

Desenvolvimento de Ímãs para Palmilhas de Calçados

Moisés de Mattos Dias¹, Lírio Schaeffer², Arão de Matos Dias³
José Lesina Cezar⁴, José Carlos Krause de Verney⁵

Resumo

Este trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de ímãs para indústria têxtil, mais especificamente ímãs para palmilhas de calçados, a partir de ferrita de bário e estrôncio. O modelo dos ímãs desenvolvidos foi baseado em ímãs já fabricados para este fim produzidos por outros fornecedores. Diversas matérias-primas e variação de aditivos foram testadas, amostras foram confeccionadas e medidas, e os dados foram comparados aos outros ímãs produzidos comercialmente.

Palavras-chave: Ímãs Permanentes. Ferrita. Metalurgia do Pó.

Abstract

The aim of this work was the develop magnets for textile industry, more specifically magnets for inner soles of footwears, starting from barium and strontium ferrites. The model of the developed magnets was based on magnets manufactured for this application produced by other vendors. Several raw materials and variation of additives were tested. Samples were made and measure, and the data were compared to the other magnets commercially produced.

Keyword: Permanent Magnets. Ferrite. Powder Metallurgy.

¹Professor doutor do Departamento de Engenharia Eletrônica - Feevale. E-mail: moisesdias@feevale.br.

²Professor doutor do Metallurgy Dept. - UFRGS. E-mail: schaefer@vortex.ufgrs.br.

³Doutor em Engenharia Mecânica - TECSINTER.

⁴Professor doutor do Departamento de Engenharia Mecânica - ULBRA. E-mail: direngmecanica@ulbra.br.

⁵Professor doutor do Departamento de Engenharia Mecânica - ULBRA. E-mail: direngmecanica@ulbra.br.

Introdução

Este trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de ímãs para indústria têxtil a partir de ferrita de bário e estrôncio, relacionados a seguir:

- ◆ ímãs para palmilha (grande)
- ◆ ímãs para palmilha (pequeno)

O desenvolvimento ocorreu em parceria com as empresas Sintersul Metalurgia e TecSinter Metalurgia, empresas atuantes na área de Metalurgia do Pó. O modelo dos ímãs desenvolvidos foi baseado em ímãs existentes no mercado, já fabricados para este fim. Diversas matérias-primas foram testadas, bem como variação de aditivos. Amostras foram confeccionadas e medidas, e os dados foram comparados aos ímãs existentes no mercado.

É importante salientar que este trabalho não tem por objetivo estudar ou fazer qualquer esclarecimento sobre suas aplicações ou influências de ímãs permanentes no corpo humano, benéficas ou não, limitando-se ao desenvolvimento das ligas e peças magnéticas, de acordo com as características exigidas por fabricantes de calçados com palmilhas magnéticas no estado do Rio Grande do Sul.

1. Obtenção de Ímãs de Ferrita

As ferritas duras, também conhecidas por ferroxdure, possuem uma estrutura cristalina hexagonal simples. São representadas pela composição química $MO.6Fe_2O_3$, onde M representa bário, estrôncio, ou uma combinação de ambos. Alguns aditivos como SiO_2 , BiO_2 e Al_2O_3 , são benéficos para aumentar a coercitividade e melhorar a sinterização possibilitando, por exemplo, diminuição da temperatura de sinterização. Os lubrificantes utilizados são à base de estearatos. Uma típica ferrita dura é obtida pela mistura de SrO ou carbonatos (ferrita de estrôncio), ou BaO (ferrita de bário), com Fe_2O_3 . A mistura é calcinada em temperatura acima de 1095 °C para formar os compostos complexos. Posteriormente, é realizada a moagem a úmido para partículas finas em torno de alguns micrometros, onde o composto é compactado em matriz e, após, sinterizado. A pressão de compactação é em torno de 150 a 200 MPa, e a sinterização é feita entre 1200 e 1300 °C. Na sinterização, a peça contrai linearmente entre 10 e 20% e esta contração depende, principalmente, da pressão de compactação. Quanto maior a pressão de compactação menor será a contração na sinterização e vice-versa (CULLITY, 1967, JILES, 1991, SLICK, 1980).

As propriedades magnéticas de retentividade e coercitividade são a base para análise de materiais magnéticos, como os ímãs permanentes de ferrita, e são obtidas a partir da curva de histerese. Esta curva relaciona campo magnético **H** aplicado a um material, com a indução magnética **B** resultante. Para os materiais magnéticos duros ou ímãs permanentes, a relação **BxH** tem as características mostradas na Fig. 01 (JILES, 1991, Crucible Material Corporation, KRAUS, 1978).

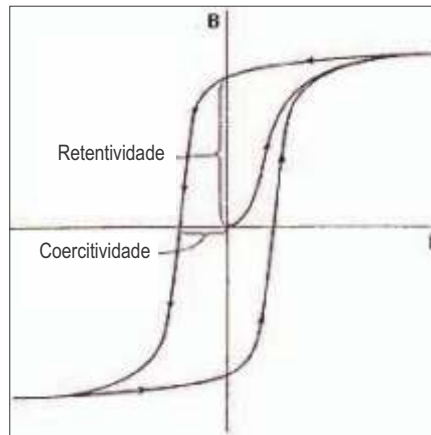


Figura 1: Ciclo de histerese para um material magnético.

