

# AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MAGNÉTICAS DO AÇO SILÍCIO DE GRÃO ORIENTADO (GO) UTILIZANDO QUADRO EPSTEIN E CHAPA ÚNICA<sup>1</sup>

*Dirceni de Souza Costa Amorim<sup>2</sup>*

*Jiliana Mara Coura<sup>3</sup>*

*Marcio José de Castro Justino<sup>4</sup>*

*Lucas Almeida Andrade<sup>5</sup>*

## **Resumo**

Uma forma de criar um campo magnético é por meio de cargas elétricas em movimento. Uma carga em movimento cria um campo magnético. Quando um material qualquer é submetido a um campo magnético, um processo de ordenamento ocorre na sua estrutura, induzindo a um certo nível de magnetização. Os aços silício fazem parte do grupo de materiais utilizados para fins eletromagnéticos por sua capacidade de amplificar milhares de vezes um campo magnético externamente aplicado. Essa propriedade especial é conhecida como permeabilidade magnética. Perda magnética é a potência elétrica despendida em forma de calor dentro dos núcleos dos aparelhos elétricos quando estes núcleos estão em processo de magnetização. Nos ensaios magnéticos existem varias arbitrariedades, que são cometidas por ser impossível saber ao certo o valor de algumas constantes. A reação do induzido é um campo magnético criado pela corrente do induzido, quando o gerador está operando sob carga. Este fluxo interage com o campo magnético produzido pelos pólos, provocando distorção, deslocamento e eventual alteração do valor do fluxo magnético resultante no entreferro da máquina.

**Palavras-chave:** Magnetismo; Fluxo magnético; Aços elétricos; Dispersão de fluxo.

## **EVALUATION OF THE MAGNETIC PROPERTIES OF GRAIN ORIENTED SILICON STEEL USING EPSTEIN FRAME AND SINGLE SHEET TESTER**

### **Abstract**

A form to create a magnetic field is by means of electric loads in movement. A load in movement creates a magnetic field. When any material is submitted to a magnetic field, a order process occurs in its structure, making a certain level of magnetization. The steel silicon are part of the group of materials used for electromagnetic ends for its capacity to amplify thousand of times a external magnetic field applied. This special property is known as magnetic permeability. Magnetic loss is the expended electric power in form of heat inside of the nucleus of the electric devices when these nucleus are in process of magnetization. In the magnetic assays exist many arbitrariness, that are committed by being impossible to know certain value of some constants. The reaction of the induced is a magnetic field created by the chain of the induced, when the generator is operating under load. This flow interacts with the magnetic field produced by the magnetic pole, making distortion, displacement and eventual alteration of the magnetic flow.

**Key words:** Magnetism; Magnetic flow; Electrical steel; Dispersion of flow.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

<sup>2</sup> *Graduando - nível superior em engenharia de materiais UNILESTEMG*

<sup>3</sup> *Graduando - nível superior em engenharia de materiais UNILESTEMG*

<sup>4</sup> *Mestrado em engenharia elétrica pela UFMG*

<sup>5</sup> *Graduando - nível superior em engenharia Mecânica UNILESTEMG*

## 1 INTRODUÇÃO

O aço silício de grão orientado é basicamente aplicado na fabricação de núcleos de transformadores, também é utilizado em reatores de potência, hidrogeradores e turbo geradores.<sup>(1)</sup> A principal característica deste produto é apresentar excelentes propriedades magnéticas na direção de laminação.<sup>(2)</sup>

O transformador é um equipamento estático cuja função é alterar níveis de tensões (e correntes) mantendo constante potência e frequência para uma dada tensão, frequência de alimentação e regime de operação induzido de força eletromotriz, uma vez que está submetido a um campo magnético alternativo.

Quanto melhor for o acoplamento magnético dos dois enrolamentos, ou seja, quanto maior for à quantidade de fluxo mútuo entre os dois enrolamentos, melhor será a qualidade do transformador.

Para aumentar o acoplamento magnético dos enrolamentos utiliza-se um núcleo de material ferro-magnético (aço silício de grão orientado) ao invés de ar.

Tal núcleo ferro-magnético tem por função “canalizar” o fluxo entre os enrolamentos reduzindo a quantidade de fluxo que não os enlaça simultaneamente.

