

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS METÁLICOS PROVENIENTES DO PROCESSO DE RETÍFICAÇÃO DOS ANÉIS DE PISTÃO.

J. C. Dias, jcelio@unifei.edu.br¹
A. Teixeira, amauri_t@terra.com.br¹
E.M. da Silva, m_eduardo_silva¹
M.R. da Silva, mrsilva@unifei.edu.br²

¹ Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica - IEM, Av.BPS, n°1303 CEP 37500-903 Itajubá/MG, Brasil.

² Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Ciências Exatas - ICE, Av.BPS, n°1303 CEP 37500-903 Itajubá/MG, Brasil.

Resumo: Na fabricação dos anéis de pistão de ferros fundidos utilizados nos motores veiculares de combustão interna, geram durante as operações nas retíficas de desgaste e acabamento, uma série de subprodutos tais como: resíduos metálicos, particulados provenientes dos rebolos resinóides, terra diatomácea (material filtrante) e óleo solúvel em água para refrigerar as ferramentas de corte. Estes subprodutos são classificados de acordo com a NBR 10004 de 2004 da ABNT como resíduos Classe I e Classe II sendo eles tóxicos, não inertes. Ou seja, ele é ativo na natureza e impacta nos cursos das águas, quando derramados nos riachos ou rios e contamina o solo quando destinado incorretamente para os aterros públicos sanitários. Na maioria das vezes, os destinos finais adotados para este subproduto, são as companhias cimenteiras, para a sua incineração, sendo o subproduto incorporado ao cimento na sua fabricação. Assim utilizou-se a microscopia eletrônica de varredura acoplada com uma microsonda de energia dispersiva. Portanto dois experimentos foram feitos com objetivo de separar o material magnético do material não magnético, para isto utilizou-se um ímã permanente. O objetivo desse trabalho é utilizar o particulado metálico que aderiu ao ímã permanente, utilizando o processo da metalurgia do pó obteve-se os corpos de provas. Para a caracterização magnética utilizou-se um Magnetômetro de Amostra Vibrante obtendo assim, as curvas de histereses do material. O resultado nos permite concluir que o particulado metálico que aderiu ao ímã pode ser usado pela metalurgia do pó na fabricação de peças, ou ser pelletizado e novamente fundido. O material não metálico que foi separado pode ir para os aterros públicos sanitários, devido à mudança na sua classificação, ou seja, os resíduos Classe I e II passaram a ser Classe I e III, sendo classificados pela norma tóxicos e inertes.

Palavras-chave: Resíduos metálicos, usinagem por retificação, reciclagem de material

1. INTRODUÇÃO

A crescente atividade industrial mundial e a ausência de programas eficazes de gestão de resíduos fazem com que cada vez mais resíduos sejam gerados sem que haja uma correta utilização ou disposição destes, proporcionando um passivo ambiental que compromete a qualidade de vida das futuras gerações. Uma boa parte destes resíduos é perigosa e contém elementos que podem prejudicar a saúde humana, bem como contaminar o solo e lençóis freáticos. Enquanto em um passado não muito distante a produção de resíduos era de algumas dezenas de kg/hab.ano, países altamente industrializados, como os Estados Unidos, produzem atualmente mais de 700 kg /hab.ano. No Brasil, o valor médio verificado nas cidades mais populosas é da ordem de 180 kg /hab.ano (Ribeiro et al, 2006).

A preocupação com a reciclagem industrial tem levado as indústrias a buscarem alternativas para disposição final de seus resíduos sendo uma saída plausível a utilização de processos adequados para sua recuperação. Dentre esses processos destaca-se a metalurgia do pó que é um processo metalúrgico de fabricação de peças metálicas, não metálicas e cerâmicas que vem se desenvolvendo numa taxa cada vez mais crescente. Distingue-se dos processos convencionais pela ausência de fase líquida ou presença apenas parcial de fase líquida durante o processamento (Ghadiri et al, 1991, Chiaverini, 2005). Assim trata-se de uma técnica de fabricação que permite a produção de peças com formas definitivas ou praticamente definitivas dentro de tolerâncias bastante apertadas, produção de componentes com certas características estruturais e físicas impossíveis de serem obtidas através de qualquer outro processo metalúrgico (Stadtler, 1989). Vários aspectos associados ao estudo do reaproveitamento de resíduos sólidos indústrias têm sido

publicados na literatura recente (Szekely, 1995, Das et al, 2006, FEAM, 2009), e muitos desses estudos destacam a importância da reciclagem na redução do impacto ambiental e também no aumento da produtividade industrial.