O ponto em que a curva corta o eixo de **B**, no quadrante superior esquerdo, é denominado de *magnetismo remanente* ou *retentividade B_r* , e representa a indução magnética residual que permanece no material sem campo magnético aplicado ($H = 0$). No sistema CGS de unidades (mais utilizado para caracterização de materiais magnéticos), **B** é dado em Gauss [**G**]. O ponto em que a curva corta o eixo de **H** no mesmo quadrante é denominado de *força coercitiva* ou *coercitividade H_c* e representa o campo magnético necessário para desmagnetizar o espécime ($B = 0$). O sistema CGS **H** tem como unidade o Oersted [**Oe**]. Outro fator importante na identificação dos materiais magnéticos é o produto energético Bh_{max} , cuja unidade no sistema CGS é Mega Gauss Oersted [**MG.Oe**] e está associado com a densidade de energia armazenada em um material magnético. (JILES, 1991, KRAUS, 1978).

Entre as tecnologias de fabricação mais utilizadas na obtenção de materiais magnéticos através de processos metalúrgicos, citam-se a *fundição* e um ramo mais recente da metalurgia de transformação, denominado *Metalurgia do Pó (M/P)*. A M/P é utilizada, pois, através destes processos, consegue-se a orientação magnética das partículas que constituem o material trabalhado. Assim, é possível obter-se propriedades magnéticas de retentividade muito superiores àquelas obtidas pelos processos metalúrgicos convencionais como a fundição. Acrescenta-se a isto que pós de diferentes natureza química são fáceis de se obter bastando que se misture os pós homogeneamente (CHIAVERINI, 1992, BRADBURY, 1986, GERMAN, 1984).

A produção de ímãs de ferrita, por se tratar de materiais cerâmicos e, conseqüentemente, ponto de fusão elevado, devem ser fabricadas por metalurgia do pó, uma vez que, na tecnologia de fundição, seriam necessários fornos com temperaturas muito elevadas.

Os quatro processos básicos da M/P são: obtenção dos pós, mistura, compactação e sinterização. Às vezes é necessária uma quinta etapa, como a retificação. Na M/P, os pós, depois de serem misturados, são compactados em matrizes, onde adquirem a forma da cavidade da matriz. Após, são colocados em fornos para sinterização, onde adquirem consistência e resistência mecânica (CHIAVERINI, 1992, BRADBURY, 1986, GERMAN, 1984).

Para a fabricação de ímãs permanentes, acrescenta-se a etapa de magnetização. Nesta etapa, os ímãs a serem magnetizados são colocados em circuitos magnéticos compostos por núcleos de ferro e bobinas. A corrente elétrica que circula nas bobinas é elevada, podendo atingir até milhares de ampères. Esta corrente elevada é fornecida por fontes de tensão contínua, sendo a mais conhecida a descarga capacitiva. A Fig. 02 mostra o fluxograma de fabricação de ferritas (NFT – Catálogo de Consulta, 1989).

