



CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE ORIUNDO DO PROCESSO DE FORJAMENTO¹

Feliciane Andrade Brehm²

Marcelo Souza Filho³

Lia Denise Piovesan⁴

Carlos Alberto Mendes Moraes⁵

Vanessa Rodrigues⁶

Fernando Dalvite da Silva⁷

Resumo

Durante o processo de forjamento de peças na indústria metal-mecânica é gerado um efluente, que após passar por tratamento de quebra de emulsão, resulta em duas fases. Uma fase líquida segue para o tratamento de efluentes e uma fase sólida, identificada como resíduo de forjamento (RF), objeto de estudo deste trabalho. Para que seja possível reciclar um resíduo, o primeiro passo é a determinação de suas características físicas, químicas e estruturais, a fim de avaliar assim qual o processo mais viável para sua reciclagem. Para viabilizar a caracterização do resíduo, as amostras foram tratadas de forma distinta. Alguns dos resultados obtidos foram: pH igual a 2, perda ao fogo igual a 96,3%, teor de umidade igual a 67,14% e massa específica igual a 1,097 g/cm³. Além disso, o poder calorífico encontrado foi de 5.740 kcal/kg. Este resultado é maior quando comparado com a casca de arroz, que possui poder calorífico em média de 3.500 kcal/kg. Comparando-se o valor de poder calorífico do resíduo, pode-se inferir que o resíduo poderá vir a ser empregado como fonte de energia em processos. O trabalho tem como objetivo caracterizar física, química e estrutural do resíduo gerado no tratamento do efluente oriundo do processo de forjamento.

Palavras-chave: Resíduo de forjamento; Caracterização; Tratamento de efluente.

CHARACTERIZATION OF WASTE GENERATED IN EFFLUENT TREATMENT FROM FORGING PROCESS

Abstract

During the process of forging parts in the metal industry an effluent is generated and after undergoing emulsion-breaking treatment, it results in two phases. A liquid phase, goes to the effluent treatment and a solid phase, identified as forging waste, is the object of the present study. To enable recycling, the first step is the determination of the waste's physical, chemical and structural properties, in order to evaluate the most suitable process. To make the waste characterization viable, each sample was treated differently. Some of the results obtained were: pH 2, loss on ignition 96.3%, moisture content 67.14% and specific gravity 1.097 g/cm³. Moreover, the heat capacity was of 5.740 kcal/kg. This result is higher when compared to rice husk, which has an average heat capacity of 3,500 kcal/kg. Comparing the heat capacity of this waste, it can be inferred that it could be used as an energy source. This paper aims to characterize in terms of physical, chemical and structural properties, the waste generated in the effluent treatment from forging process.

Keywords: Forging waste; Characterization; Effluent treatment.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Profa. Dra. – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - Núcleo de Caracterização de Materiais - Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS, e-mail: felicianeb@unisinobr

³ Graduando Gestão Ambiental, - Núcleo de Caracterização de Materiais - Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS, e-mail: mbsouzafilho@gmail.com

⁴ Graduanda Eng. De Produção - Núcleo de Caracterização de Materiais - Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS, e-mail: ldpiovesan@hotmail.com

⁵ Membro da ABM, Prof. Dr.-Programa de Pós Graduação Engenharia Civil- Núcleo de Caracterização de Materiais- Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS, email: cmoraes@unisinobr

⁶ Eng. Quim. - GKN do Brasil Ltda. , e-mail: vanessa.rodrigues@gkndriveline.com

⁷ Gestor Ambiental - GKN do Brasil Ltda, e-mail: fernando.dalvite@gkndriveline.com.

1 INTRODUÇÃO

A indústria metal-mecânica vem sendo cada vez mais pressionada a atender as exigências da legislação ambiental, no sentido de controlar a geração de resíduos e dar-lhes uma destinação adequada. Além disso, o mercado vem exigindo mais dessas empresas quanto ao seu desempenho ambiental, tornando a gestão ambiental uma área muito mais envolvida com a melhoria da qualidade de seus produtos comercializados. Neste sentido, além de minimizarem a geração de seus resíduos, buscando melhorias no seu processo produtivo, a reciclagem deve ser considerada antes da tradicional decisão de enclausurá-los em aterros industriais.

O processo de forjamento da indústria metal mecânica gera uma emulsão oleosa, a qual é quebrada gerando uma fase líquida, encaminhada para o tratamento de efluentes, e uma borra oleosa, denominada durante este estudo, resíduo de forjamento (RF).