Assim as operações de retificação de desbaste nas operações de usinagem geram uma série de subprodutos tais como: resíduos metálicos, particulados provenientes dos rebolos resinóides Al_2O_3 , terra diatomácea (material filtrante) e óleo solúvel, na proporção de 5% dissolvido em água, para refrigerar as ferramentas de corte. Estes subprodutos são classificados de acordo com a ABNT NBR 10004 como: resíduos tóxicos, não inertes, sendo que eles agredem o meio ambiente com poluição das águas e seus mananciais e contaminam o solo quando destinados incorretamente nos aterros públicos sanitários. Na maioria das vezes, os destinos finais adotados para este subproduto, são as companhias cimenteiras, para a sua incineração, sendo o subproduto incorporado ao cimento, quando da sua fabricação. A geração deste resíduo sólido é de 200T/mês e o custo total para enviar às companhias cimenteiras é de US\$100/T. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo, o re-direcionamento do subproduto de uma forma mais eficiente e produtiva, pois o que hoje é um dejetto, cujo o destino final tem um ônus financeiro para as indústrias, com a reciclagem passam a ter um destino útil, ou seja, torna-se matéria-prima para a fabricação de peças, agregando valor ao produto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente coletaram-se manualmente oito amostras dos resíduos do processo de retificação de desbaste das operações de usinagem, os ferros fundidos alta e baixa liga, e nodular. Fez a caracterização dos mesmos através de microscopia eletrônica de varredura (MEV), no microscópio modelo JSM-6510LV, fabricante JEOL, com microsonda de energia dispersiva (EDS), utilizando a radiação de tungstênio. De posse das informações qualitativas do subproduto, através do (MEV) e do (EDS) foram realizados dois experimentos. No primeiro experimento, foi coletado 100g do subproduto sendo levado a um forno elétrico e aquecido a uma temperatura de 600°C, permanecendo durante 10 minutos nesta temperatura, seguido de um lento resfriamento.

No segundo experimento, como temos a presença de materiais graxos no subproduto, optou-se por uma lavagem seguida por uma calcinação. Foram coletados 100g do subproduto e depositados em um béquer de Berzélius, contendo 30g de NaOH (hidróxido de sódio), avolumou-se para 500ml com água destilada, onde o conjunto foi agitado por 10 minutos e aguardando uma decantação por 24h. Em seguida, a solução do béquer foi filtrada em papel de filtro, em seguida foi calcinado por 2h a 1000°C, e nenhum particulado aderiu ao ímã permanente. O material decantado foi secado em uma estufa elétrica a 120°C por duas horas. Em seguida, foi passado um ímã permanente com o intuito de separar os materiais que aderiram ao ímã e os que não aderiram ao ímã permanente. O material que aderiu ao ímã permanente passou por um processo de classificação granulometria através de peneiras vibratórias, marca Granutest de 60, 65 e 74µm. Em seguida este pó foi compactado utilizando-se a prensa hidráulica manual de marca Marconi, cuja pressão de compactação foi de 432MPa. Após a compactação, iniciou-se a sinterização dos corpos de provas num forno elétrico, a uma temperatura de 800°C, sendo que os mesmos permaneceram nesta temperatura por 8h, em seguida o forno foi desligado, ficando com a porta fechada, resfriando lentamente até a temperatura ambiente, sem nenhuma insuflação de gases inertes, na atmosfera do forno, durante a sinterização. Figuras 1, 2 e 3.



Figura 1. Corpo de prova sinterizado



Figura 2. 160x

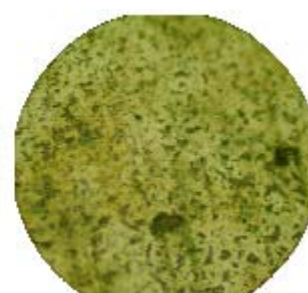


Figura 3. 800x

Após a sinterização dos corpos de provas retirou-se pequenas amostras em seguida estas amostras foram pesadas na balança Bel Engineering de 210g com precisão de 0,0001g e identificados. Após esta identificação os corpos de prova foram levados ao magnetômetro de amostra vibrante para o levantamento das curvas de histereses do material Fig.(4).