Fluxograma de Fabricação de Ferritas

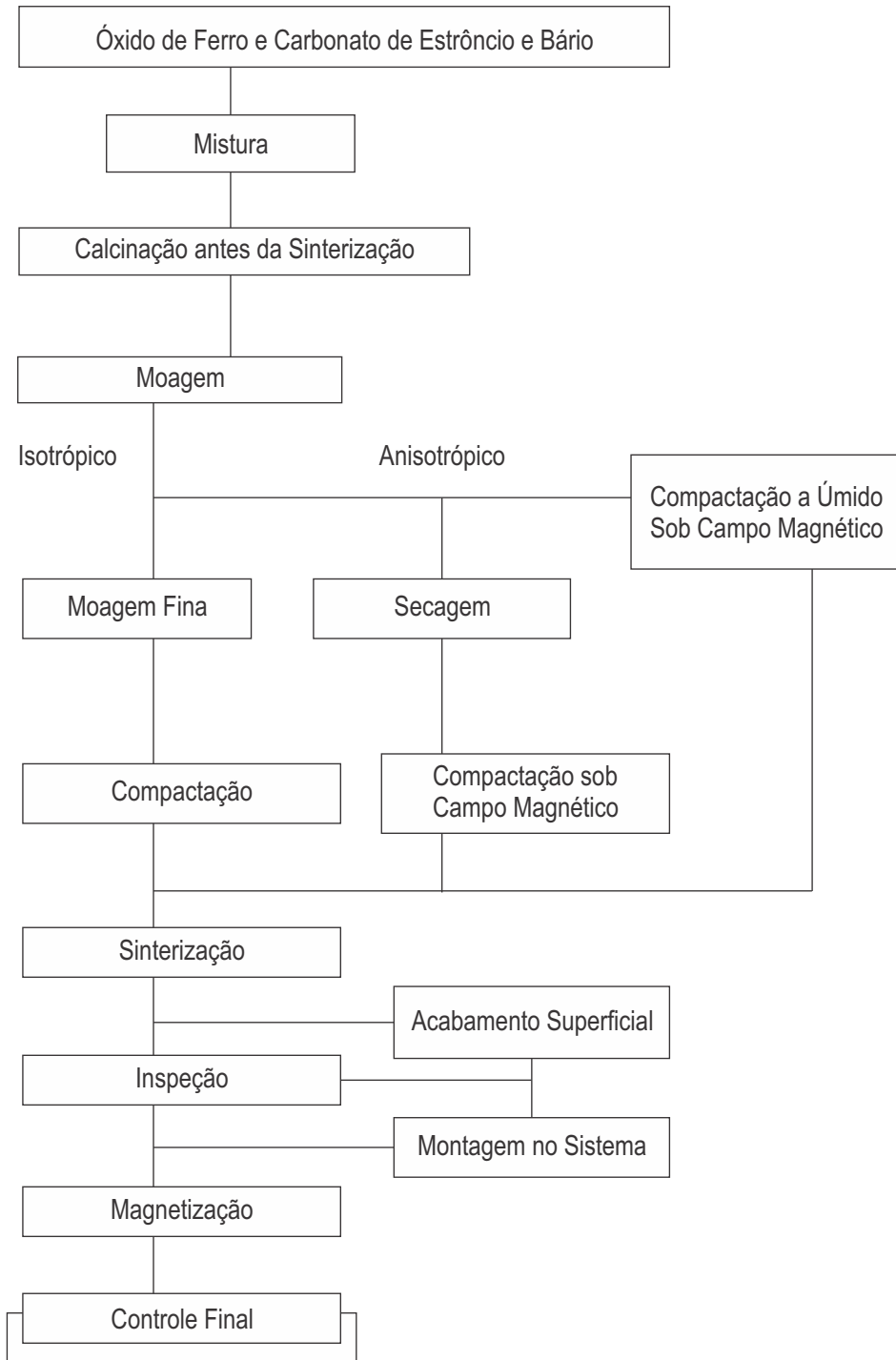


Figura 2: Fluxograma de fabricação das ferritas.

A Fig. 03 mostra a vista frontal em corte de uma matriz para compactação de duplo efeito, utilizada para compactação de pós de materiais magnéticos. (CHIAVERINI, 1992, BRADBURY, 1986, GERMAN, 1984).

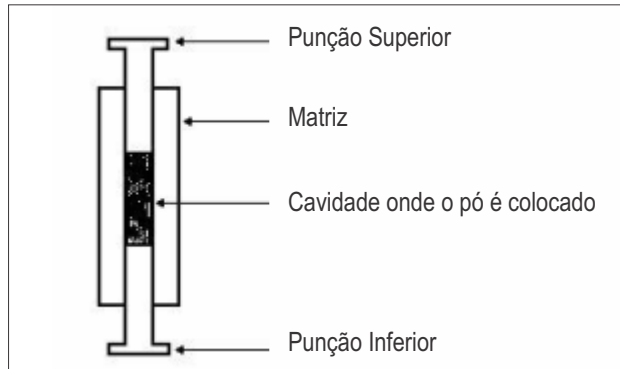


Figura 3: Matriz de duplo efeito utilizada para compactação de materiais magnéticos.

2. Estrutura Utilizada

Como este estudo tratava de uma produção industrial em alta escala deste tipo de ímã, os testes para compactação já ocorreram em prensas excêntricas, cujas fotografias estão mostradas nas Fig. 04 (a e b). Uma vez que já se conheciam as características básicas da matéria-prima e aditivos, pressão e temperatura de sinterização a serem utilizadas, iniciou-se com o desenvolvimento das matrizes, já considerando uma produção em escala industrial, onde foram testadas composições das ligas e dos aditivos. A Fig. 04 (a) mostra, no primeiro plano, uma prensa de 10 toneladas e, no segundo plano, uma prensa de 15 toneladas. Neste tipo de prensa, semi-automatizada ou automatizada mecanicamente, não existe controle de pressão através de medições por uma célula de carga, por exemplo. Assim, a regulação da pressão de compactação se dá a partir da variação da altura da cavidade de enchimento de pó na matriz, antes e após a compactação. Por medições indiretas e comparativas, realizadas em corpos de prova compactados em prensas controladas e sensoriadas, estima-se a pressão de compactação de acordo com a altura da cavidade.

Testes preliminares e dados bibliográficos definem como pressão de compactação das ferritas um valor entre 150 a 200 MPa. Dependendo do tipo de ferrita e dos aditivos utilizados, esta pressão causa uma redução no volume de aproximadamente 1/3.

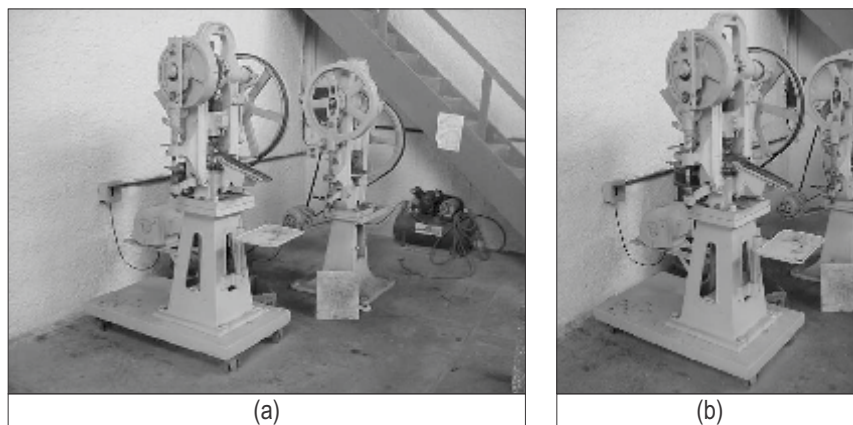


Figura 4: Prensas excêntricas.

A sinterização foi realizada no forno mostrado na Fig. 05. Devido à natureza de óxido das ferritas, a sinterização foi realizada com atmosfera ambiente, sem a necessidade da utilização de gases inertes ou atmosfera controlada. De acordo com testes preliminares e dados bibliográficos, a temperatura de sinterização foi definida entre 1100 a 1250 °C, permanecendo nesta temperatura por 2 horas aproximadamente, com uma taxa de aquecimento com variação aproximada de 2 a 5 °C / min. Com esta baixa taxa de aquecimento, não é necessário patamar intermediário de temperatura para retirada dos aditivos, como o lubrificante e o ligante. De acordo com o tipo de ferrita e dos aditivos utilizados, a contração linear no volume apresentou uma variação aproximada de 10 a 12%.