A literatura cita alguns estudos de alternativas para reciclagem de borras oleosas, dentre elas pode-se citar adição em massa asfáltica. Em um dos casos, borra oleosa asfáltica para utilização em estradas⁽¹⁾ e no outro, foi utilizada borra oleosa seca misturada a solos contaminados, como impermeabilizante e o óleo extraído foi utilizado no concreto asfáltico.⁽²⁾

Outra alternativa para este tipo de resíduo, rico em grafita, é a sua utilização como fíler em graxas grafitadas que são uma combinação adequada de espessantes, óleos e aditivos, quimicamente estabilizados, que permite uma lubrificação eficaz, com menores custos de manutenção. Entre essas adições (fíleres), o mais usado é a grafita.⁽³⁾

Além dessas alternativas, estudos de resíduos ou misturas de resíduos para a fabricação de briquetes, visando aproveitar os óxidos presentes e também seu poder calorífico, vêm sendo desenvolvidos por diversos pesquisadores. Na Tabela 1 é possível observar alguns destes estudos.

**Tabela 1** - Estudos realizados fabricando briquetes com adição de resíduos

Autor	tec. de redução	Temp.	Material	Aditivo	Redutor	Tamanho	Atmosfera	% de redução	Limitante
Nascimento et al. ⁴	Aquecimento do briquete	700 - 1300°C	lamas de aciaria, lamas do alto forno e a lama proveniente das laminações	Cimento Portland ARI	finos de coque	12 - 18mm Ø	Argônio 4 L/min	Satisfatória - sem valores	-
Takano et al. ⁵	Briquete em ferro fundido	1450°C	Poeira do sistema de exaustão de aciaria elétrica de aço inoxidável	Cimento Portland ARI	Carvão e Fe-Si	12mm Ø	-	(Fe-Si) Ni~90% Cr~90% Fe~90% (carvão) Ni~12% Cr~35% Fe~90%	Temperatura / custo
Nogueira et al. ⁶	Aquecimento do briquete	1573 - 1673K	minério de ferro	20% água	grafita, moinha de coque, carvão vegetal e carvão vegetal desvolatilizado	17mm Ø	Argônio	80% Fe	Não ocorreu, mas a literatura indica problemas com concentrações de voláteis acima de 33%
Nascimento et al. ⁷	Banho em ferro gusa líquido	1350-1550°C	Lama de conversor e lama de laminação	-	finos de coque	10mm Ø h=10-12mm	Argônio	100% Fe	Temperatura / ordem de colocação dos materiais no forno
Ito e Takano ⁸	Aquecimento do briquete	1260°C	pó de aciaria elétrica	Cimento Portland ARI	coque de petróleo	10 - 15mm Ø	-	100%	Umidade nas pelotas

Na Tabela 1, nota-se que existem fatores limitantes citados pelos autores como temperatura, custo, percentual de voláteis e umidade das pelotas. Para que seja possível avaliar a viabilidade de reciclagem de um resíduo a caracterização deste é etapa fundamental, sendo este o principal objetivo do presente trabalho..

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostragem

A amostragem do RF foi realizada em tonéis, correspondentes a geração de dois meses (março e abril de 2009), de forma aleatória (Figura 1).



Figura 1 – Amostragem do RF.

2.2 Perda ao Fogo

Para determinar a quantidade de fase orgânica presente no RF foi realizado o ensaio de perda ao fogo na amostra in natura.

2.3 Massa Específica

A massa específica foi determinada segundo a norma NBR 6296,⁽⁹⁾ na amostra in natura.

2.4 Determinação do pH

O pH foi determinado segundo o método eletrométrico

2.5 Determinação da Umidade

O teste de determinação de umidade foi realizado de acordo com a norma CEMP 105.⁽¹⁰⁾

Pesou-se 35g da amostra de RF, num recipiente previamente tarado. A amostra foi seca em estufa, em uma temperatura de 105°C, até massa constante. Retirou-se a amostra da estufa, deixando-a esfriar em dessecador até a temperatura ambiente. Pesou-se a amostra seca. O resultado é expresso em porcentagem

2.6 Avaliação da Temperatura de Ignição do RF

A avaliação da temperatura de ignição do RF foi realizada em forno mufla. O teste consistiu em aquecer os resíduos e a cada 100°C (100°C, 200°C, 300°C, 400°C e 500°C) o forno foi aberto para, permitir a entrada de ar, observar o seu comportamento e retirar amostras nas referidas temperaturas. Este teste indica a temperatura em que o combustível queima, mesmo sem a presença de chama.