Figura 4. Magnetômetro de Amostra Vibrante Lake Shore Model 7004.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1- Análise Físico- Química dos Resíduos

É fundamental um estudo das características físico-químicas e das propriedades dos resíduos, através de ensaios e métodos apropriados. Tais informações darão subsídios para a seleção das possíveis aplicações dos resíduos. A compreensão do processo que leva a geração do resíduo fornece informações imprescindíveis à concepção de uma estratégia de reciclagem com viabilidade no mercado. Diante das considerações apresentadas, oito amostras do subproduto foram coletadas, identificadas e posteriormente analisadas no centro tecnológico das indústrias da Mahle. Os resultados da constituição dos subprodutos foram obtidos através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada com uma microsonda de energia dispersiva (EDS), para os seguintes elementos químicos: C, O, Fe, Cr, Mo, K, Si, Na, Mg, Ca, Al, Ti, e Mn. Através da análise utilizando o microscópio eletrônico de varredura da amostra 1, Fig.(5), observa-se um alto teor de oxigênio, provavelmente este elemento químico é proveniente da oxidação do material através do óleo solúvel em água, nota-se também a presença de outros elementos químicos como ferro e alumínio sendo este proveniente dos rebolos de óxidos de alumínio.

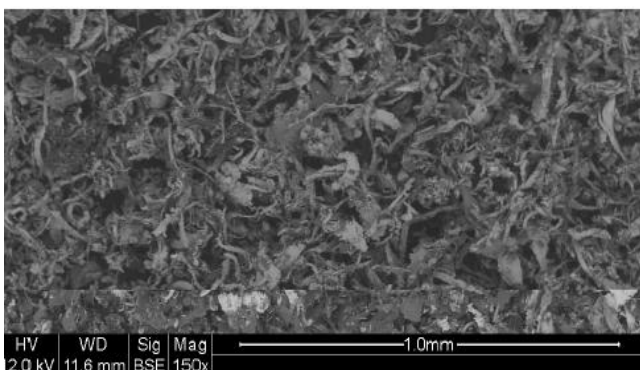
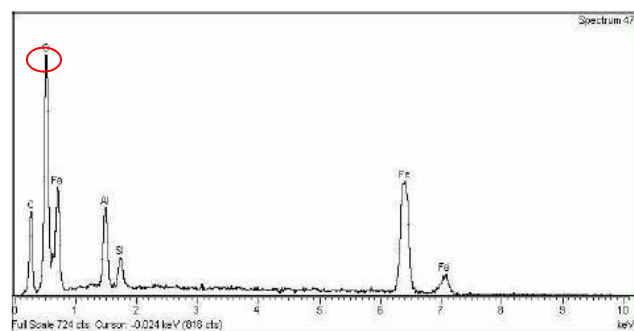


Figura 5. Amostra 1

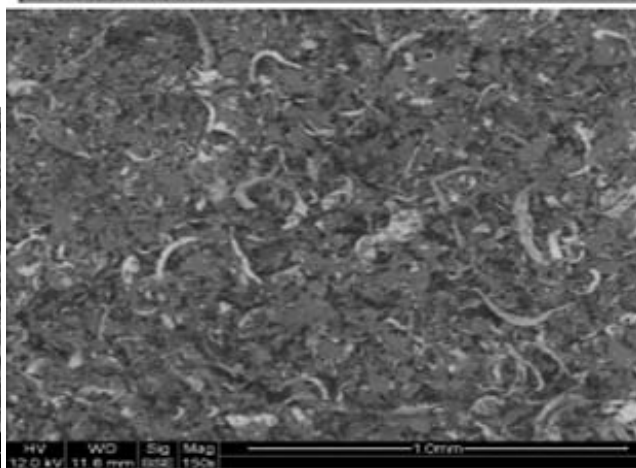
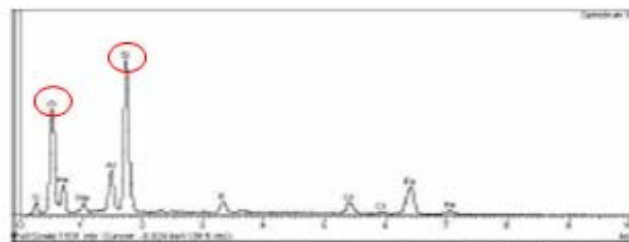


Figura 6. Amostra 2

Na Fig.(6), amostra 2, nota-se um alto teor de ferro e silício, provenientes do material metálico em estudo, observa-se também a presença de oxigênio e alumínio em proporções menores.