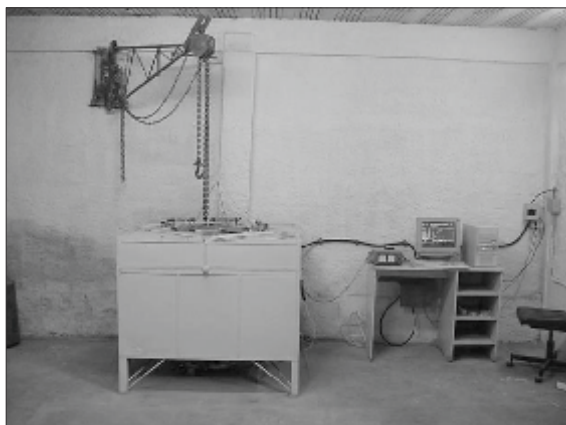
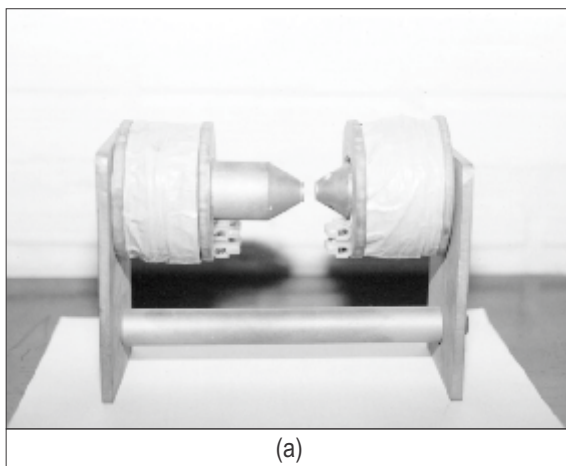


Figura 5: Forno.

A magnetização das peças foi realizada no magnetizador mostrado na Fig. 06(a). Este magnetizador consiste de um núcleo magnético de ferro maciço envolto duas por bobinas, com um entreferro. Para a magnetização dos ímãs, considera-se um campo de aproximadamente duas vezes o campo desmagnetizante (coercitividade H_c). Nesta condição de campo magnético igual a $2 \times H_c$, garante-se um campo capaz de magnetizar o ímã até a saturação. Assim, coloca-se o sensor Hall do medidor de campo magnético (gaussímetro) no entreferro do magnetizador e ajusta-se a fonte de tensão que alimenta as bobinas até uma corrente elétrica capaz de gerar o campo magnético necessário para magnetização do ímã, conforme mostra a Fig. 6 - (b). Após retira-se o sensor e coloca-se o ímã no entreferro, ajustando a mesma corrente medida anteriormente, conforme mostra a Fig. 06-(c).



(a)

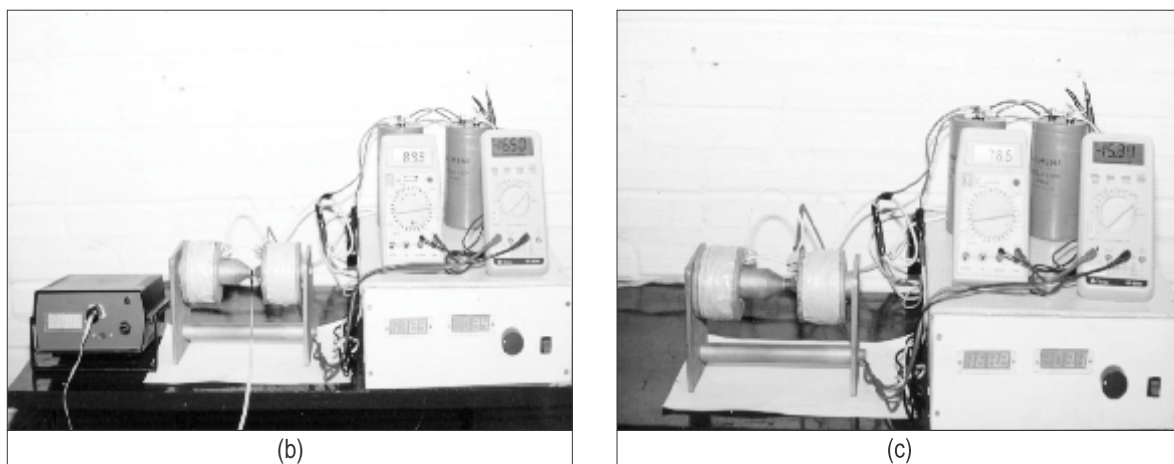


Figura 6: Magnetizador.

A leitura do magnetismo remanente superficial dos ímãs foi realizada com um gaussímetro mostrado na Fig. 06-(d). Este dispositivo, construído a partir de sensor de efeito Hall linear, é capaz de medir campo magnético e indução magnética no sistema GCS de unidades. Neste sistema de unidades, a relação entre campo e indução no vácuo ou ar é unitária, ou seja $\mu_0 = 1$.



Figura 7: Gaussímetro.

3. Matéria-Prima

Para confecção dos espécimes, foram utilizados 5 tipos de pós, relacionados na Tab. 01 com suas propriedades magnéticas.

Tabela 1: Relação dos pós e suas propriedades magnéticas.

Nome	Tipo	Br [Gauss]	Hc (Hci) [Oersted]
Pulverox PLF 2,3	Ferrita de Ba	1450	2800
Pulverox PO2 2,3	Ferrita de Ba	1380	2350

Pulverox pO7	Ferrita de Sr	3950	3300
H 100	Ferrita de Sr	2000	4100
HM 239	Ferrita de Sr	4000	3200

Obs: Os dados relacionados na Tab. 01 são dados dos fabricantes. Embora os catálogos não sejam claros, deduz-se que alguns pós são para compactação isotrópica e outros anisotrópicas (maior **Br**).