2.7 Determinação do Poder Calorífico Superior do RF

O poder calorífico define-se como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa do combustível.⁽¹¹⁾ No Sistema Internacional o poder calorífico é expresso em joules por grama ou quilojoules por quilo, mas pode ser expresso em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma.⁽¹²⁾

O poder calorífico divide-se em superior e inferior. O poder calorífico superior é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado.⁽¹²⁾

O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água.⁽¹¹⁾

Este ensaio foi realizado a fim de avaliar a quantidade de energia que será liberada durante a combustão do RF

2.8 Determinação da Composição Química da Fase Inorgânica do RF

Para que fosse possível determinar a composição química da fase inorgânica, a amostra passou pelo processo de extração, sendo usado como extrator o solvente éter de petróleo, a fim de separar a fase orgânica e inorgânica do RF. Após a extração, a fase inorgânica foi submetida à análise de Fluorescência de Raios-X (FRX).

2.9 Difração de Raios-X (DRX)

Para que fosse possível avaliar como os elementos químicos estão combinados e arrançados cristalograficamente, foi realizada a análise de DRX. A realização da análise deveria ser feita em amostras livres de óleo, para tanto a amostra de RF foi aquecida a 950°C, garantindo a combustão do óleo contido na amostra.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Perda ao Fogo

Ao entrar em contato com a mufla aquecida a 950° C, o RF imediatamente entrou em combustão. O ensaio prosseguiu durante 4 horas para garantir que toda a parte orgânica fosse volatilizada. O resultado encontrado foi de 96,3% demonstrando que um alto percentual de matéria orgânica está presente na amostra, além de carbono advindo do grafite presente na amostra

Este resultado é citado pela literatura⁶ como limitante para a confecção de briquetes, pois durante o aquecimento do mesmo, a matéria orgânica volatiliza fragilizando mecanicamente o briquete.

3.2 Massa Específica

O valor encontrado para a massa específica do RF foi de 1,097 g/cm³

3.3 Determinação do pH

O valor de pH encontrado para a amostra de RF foi igual a 2.

3.4 Determinação da Umidade

A umidade encontrada na amostra é de 67,1%, considerada alta. Isto já era esperado, pois durante a amostragem, foi possível perceber que havia uma grande quantidade de água presente na mesma.

Para que seja possível utilizar o RF, na fabricação de briquetes, seria necessária uma etapa de secagem, que possibilitaria sua estabilidade durante o aquecimento, além de um maior poder calorífico por unidade de massa. Para inserir essa etapa no processo, uma análise dos gases gerados deveria ser realizada, a fim de qualificar e quantificar esses gases.

3.5 Avaliação da Temperatura de Ignição do RF

Na Figura 2 é possível observar o aspecto das amostras de RF em cada temperatura.



Figura 2 – Aspectos da amostra de RF nas diferentes temperaturas.

Observando-se a Figura 2, é possível verificar que nas temperaturas de 100°C e 200°C o aspecto das amostras quase não foi alterado em relação à amostra original, já para as temperaturas de 300°C e 400°C, o aspecto foi bastante alterado.

Na temperatura de 500°C, ao abrir o forno a amostra entrou em ignição, portanto, nesta temperatura a amostra queima sem a presença de chama.

3.6 Determinação do Poder Calorífico Superior do RF

O valor de poder calorífico superior do RF é de 5.740 kcal/kg.

A casca de arroz é utilizada como biocombustível por diversas empresas, uma delas é a Companhia de Bebidas das Américas (AMBEV), que a queima em suas caldeiras, gerando energia térmica. A mesma possui um poder calorífico superior, em média de 3.500 kcal/kg. Comparando-se os valores de poder calorífico do RF e casca de arroz, mostra que o RF, considerando esta característica poderia ser utilizado como fonte de energia.

3.7 Determinação da Composição Química da Fase Inorgânica do RF

Para efeito de cálculo, o valor encontrado da perda ao fogo foi descontado dos resultados, pois o FRX não analisa compostos orgânicos e carbono.