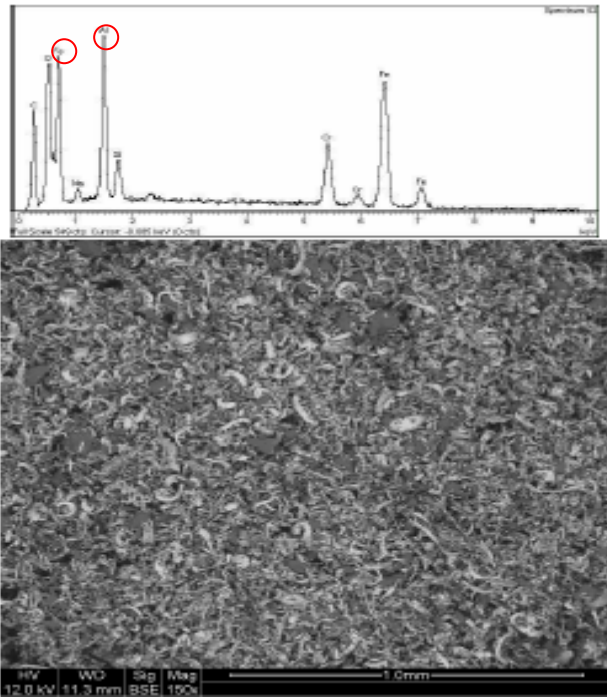


Figura 7. Amostra 3

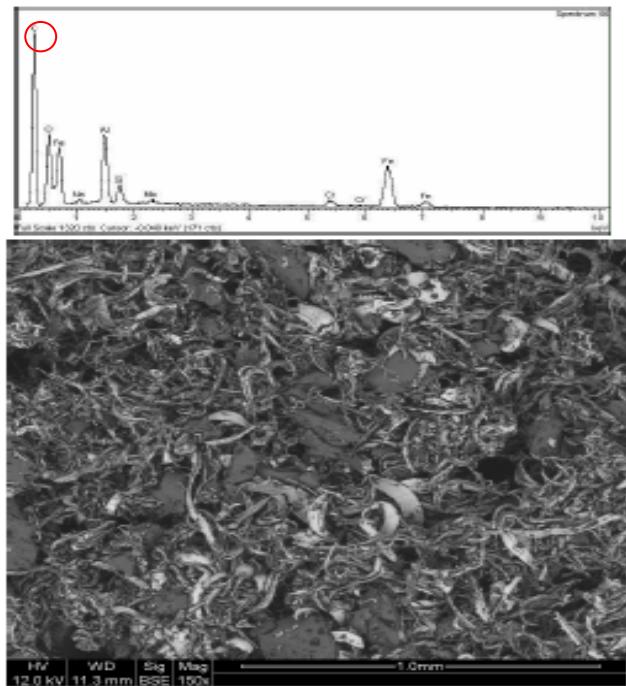


Figura 8. Amostra 4

Ao passo que na Fig.(7), amostra 3, verifica-se a presença de alumínio, ferro, oxigênio, carbono e cromo, sendo o cromo proveniente do material metálico em estudo. Na Fig.(8), amostra 4, observa-se uma presença marcante do elemento químico carbono, sendo elemento ligado ao material metálico em estudo.

