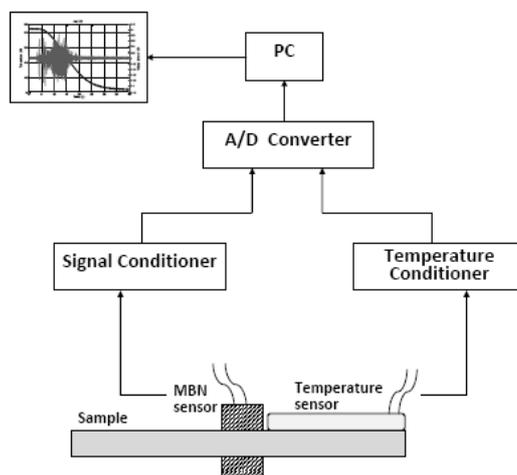


Figura 2. Diagrama do esquema de medição da Emissão Magnética Espontânea (SME).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras austeníticas de Fe-Ni-C foram resfriados de temperatura ambiente a 77 K, a Figura 3 mostra picos da emissão magnética espontânea (SME), capturados durante o resfriamento da amostra. O SME corresponde às avalanches magnéticas individuais provocadas pelo movimento das paredes de Bloch, cada evento relacionado ao crescimento de uma só placa ou um fenômeno de burst, foi uma avalanche de placas nucleadas auto-catalíticas. O início de atividade magnética com o resfriamento atinge um máximo de avalanches a 230 K e termina abaixo de 125 K.

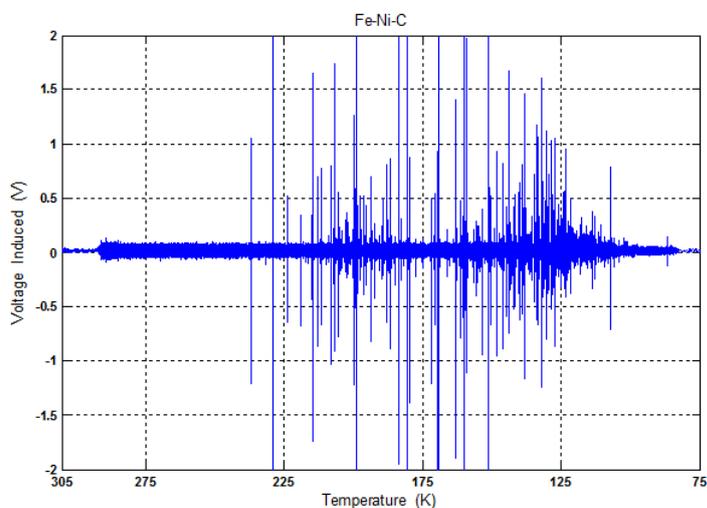


Figura 3. SME em função da temperatura.

Para avaliar o primeiro pico correspondente ao Ms, se fez uma ampliação da sinal em função do tempo (Figura 4), e ver com clareza a área da primeira sinal (Figura 5), para o estudo dos átomos envolvidos.

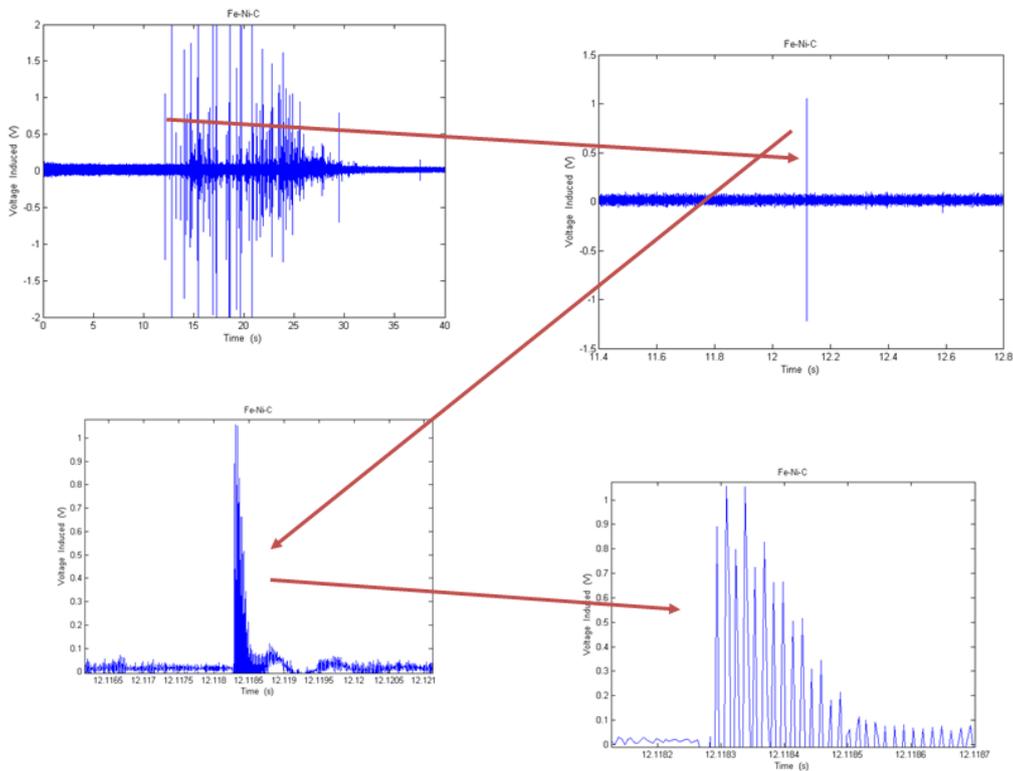


Figura 4. SME em função do tempo.