Na Tabela 1 é possível observar os resultados encontrados para as amostras do RF

Tabela 1 – Resultados análise qualitativas da amostra de RF

Composto	Resultado (%)	Resultado descontados os orgânicos (%)
SO ₃	48,0	1,8
Fe ₂ O ₃	24,0	0,9
SiO ₂	18,1	0,7
Al ₂ O ₃	6,1	0,2
OUTROS	3,9	0,1

Analisando-se os resultados da Tabela 1, o composto encontrado em maior quantidade é o trióxido de enxofre (SO₃), isto deve-se ao fato de o efluente gerado ser tratado com ácido sulfúrico (H₂SO₄). O trióxido de ferro (Fe₂O₃) é proveniente da oxidação do ferro presente majoritariamente nas ligas de aço forjadas durante processo de forjamento, e a sílica (SiO₂), provavelmente deve ser oriunda de contaminação por areia de varrição, além de estar presente na composição química do grafite usado como lubrificante. Já a alumina (Al₂O₃), possivelmente é oriunda também da areia, apesar de seu valor ser muito baixo para garantir tal conclusão.

Para que fosse possível testar o RF como fíler na graxa grafitada, esta contaminação de sílica deveria ser minimizada.

Os compostos de carbono não são analisados pela técnica de FRX, por apresentarem peso atômico muito baixo.

3.8 Difração de Raios-X (DRX)

Na Figura 3, é possível observar os resultados encontrados para a amostra de Lubrodal.

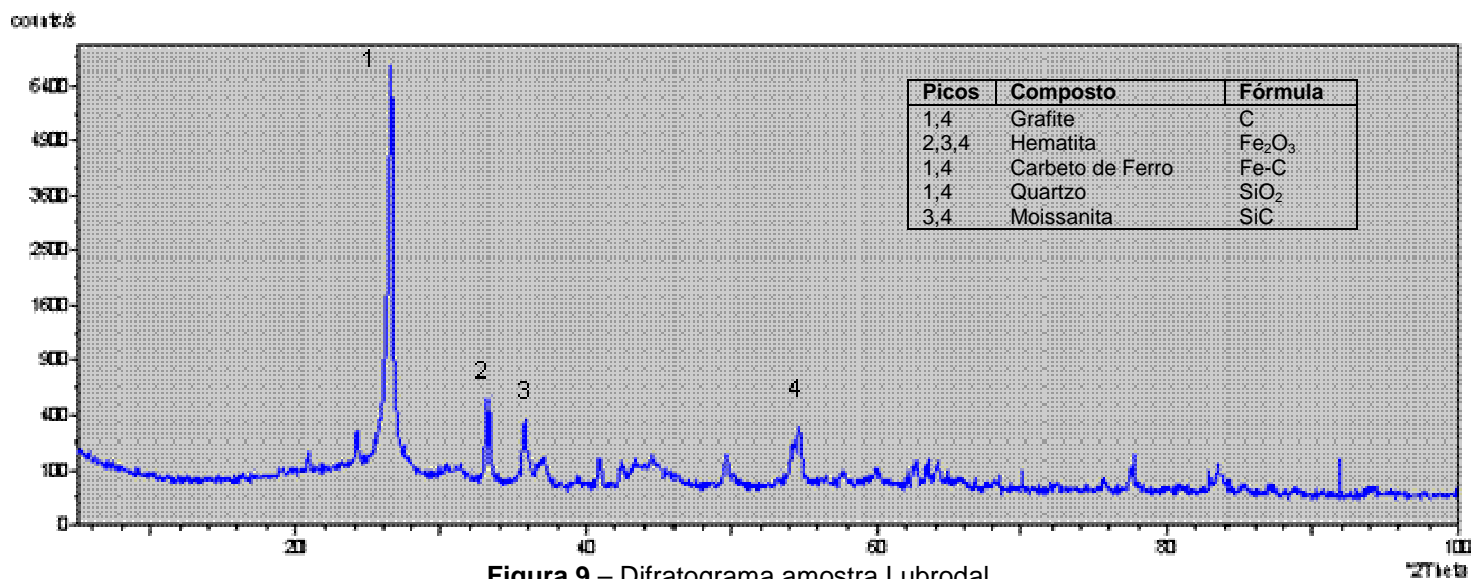


Figura 9 – Difratoograma amostra Lubrodal

Além dos compostos encontrados para a análise de FRX (Tabela 1), no difratograma (Figura 9) foram encontrados compostos de carbono (grafite, carbeto de ferro e moissanita), confirmando a presença de grafite presente na formulação da matéria prima utilizada como refrigerante e lubrificante no processo de forjamento.