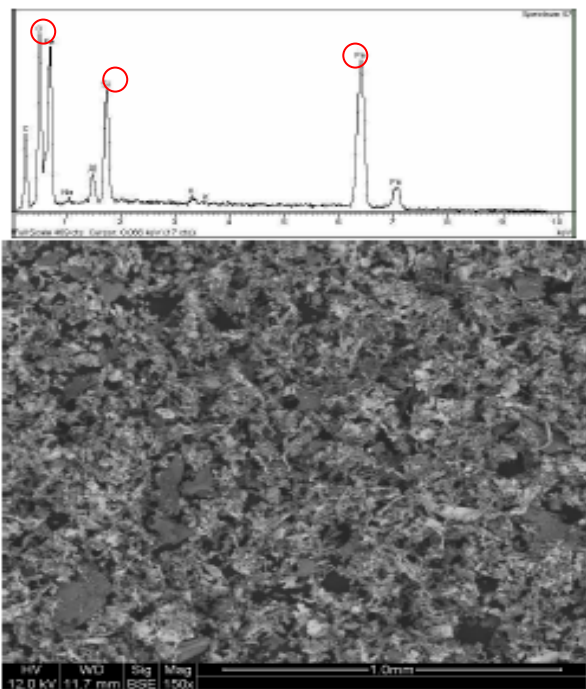


Figura 9. Amostra 5

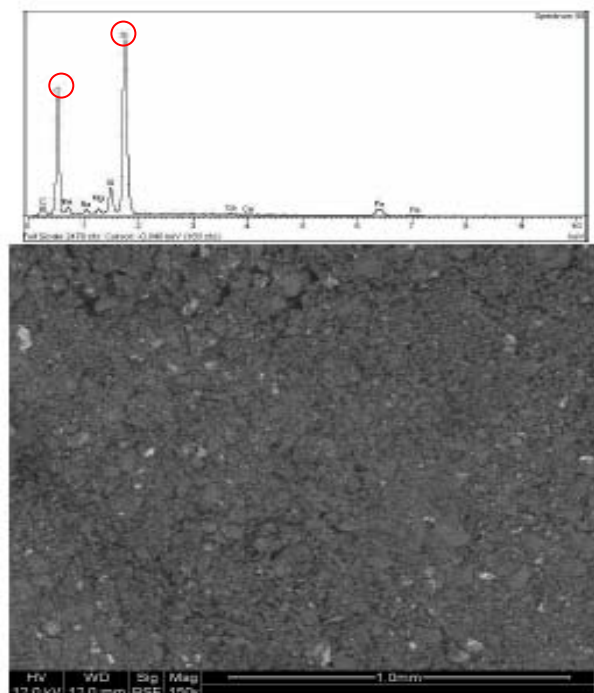


Figura 10. Amostra 6

Ao observar o EDS da Fig.(9), amostra 5, nota-se a presença marcante do oxigênio seguida do ferro e pelo silício. Provavelmente o oxigênio vem do processo de oxidação do óleo solúvel em água, já o ferro e o silício vem do material metálico em estudo. Porém, na Fig.(10), amostra 6, observa-se o silício como elemento de destaque, seguido do oxigênio e outros elementos químicos em proporções menores.

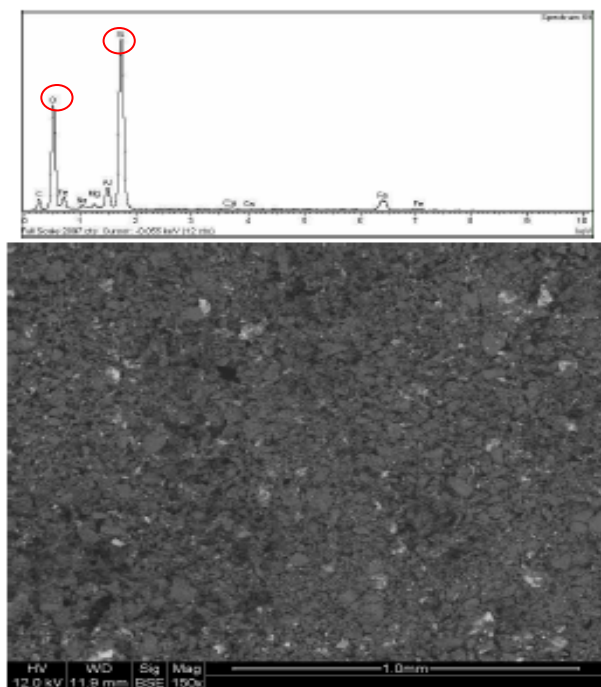


Figura11. Amostra 7

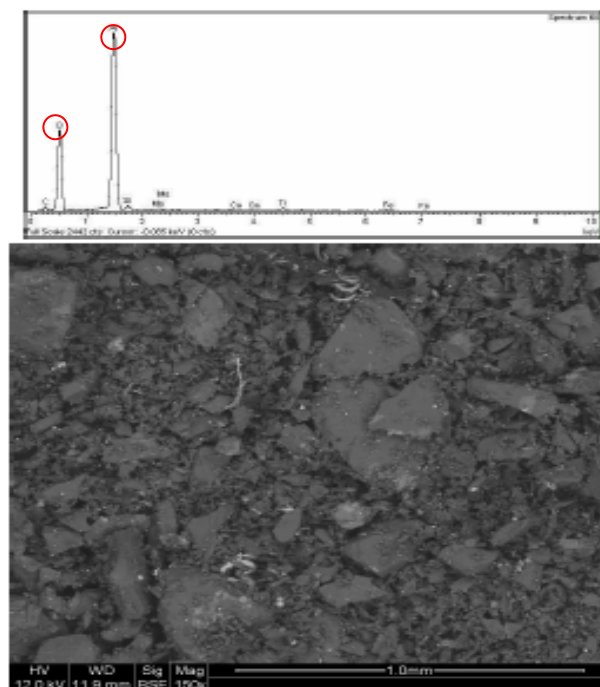


Figura 12. Amostra 8

Através da análise microscópica eletrônica de varredura da amostra 7, Fig.(11), nota-se a presença em destaque do elemento químico silício seguido do oxigênio, sendo que o silício está ligado ao metal base e o oxigênio à oxidação do óleo solúvel. Ao passo que na Fig.(12), amostra 8, o elemento químico em destaque é o alumínio seguido do oxigênio. Assim percebe-se que em cada análise das amostras um elemento químico aparece em destaque dos demais, isto devido às várias ligas metálicas que estão passando pelo processo de retificação.