O quadro Epstein, consiste de dois enrolamentos (primário e secundário) constituídos cada um de quatro segmentos de bobinas ligadas em serie que juntamente com o corpo de prova, formam o circuito magnético.

As bobinas são montadas em quatro carretéis, cada um dos quais suportando duas bobinas concêntricas. A bobina externa faz parte do enrolamento primário e a interna do enrolamento secundário. Cada bobina possui um quarto do numero total de espiras do enrolamento ao qual pertencem.<sup>(3)</sup>

Nesta geometria, os corpos de prova consistem em laminas com largura de 3 cm, comprimento entre 28 e 30,8 cm e espessura não superior a 1 mm(para o quadro de 25 cm).

A medida do campo magnético é dada pela relação abaixo:

$$H = \frac{Ni}{l}$$

Onde:

H é o campo aplicado (A/m) – Também denominado de força magnetomotriz;

N é o numero de espiras do enrolamento;

i é a corrente aplicada (A);

l é o comprimento do circuito magnético (m).

Utiliza-se um comprimento efetivo do circuito magnético,  $l = 0,94$  m. Ressalta-se que neste caso, existe uma descontinuidade dos enrolamentos do quadro. Para compensar o aumento da relutância nestes pontos de descontinuidade, as laminas são sobrepostas.

Na geometria chapa única, os corpos de prova são magnetizados na porção uniforme do campo magnético produzido por um solenóide. Os corpos de prova são barras com seção transversal retangular e não são ligados a armaduras de fechamento, de forma que as linhas do fluxo magnético emergentes do material são fechadas em ar.

São necessários diversos cuidados para os ensaios com esta geometria. Tratando-se de um circuito aberto, deve-se considerar a influência do campo magnético terrestre durante a medida, outro cuidado a se tomar refere-se ao campo desmagnetizante. Basicamente, devido às bordas livres do material, cria-se um campo magnético interno à amostra ( $H_d$ ), oposto ao campo aplicado ( $H_a$ ). Assim, o

campo efetivo de magnetização da amostra corresponde à diferença entre esses valores ( $H = H_a - H_d$ ).

A intensidade do campo magnético aplicado é geralmente determinada através da mesma equação utilizada no quadro Epstein. A indução magnética é determinada através da tensão induzida no enrolamento secundário do solenóide utilizando integradores eletrônicos.

## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As propriedades magnéticas dos aços silício são medidas através de teste que simulam núcleos de transformadores.

Este ensaio tem como objetivo determinar a perda de potência elétrica despendida em forma de calor dentro do núcleo do equipamento elétrico quando sujeito a forças magnetizantes alternadas. Baseia-se na medição das perdas magnéticas em W/kg utilizando o método Epstein para uma determinada indução e frequência.

O ensaio foi realizado utilizando um determinador das características magnéticas de aços elétricos fabricado pela Brockhaus.

Foram utilizadas amostras de aço silício de grão orientado com espessura de 0,27 mm, densidade de 7,65 g/cm<sup>3</sup>.

Foram medidas a perda magnética a 1,7T, frequência de 60Hz, e a permeabilidade magnética a 800A/m, frequência de 60 Hz. As medidas foram efetuadas utilizando o quadro Epstein e o chapa única, sendo 8 amostras montadas para compor o quadro Epstein e as mesmas 8 amostras medidas individualmente no chapa única.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 traz os resultados das propriedades magnéticas. As medidas foram efetuadas utilizando o quadro Epstein e o chapa única.

**Tabela 1** – Propriedades magnéticas das amostras, utilizando o chapa única (a) e o quadro Epstein (b).

<b>Chapa única</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Perda 17/60 (W/kg)</b>	<b>Perm. 800/60 (mT)</b>
<b>Am1</b>	1.420	1857
<b>Am2</b>	1.481	1862
<b>Am3</b>	1.414	1862
<b>Am4</b>	1.412	1860
<b>Am5</b>	1.479	1845
<b>Am6</b>	1.425	1862
<b>Am7</b>	1.417	1857
<b>Am8</b>	1.400	1858

(a)

<b>Quadro Epstein</b>		
<b>8 amostras</b>	1.382	1872

(b)

As Figuras 2 e 3 mostram a diferença entre os dois ensaios. Observa-se que os resultados magnéticos foram piores para o chapa única, o que significa que a perda

magnética aumentou e a permeabilidade diminuiu. Isto ocorre devido à maior dispersão de fluxo no chapa única.