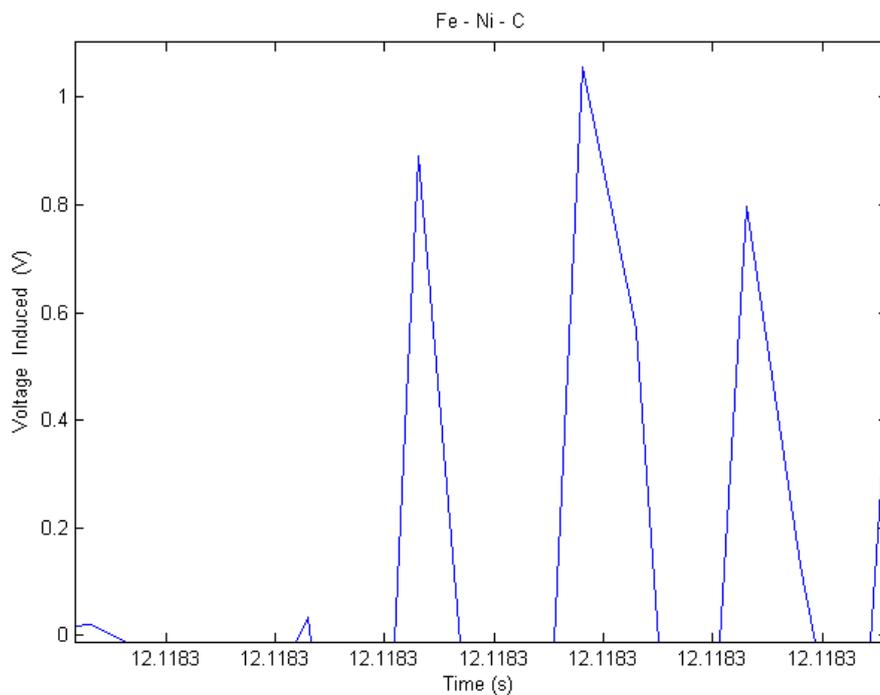
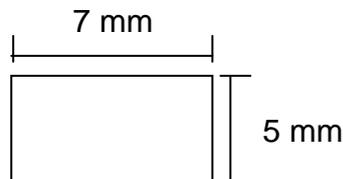


Figura 5. SME em função do tempo (ampliação do primeiro pico).

Calculo de átomos no primeiro pico:

Amostra (vista transversal) inserida em uma bobina feita (Figura 5) de um fio fino AWG 44 com 1.000 voltas.



Pela lei de indução de Faraday

$$s = -N \frac{d\varphi_m}{dt}$$

$\varphi_m$  ----- fluxo magnético

$N$  ----- Número de espiras

$$\varphi_m = BA$$

$B$  ----- campo magnético

$A$  ----- área transversal

$$B = \mu_0 M$$

$M$  ----- Magnetização

$$M = nm$$

$n$  ----- número de átomos por unidade de volumem

$m$  ----- momento magnético de cada átomo, o momento de Fe é  $2,2 m_B$

$m_B$  ----- magnéton de Bohr

$$s \int_0^X t = -N \times A \times \mu_0 \times 2,2 m_B \times n t$$

$$n = s \int_0^X t : ( N \times A \times \mu_0 \times 2,2 m_B )$$

$$s \int_0^X t = 9 \times 10^{-6} V \cdot s \text{ (do experimento do primeiro pico)}$$

$$N = 1000 \text{ voltas}$$

$$A = 35 \times 10^{-6} m^2$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} V \cdot s / m \cdot A$$

$$m_B = 9,27 \times 10^{-24} A \cdot m^2$$

$$n = 1 \times 10^{25} \text{ atomos}/m^3$$

Numa célula unitária

$$n_{CV} = n \times \frac{V_{CV}}{2}$$

$$V_{CV} = 2,35 \times 10^{-28} m^3$$

$$n_{CV} = 1,175 \times 10^{-4} \text{ atomos}$$

## **4 CONCLUSÃO**

Devido a sua sensibilidade no ensaio de SME, durante a transformação martensítica, deu para quantificar o primeiro pico, e a quantidade de átomos envolvidos, o que demonstra ser uma ferramenta muito útil e sensível.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao apoio do CNPq e da CAPES-PROEX.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 HUALLPA, E. A.; CAPO, J.; GOLDENSTEIN, H.; PADOVESE, L. R. Acompanhamento da transformação Martensítica por Emissão Magnética Espontânea (SME). 66<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM, São Paulo, Brazil, 2011.
- 2 J. Capó-Sánchez, E. A. Huallpa, P. Farina, L. R. Padovese and H. Goldenstein, Magnetic and Spontaneous Barkhausen Noise Techniques Used in Investigation of a Martensitic Transformation, Journal Applied Physics, v. 110, p. 083916-1 - 083916-6, 2011.
- 3 HUALLPA, E. A.; CAPO, J.; GOLDENSTEIN, H.; PADOVESE, L. R. Detecting martensitic transformation using spontaneous magnetic emission (SME) detection. International Conference on Martensitic Transformations (ICOMAT 2011), Osaka, Japan, 2011.
- 4 HUALLPA, E. A.; CAPO, J.; PADOVESE, L. R.; GOLDENSTEIN, H. Determining Ms temperature on a AISI D2 cold work tool steel using magnetic Barkhausen noise. Journal of Alloys and Compounds, aceito para publicação.