A fim de se obter os valores quantitativos dos materiais que aderiram ao ímã permanente, foram realizadas as análises químicas por via úmida, utilizando os seguintes métodos: o de combustão no equipamento de marca Leco para os elementos químicos carbonos e enxofre. Para o elemento químico silício, utilizou-se o método gravimétrico e para o elemento químico manganês, utilizou-se o método de colorimetria. Obtiveram-se os seguintes resultados das análises químicas, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Material que aderiu ao ímã permanente

Elementos químicos (%)	Experimentos		Métodos utilizados
	Experimento 1	Experimento 2	
C	2,73	2,65	Combustão, Leco
S	0,023	0,006	Combustão, Leco
Si	2,65	2,72	Gravimetria
Mn	0,43	0,52	Colorimetria
Fe e outros elementos químicos (Diferença)	94,51	94,73	_____

Na Tabela 1, compara-se o experimento 1 com o experimento 2, nota-se uma diferença marcante para o elemento químico enxofre, ou seja, no experimento 1, provavelmente o resíduo foi gerado de um ferro fundido cinzento e para o experimento dois, apresenta um resultado típico dos ferros fundidos nodulares devido ao baixo teor de enxofre. Para os demais elementos químicos (C, Si e Mn) nos indicam tratar-se de um ferro fundido hipoeutético.

Com relação à separação magnética para os dois experimentos observa-se que para o experimento 1 que 92,8g de material aderiram ao ímã permanente e 7,2g que não aderiu ao ímã permanente. Porém para o experimento 2 nota-se que ao passar um ímã permanente tivemos como resultado que 93,5g de material aderiram ao ímã permanente e 6,5g que não aderiu ao ímã permanente

3.2- Caracterização Magnética do Material

Segundo Gontijo (2007), os parâmetros magnéticos tais como, campo coercivo H_c , magnetização remanente M_R , e saturação magnética M_S são determinados através da curva de histerese $M \times H$. A susceptibilidade magnética é determinada pela derivada da curva $M \times H$ na região onde ocorre o deslocamento irreversível. O produto da energia máxima pode ser calculado pela curva indutiva de desmagnetização $(M \times H)_{\max}$ do material, sendo que este produto da energia máxima representa a energia gasta para magnetizar e desmagnetizar um material ferromagnético (Silva, 1998).

As dependências da magnetização (B) ao campo magnético aplicado (H) para as amostras dos sistemas foram analisadas através das histereses magnéticas que está representada nas figuras 13, 14 e 15.

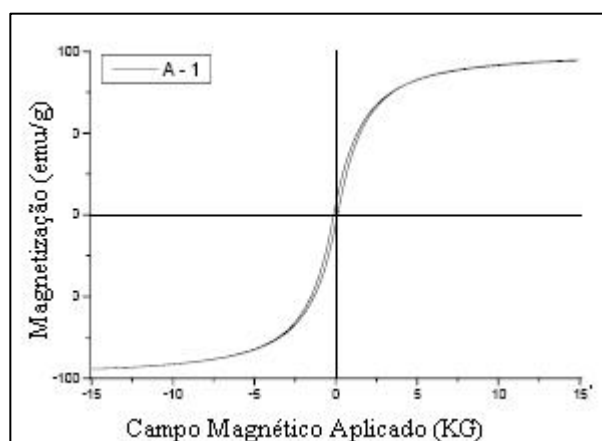


Figura 13. Curva de histerese, pó com 60 μm .

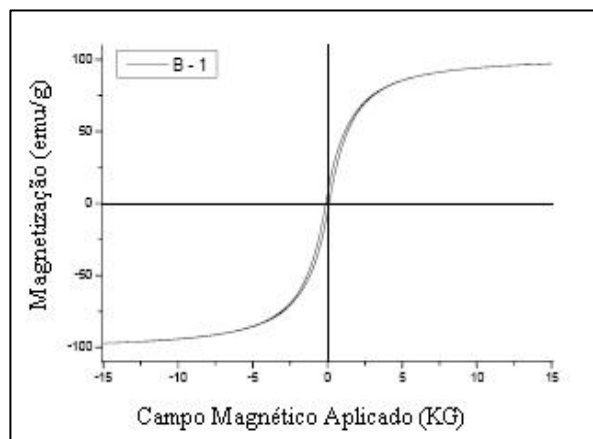


Figura 14. Curva de histerese, pó com 65 μm .