Os aditivos utilizados compreendiam as seguintes substâncias para as quais foi designada uma sigla para melhor identificação das ligas testadas:

- ◆ Estearato de Zinco (lubrificante) - [**lub**]
- ◆ Ácido Esteárico (ligante) - [**Ac**]
- ◆ Sílica (densificador) - [**Sil**]

Os pós foram preparados da seguinte maneira:

◆ O óxido de silício (sílica) era obtido na forma de pequenas pelotas e era moído em um moinho atritor de alta velocidade, até tornar-se um pó semelhante a um talco.

◆ A ferrita, o ácido esteárico e a sílica eram misturados nas devidas proporções, num misturador convencional por aproximadamente 30 min e, após, colocados num forno a uma temperatura aproximada de 180 °C por aproximadamente 20 min. Nesta temperatura, o ácido esteárico funde, ocasionando uma aglomeração das partículas de pó da ferrita. O uso do ácido esteárico melhora significativamente o acabamento superficial e reduz a temperatura de sinterização.

◆ Após o resfriamento da ferrita, um lubrificante sólido à base de estearato de zinco era adicionado à ferrita e novamente colocado no misturador convencional por mais 30 minutos.

Visualmente, a partir destas etapas relacionadas anteriormente, percebia-se que o pó puro de ferrita passava de um aspecto semelhante a um talco para um aspecto semelhante a areia fina, ou seja, tamanhos de partículas de pó maiores e de fácil fluidez.

4. Ímãs Desenvolvidos

A partir de ímãs produzidos comercialmente, suas propriedades magnéticas e dimensões, e considerando a redução de altura na compactação e contração na sinterização, foram dimensionadas as matrizes para cada tipo de ímã desenvolvido. As matrizes foram usinadas em aço ferramenta D6, temperadas, revenidas e retificadas. Devido às disparidades nas dimensões da peça sinterizada (acabada) e da peça verde (somente compactada, não sinterizada), existe uma diferença de aproximadamente 10% entre o diâmetro da peça sinterizada e o diâmetro da cavidade e punções da matriz.

Conforme pode ser observado, dois protótipos para cada tipo de ímã foram confeccionados. A diferença entre os primeiros e segundos protótipos era mínima, resumindo-se apenas a alterações nas extremidades (superfícies) dos punções inferior e superior. Isto provoca pequenas alterações nas superfícies de baixo e de cima dos ímãs. Assim, os segundos protótipos são aprimoramentos no acabamento dos primeiros protótipos.

A Tab. 02 mostra as características que devem apresentar os ímãs desenvolvidos, tendo como base os ímãs comerciais, conforme demonstrado a seguir.

◆ **Sinterizado**: dimensões finais dos ímãs comerciais medidos.

◆ **Compactado**: dimensões dos ímãs não-sinterizados e conseqüentemente, dimensões das matrizes, considerando uma contração linear e perda de massa de 10 % na sinterização.

◆ **m**: massa dada em gramas.

◆ **h e d**: altura e diâmetro, respectivamente, dados em milímetro.

◆ **M**: magnetismo remanente superficial medido no centro da parte superior dos ímãs.

Tabela 2: Características dos ímãs comerciais.

Modelo	Sinterizado			Compactado			M [Gauss]
	m [gr]	h [mm]	d [mm]	m [gr]	h [mm]	d [mm]	
Palmilha Grande (Fornecedor A)	1,0	2,6	12,0	1,1	2,9	13,3	500
Palmilha Grande (Fornecedor B)	1,0	2,6	12,0	1,1	2,9	13,3	750
Palmilha Pequena (Fornecedor A)	0,5	2,8	8,2	0,5	3,1	9,1	500

As primeiras versões dos ímãs produzidos tiveram por base a forma dos ímãs do fornecedor **A**. Após comparações com os ímãs produzidos pelo fornecedor **B**, constatou-se que os ímãs deste último apresentavam melhores propriedades magnéticas, além de um melhor acabamento superficial. A diferença fundamental na geometria entre os ímãs dos dois fornecedores está relacionada com o abaulamento das superfícies, porém as dimensões e a massa eram aproximadamente iguais. Estes fatos justificam o desenvolvimento das segundas versões dos ímãs. Também por este motivo, a geometria final dos ímãs foi aproximada àquela geometria dos ímãs do fornecedor **B**. Assim, os desenhos dimensionais a seguir têm por base a forma dos ímãs do fornecedor **B**.

As matrizes foram desenvolvidas para serem utilizadas nas prensas citadas anteriormente. Como os ímãs desenvolvidos têm dimensões próximas, e os suportes para as matrizes das duas prensas são idênticos, as bases de todas as matrizes também são idênticas. Assim, o desenho dimensional básico das matrizes é idêntico, conforme mostra a Fig. 07. Portanto o que varia em cada matriz são os diâmetros das punções e cavidades e a forma da extremidade das punções, variações estas que estão relacionadas a seguir para cada tipo de ímã.