Nesses ensaios magnéticos existem várias arbitrariedades, que são cometidas por ser impossível saber ao certo o valor de algumas constantes. Daí as normas assumem um valor convencional. O melhor exemplo disto é o comprimento do circuito magnético no quadro Epstein. O comprimento assumido é 94 cm. Esse é um valor arbitrário, podendo haver variações, pois assume um certo caminho para as linhas de fluxo magnético, quando saem de uma bobina e entram na outra.

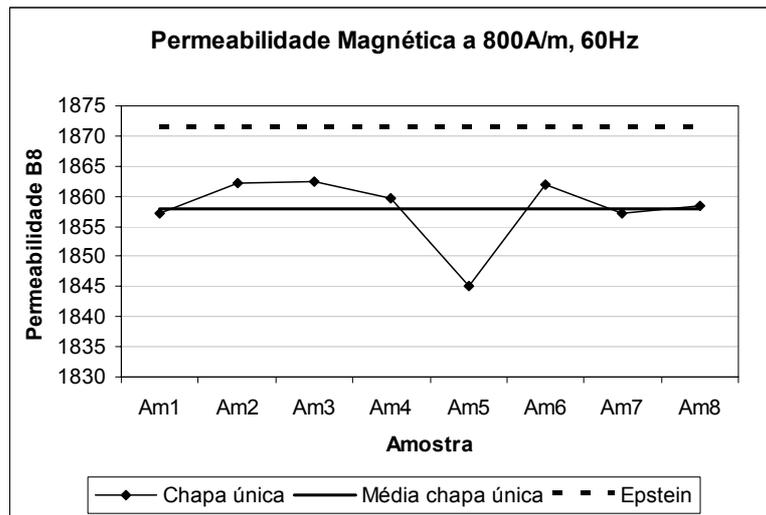


Figura 2 – Permeabilidade magnética medida a 800 A/m, 60Hz.

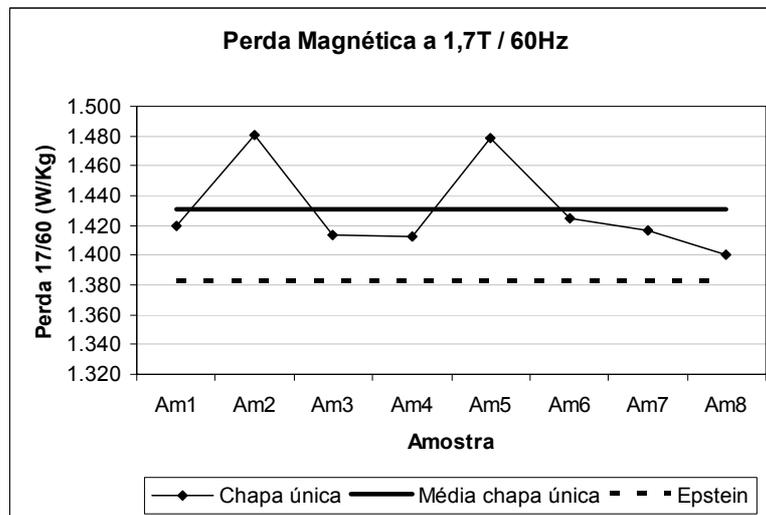


Figura 3- Perda magnética medida a 1,7T / 60Hz.

#### 4 CONCLUSÕES

As propriedades magnéticas pioraram quando medidas no chapa única. Sugere-se, que esta diferença seja em função da maior dispersão de fluxo que ocorre neste método de medição de propriedades magnéticas.

## REFERÊNCIAS

- 1 CULLITY, B. D. Introduction to magnetic materials. Reading, Addison-Wesley Publishing Company, 1972.666p.
- 2 ACESITA. Aços ao silício de grão orientado e aços ao silício de grão não orientado. Catálogo. s.n.t.
- 3 LANDGRAF, F. J. G. Aços para fins elétricos. São Paulo, IPT, 1998 /Apostila do curso organizado pelo laboratório de metalurgia do pó e materiais magnéticos do IPT/.