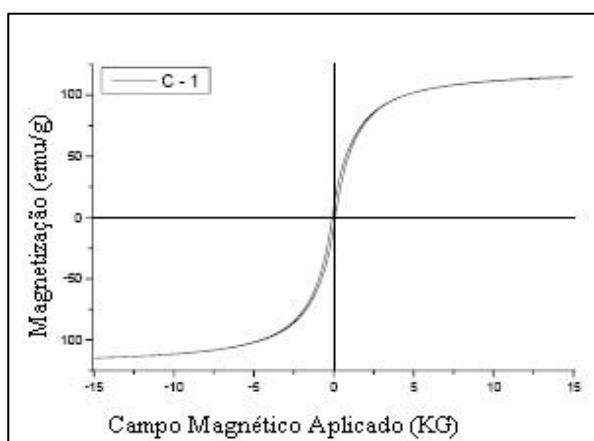


Figura 15. Curva de histerese, pó com 74 μm .

Por intermédio das áreas das curvas de histereses apresentadas observa-se que o material ainda apresenta características de um material magnético mole ou permeável, uma vez que apresentam laços de histereses bastante estreitos (Pennander & Jack, 2003; Cullity & Graham, 2006; Hubert & Schäfer, 2009). Observa-se nas curvas que existe uma dependência da magnetização (B) e o campo aplicado (G) para as amostras conforme Tab.(2).

Tabela 2: Resultados obtidos nas diferentes granulometrias dos pós.

Amostra	H_c (G)	M_r (emu/g)	M_s (meu/g)
A-1	118.1533	5.7714	84.0400
B-1	106.3380	6.3486	88.5571
C-1	88.6150	7.5824	104.6819

Obs: Para o material A-1 temos a granulometria de 60 μ m, para o material B-1 temos granulometria de 65 μ m e para o material C-1 temos a granulometria de 74 μ m.

Como as propriedades magnéticas de magnetização e permeabilidade são dependentes do movimento da parede de seu domínio, observa-se na Fig. (16) que ao aumentar o tamanho do grão aumenta-se a magnetização de saturação. Ao passo que na Fig. (17). temos o gráfico do tamanho do grão em função do campo remanente, observa-se que ao aumentar o tamanho do grão aumenta-se o campo remanente.

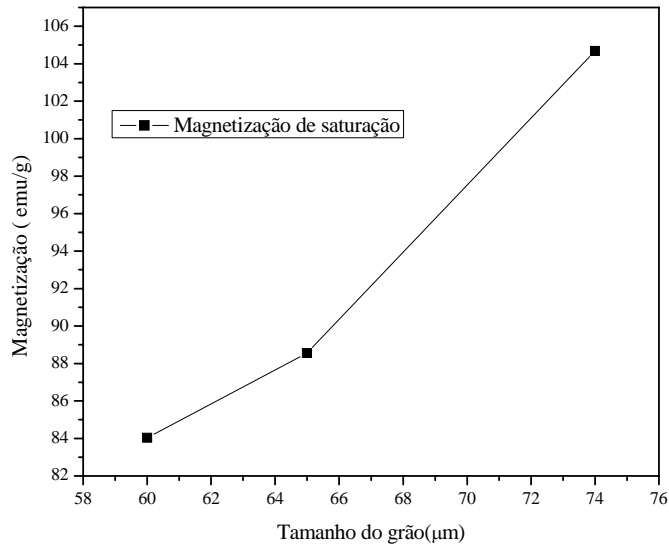


Figura 16. Influência do tamanho do grão na magnetização de saturação (M_s).

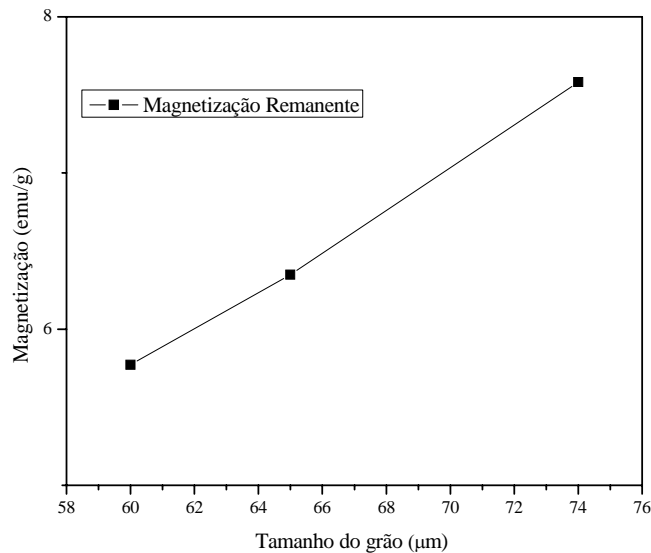


Figura 17. Influência do tamanho do grão no campo remanente (M_r).

4. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que a caracterização dos resíduos através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com microsonda de energia dispersiva (EDS), utilizando a radiação de tungstênio, mostrou ser uma boa opção para fazer uma análise qualitativa das amostras em estudo. Porém os particulados que não aderiram ao imã permanente poderão ser misturados na argamassa de cimento, na fabricação de blocos de concreto e podem ser utilizados pela construção civil, nas edificações, ou terão como destino final os aterros sanitários, pois passaram a não mais agredir o meio ambiente, uma vez que eles atendem os quesitos da ABNT-NBR 10.004 de 2004, como resíduos Classe I e Classe III, ou seja, tóxicos e inertes. As curvas de histereses obtidas, para as três diferentes granulometria apresentaram pequenas variações, portanto, podemos concluir de se tratar de materiais ferromagnéticos moles, sendo assim, poderemos direcionar para aplicações específicas, tais como, núcleos de transformadores ou máquinas elétricas rotativas.

5. AGRADECIMENTOS

PRPPG/UNIFEI e ao Grupo Mahle.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR10004.,2004, “Resíduos sólidos – Classificação”,2°ed.,71p.
- Chiaverini,V.,2005, “ Aços e Ferros Fundidos”,ABM,7°Ed.,São Paulo,Brasil,583p.
- Cullity, B.D.,C.D.Graham.,2009,”Introduction to Magnetic Material”,John Wiley & Sons,2°ed.,487p.
- Das,B., Prakash, S., Reddy, P.S.R., Misra, V.N.,2006 “An overview of utilization of slag and sludge from steel industries”,Resources Conservation & Recycling ,pp.40-57.
- Fundação Estadual do Meio Ambiente- FEAM, 2009, “Resultado do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Industriais e Minerários do Estado de Minas Gerais , Ano Base 2008.
- Ghadiri M.,Farhadpour, F.A., Clift R., and SevilleJ.P.K.,1991" Particle Characterization Size and Morphology", The Institute of Metals Series on Powder Metallurgy an Overview,London,pp.56-75.
- Gontijo, F. R. M. 2007, “Investigação das Propriedades Elétricas e Magnéticas no Composto BaNbXFe₂-XO₄”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá-UNIFEI, 104 p.
- Hubert, A., Schäfer, R., 2009,”Magnetic Domains: The Analysis of Magnetic Microstructure,”Springer,
- Pennander, L., Jack, A., 2003, “Soft Magnetic Iron Powder Material AC Properties and Their Application in Electrical Machines”
- Ribeiro, D.V.,Tachard,A.L.R.,Morelli, M.D.,2006,” Influência da Adição do Pó de Retífica em uma Matriz de Fosfato de Magnésio -Parte II, - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais- 17° CBECIMat,pp.1-12
- Silva, M.R. 1998, “Materiais Magnéticos e Ferroelétricos Modificados”. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 104p.
- Stadtler W.A., 1989 “Production of Metallurgy Parts”, ASTM, Powder Metallurgy, Ohio pp.449-463.
- Szekely, J., 1995, “A research program for the minimization and effective utilization of steel plant wastes”, Iron and Steelmaker, v. 22, n. 1, p. 25-29.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

Characterization and Exploitation of Piston Ring Chips in the Rectification Process A New Recycling Proposal.

J. C. Dias, jcelio@unifei.edu.br¹; A.Teixeira, amauri_t@terra.com.br¹; E.M. da Silva, m_eduardo_silva¹; M.R. da Silva, mrsilva@unifei.edu.br

ABSTRACT

The rough grind machine operation in metallic material produce a sub product with the followings components such as: metallic residue, small parts come from the resin grinds, diatomaceous earth material (filter material) and soluble oil in water for tools cooling. According NBR 10.004 of 2004 from ABNT, this sub product is toxic, not inert material, aggress the environment with pollution in the water currency and contaminate the ground when incorrectly go to the municipal solid waste. The final destination of this sub product, is the incineration, in the cements company, being the incorporated the sub product to the cement, during your production.

With the qualitative result using the scanning electron microscopy (SEM), coupled to the energy dispersive spectroscopy (EDS), two experiments were made with objective to separate the magnetic material of the non-magnetic material, using a permanent magnet. We conclude that the magnetic material can be used by powder metallurgy process in production of pieces or transformed in pellets and melted again. A non-magnetic material separated go to the production of concrete brick and used in building wall construction, or go to the municipal solid waste, because now, he changed the classification for toxic and inert material.

Keywords: *Metallic residue, grinding machining process, recycling material.*