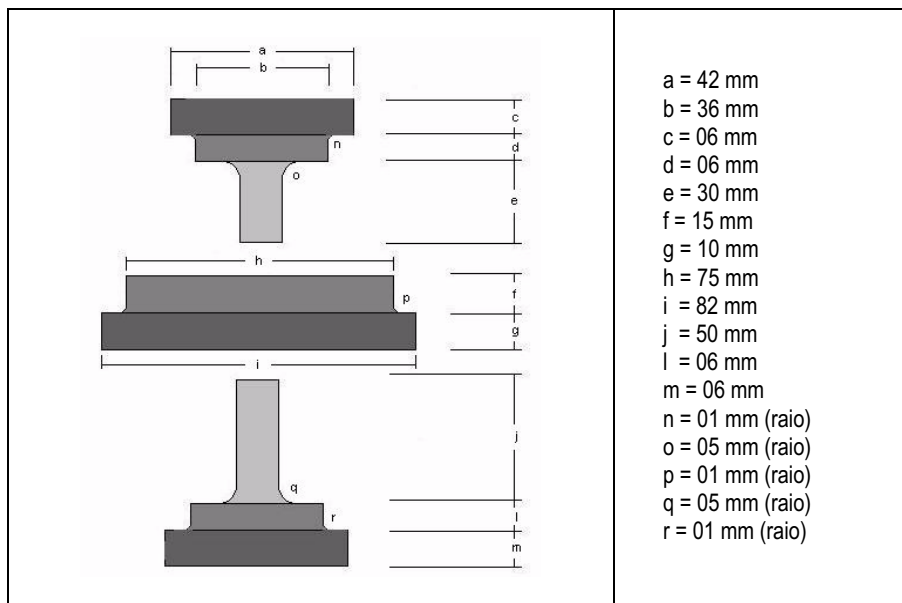


Figura 8: Desenho dimensional básico das matrizes.

Ímã para Palmilha Grande

A Fig. 08 mostra o desenho dimensional do ímã para palmilha grande e a Fig. 09 mostra a fotografia da matriz.

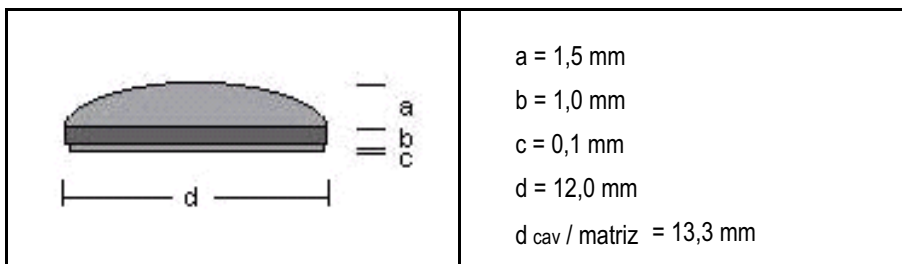


Figura 9: Desenho dimensional do ímã para palmilha grande.

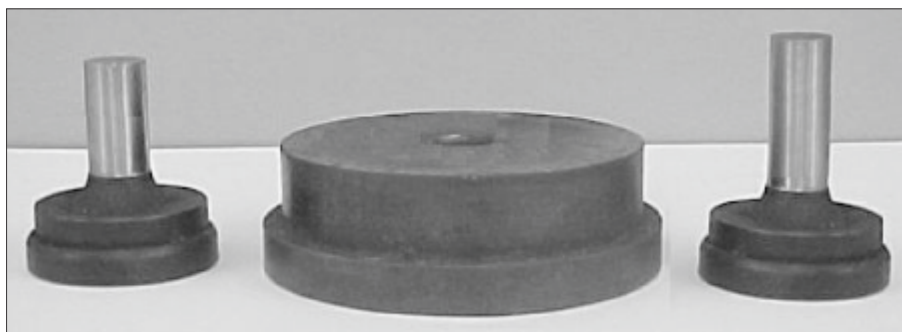


Figura 10: Fotografia da matriz do ímã para palmilha grande.

As Figs. 10-(a) e (b) mostram as fotografias da vista lateral e superior, respectivamente, da primeira versão do ímã para palmilha grande (primeiro protótipo), e as Figs. 11-(a) e (b) mostram as fotografias da segunda versão deste tipo de ímã (segundo protótipo).

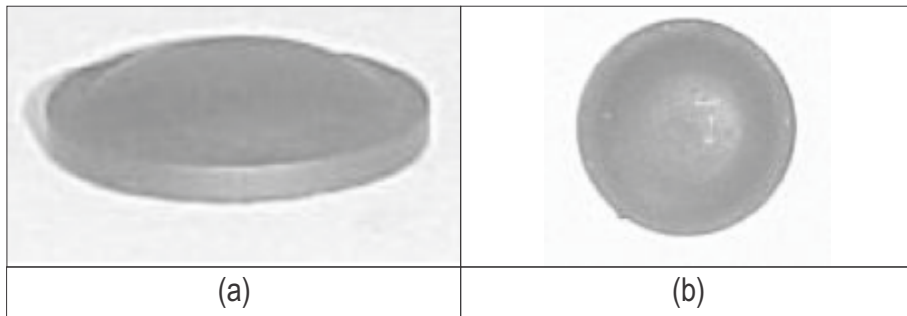


Figura 11: Primeira versão do ímã para palmilha grande.

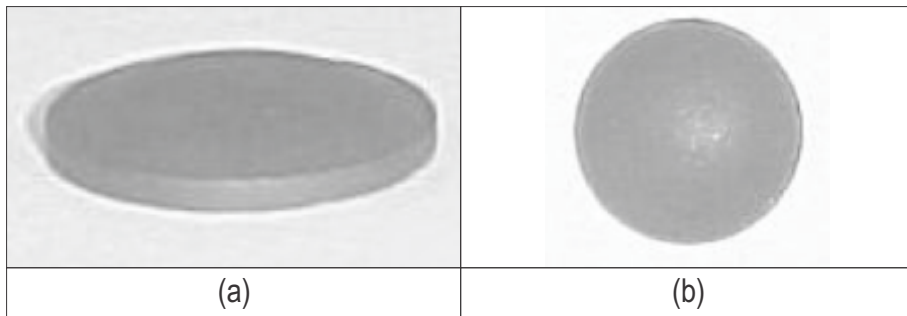


Figura 12: Segunda versão do ímã para palmilha grande.

Ímã para Palmilha Pequena

A Fig. 12 mostra o desenho dimensional do ímã para palmilha pequeno e a Fig. 13 mostra a fotografia da matriz.

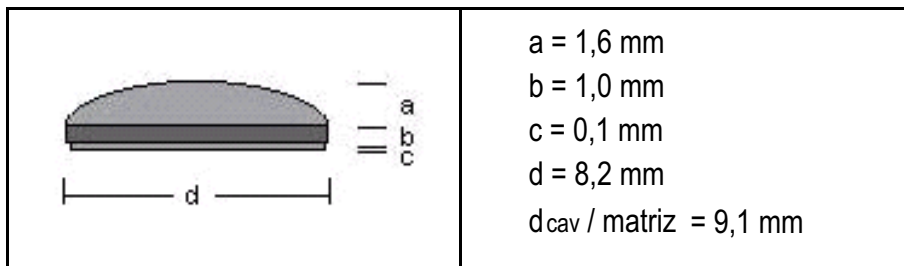


Figura 13: Desenho dimensional do ímã para palmilha pequena.



Figura 14: Matriz do ímã para palmilha pequena.

As Figs. 14-(a) e (b) mostram as fotografias da vista lateral e superior, respectivamente, da primeira versão do ímã para palmilha pequena (primeiro protótipo), e as Figs. 15-(a) e (b) mostram as fotografias da segunda versão deste tipo de ímã (segundo protótipo).

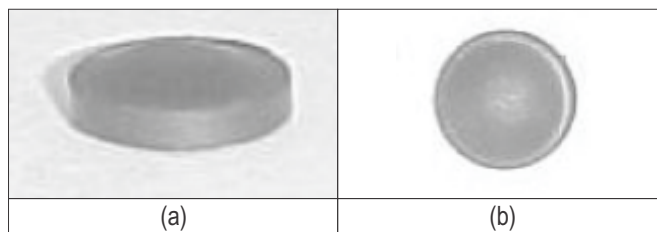


Figura 15: Primeira versão do ímã para palmilha pequena.

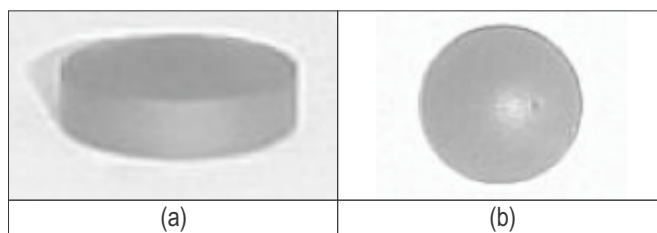


Figura 16: Segunda versão do ímã para palmilha pequena.

5. Dados dos Ímãs Confeccionados

As tabelas a seguir relacionam os espécimes obtidos, onde as características anotadas de cada tipo de ímã e liga correspondem a uma média das medidas de três peças. Optou-se por confeccionar três peças de cada liga e tipo de ímãs, a fim de obter-se uma medida mais confiável destas médias, descartando-se as peças com medidas muito discrepantes. Os dados referem-se aos ímãs da segunda versão de cada protótipo, uma vez que estas geometrias para os ímãs apresentavam melhores propriedades magnéticas e acabamento superficial. Os dados referentes às primeiras versões dos ímãs foram desconsiderados. A Tab. 04, que mostra as características dos ímãs de palmilha pequena, não apresenta dados para alguns tipos de ligas. Isto ocorre porque, a partir dos dados verificados na Tab. 03, que mostra as características dos ímãs de palmilha grande, verificou-se que certas ligas não apresentariam as propriedades necessárias para o desenvolvimento destes ímãs.

Ímã para Palmilha Grande

A Tab. 03 mostra as características medidas para cada tipo de liga dos ímãs para palmilha grande.

Tabela 3: Características medidas dos ímãs para Palmilha Grande.

Liga	Compactado			Sinterizado			Contração%			M [G]
	m [gr]	h [mm]	d [mm]	m [gr]	h [mm]	d [mm]	m	h	d	
PLF 1% Sil + 8% Ac.	1,03	3,00	12,70	0,93	2,97	12,10	10,75	1,01	4,96	400
PLF 2% Sil + 8% Ac.	1,00	3,00	12,70	0,90	2,90	12,00	11,11	3,45	5,83	400

PLF 1% Sil + 4% Ac.	1,03	3,00	12,70	0,93	2,80	12,20	10,75	7,14	4,10	500
PLF 2% Sil + 4% Ac.	1,00	3,00	12,70	0,93	2,80	12,10	7,53	7,14	4,96	500
PO2 1% Sil + 8% Ac.	1,00	3,03	12,70	0,93	3,03	12,40	7,53	0,00	2,42	350
PO2 2% Sil + 8% Ac.	0,97	2,97	12,70	0,90	2,90	12,30	7,78	2,41	3,25	300
PO2 1% Sil + 4% Ac.	0,93	2,93	12,70	0,87	2,73	12,37	7,00	7,33	2,67	300
PO2 2% Sil + 4% Ac.	0,97	3,00	12,70	0,90	2,70	12,30	7,78	11,11	3,25	300
p07 1% Sil + 8% Ac.	1,00	3,10	12,70	0,97	3,10	12,60	0,00	3,09	0,79	400
p07 2% Sil + 8% Ac.	0,97	3,13	12,70	0,93	3,07	12,40	4,30	1,95	2,42	450
p07 1% Sil + 4% Ac.	1,00	3,07	12,70	0,93	2,93	12,60	7,53	4,78	0,79	450
p07 2% Sil + 4% Ac.	0,90	2,93	12,70	0,90	2,83	12,50	0,00	3,53	1,60	350
HM 239 1% Sil + 8% Ac.	1,00	3,07	12,70	0,93	3,20	12,30	7,53	-4,20	3,25	450
HM 239 2% Sil + 8% Ac.	0,97	2,97	12,70	0,87	3,10	12,30	11,49	-4,20	3,25	350
H 100	0,87	2,93	12,70	0,87	2,63	11,55	0,00	11,14	9,96	450

Obs1: O percentual de lubrificante foi de 1% para todas as ligas.

Obs2: O material H100 é uma ferrita já preparada com todos os aditivos (conforme dados do produto).

Ímã para Palmilha Pequena

A Tab. 04 mostra as características medidas para cada tipo de liga dos ímãs para palmilha pequena.

Tabela 4: Características medidas dos ímãs para Palmilha Pequena.

Liga	Compactado			Sinterizado			Contração%			M [G]
	m [gr]	h [mm]	d [mm]	m [gr]	h [mm]	d [mm]	m	h	d	
PLF 1% Sil + 8% Ac.	0,47	3,03	8,40	0,40	3,00	8,10	17,50	1,00	3,70	460
PLF 2% Sil + 8% Ac.	0,50	3,17	8,40	0,50	3,17	8,10	0,00	0,00	3,70	520
PLF 1% Sil + 4% Ac.	0,43	2,80	8,40	0,40	2,70	8,10	7,50	3,70	3,70	540
PLF 2% Sil + 4% Ac.	0,60	3,13	8,40	0,50	3,07	8,10	20,00	1,95	3,70	550
PO2 1% Sil + 8% Ac.	0,50	3,47	8,40	0,50	3,30	8,10	0,00	5,15	3,70	550
PO2 2% Sil + 8% Ac.	0,65	3,83	8,40	0,55	3,83	8,20	18,18	0,00	2,44	550
PO2 1% Sil + 4% Ac.	0,60	3,50	8,40	0,60	3,43	8,10	0,00	2,04	3,70	580
PO2 2% Sil + 4% Ac.	0,67	3,67	8,40	0,60	3,50	8,20	11,17	4,86	2,44	580
p07 1% Sil + 8% Ac.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

p07 2% Sil + 8% Ac.	0,53	3,40	8,40	0,50	3,37	8,10	6,00	0,89	3,70	550
p07 1% Sil + 4% Ac.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
p07 2% Sil + 4% Ac.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HM 239 1% Sil + 8% Ac.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HM 239 2% Sil + 8% Ac.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H 100	0,50	3,54	8,40	0,50	3,22	7,62	0,00	10,00	10,24	600

Obs1: O percentual de lubrificante foi de 1% para todas as ligas.

Obs2: O material H100 é uma ferrita já preparada com todos os aditivos (conforme dados do produto).

Análise dos Resultados e Conclusões

Os dados relevantes a serem considerados para a análise dos resultados e as conclusões estão, em ordem de importância, relacionados a seguir:

- a) magnetismo remanente superficial;
- b) rachaduras ou fraturas;
- c) dimensões;
- d) acabamento superficial.

Uma vez que estes ímãs raramente são usados expostos (quase sempre sob um tecido, plástico ou borracha), dimensões e acabamento superficial não são fatores críticos. O magnetismo remanente realmente é o fator mais importante, visto que os critérios magnéticos são razoavelmente rígidos e exigidos pelos fabricantes de palmilha para calçados.

Comparando os dados das Tabs. 03 e 04 (ímãs desenvolvidos) com a Tab. 02 (ímãs comerciais), foram possíveis as seguintes conclusões, considerando cada tipo de ímã e ligas.

Ímã para Palmilha Grande

As ligas a partir da ferrita de bário PLF com 4% de ácido esteárico mais 1 ou 2% de sílica apresentaram o maior magnetismo remanente (500 Gauss), ficando idêntico ao ímã do fornecedor **A**. As outras ligas apresentaram magnetismo remanente menor. Este ímã, com esta liga, foi considerado aprovado pela empresa de palmilhas que o testou.

Ímã para Palmilha Pequena

As ligas a partir da ferrita de bário PO2 com 4% de ácido esteárico mais 1 ou 2% de sílica apresentaram o maior magnetismo remanente (580 Gauss), ficando maior que o ímã do fornecedor **A** (500 Gauss). As outras ligas apresentaram magnetismo remanente menor, mas todas elas tiveram magnetismo remanente igual ou maior que os ímãs do fornecedor **A**. Este ímã, independente da liga, foi considerado aprovado pela empresa de palmilhas que o testou.

Referências

- CULLITY, B. D. Introduction to Magnetic Materials. Adison. **Wesley Publishing Company, Massachusetts**, 1967. 514p.
- JILES, D. **Introduction to Magnetism and Magnetic Materials**. London, Chapman and Hall, 1991. 440p.
- SLICK, P.I. **Ferro Magnetic Materials**. Amsterdam. **North - Holland Publishing Company**, 1980. 239p.
- PERMANENT MAGNET MATERIALS. Special-Purpose Material. Revised by J.W.Fiepke, **Crucible Magnetics, a Division of Crucible Material Corporation**. p.782-803.
- KRAUS, J.D. & CARVER, K.R. **Eletromagnetismo**. R. Janeiro, Guanabara, 1978. 780p.
- CHIAVERINI, V. **Metalurgia do Pó**. S.Paulo: Édile Serviços Gráficos e Editora Ltda, 1992. 352p.
- BRADBURY, S. **Powder Metallurgy Equipment Manual**. New Jersey, USA, MPIF, 1986. 199p.
- GERMAN, R. M. **Powder Metallurgy Science**. New Jersey, Metal Powder Industries Federation, 1984, 279p.
- NFT**. Catálogo de Consulta. Junho/1989. Alemanha.