A presença de sílica é novamente evidenciada.

A confirmação da presença de grafita na RF, provavelmente inviabilizará o uso deste em massa asfáltica, pois o mesmo teria uma função lubrificante, resultando em uma estrada com baixa aderência.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O RF possui alto teor de umidade e matéria orgânica para que fosse utilizado na fabricação de briquetes da forma como o mesmo é descartado. Portanto, sua viabilidade como redutor dependeria de uma etapa de secagem, além de uma análise dos gases liberados durante a secagem; e posterior queima do briquete para avaliar o grau de impacto ambiental que pode gerar.

Com relação à adição em massa asfáltica, a presença de grafite descarta esta possibilidade.

Para o uso como fíler em graxa grafitada seria necessário melhorar a gestão do resíduo garantindo a segregação do resíduo, evitando assim a contaminação, especialmente, por outros fluidos presentes no processo de forjamento.

Na continuidade do trabalho, será realizada a caracterização da fase orgânica do RF, além de pré-testes laboratoriais, com o intuito de avaliar a possibilidade de uso como briquete e fíler em graxa grafitada.

Agradecimentos

Os autores do trabalho agradecem à GKN do Brasil pelo apoio financeiro, ao CNPq e FAPERGS pelo pelas bolsas de iniciação científica.



REFERÊNCIAS

- 1 CASAGRANDE, M. D. T.; VALE, D. C.; DANTAS NETO, S. A.; SOARES, J. B.. **Estudo da Aplicabilidade de Borra Asfáltica como Material para Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego**. In: XIII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, 2007, Santiago - Chile. XIII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, 2007. Disponível em:
<http://www.det.ufc.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=176&Itemid=143>. Acesso em: 22 set. 2009.
- 2 Guimarães, A. K. V. **Extração do óleo e caracterização dos resíduos da borra de petróleo para fins de reuso**. Natal [RN], 2007. Disponível em: http://bdtd.bczm.ufrn.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1889
Acesso em: 26-out. 2009
- 3 CARRETEIRO, Ronald P. **Lubrificantes e lubrificacao**. 1. ed. São Paulo: Makron, 1998.
- 4 NASCIMENTO, R. C.; LENZ, G.; SANTOS, D. M. dos; CAPOCCHI, J. D. T.; TAKANO, C.; MOURÃO, M. B. Caracterização e viabilização para reciclagem de resíduos siderúrgicos sólidos. In: 55º Congresso Anual da ABM, 2000. Rio de Janeiro. **CD-ROM do 55º Congresso Anual da ABM**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais, 2000. p. 2647-2656.
- 5 TAKANO, C.; CAVALLANTE, F. L.; SANTOS, D. M. dos; MOURÃO, M. B. Recuperações de Cr, Ni e Fe de poeiras geradas durante a fabricação de aço inox: estudo comparativo com redução por carbono e por Fe-Si. In: 59º Congresso Anual da ABM, 2004. São Paulo. **CD-ROM do 59º Congresso Anual da ABM**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais, 2004. p. 10-19.
- 6 NOGUEIRA, A. E. A.; MOURÃO, M. B.; TAKANO, C. Estudo do processo de redução e fusão de pelotas autorredutoras no intervalo entre 1573 a 1673K. In: 59º Congresso Anual da ABM, 2004. São Paulo. **CD-ROM do 59º Congresso Anual da ABM**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais, 2004. p. 52-62.
- 7 NASCIMENTO, R. C.; TAKANO, C.; MOURÃO, M. B. Uma análise cinética da redução carbotérmica de briquetes auto-redutores contendo resíduos sólidos ricos em ferro oriundos das lamas geradas numa usina integrada. In: 60º Congresso Anual da ABM, 2005. Belo Horizonte. **CD-ROM do 60º Congresso Anual da ABM**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais, 2005. p. 128-138.
- 8 ITO, R. H.; TAKANO, C. Poeira de aciaria elétrica: reciclagem via pelotas auto-redutoras com coque de petróleo. In: 60º Congresso Anual da ABM, 2005. Belo Horizonte. **CD-ROM do 60º Congresso Anual da ABM**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais, 2005. p. 148-159.
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Produtos betuminosos semi-sólidos – Determinação da massa específica e densidade relativa**. NBR 6296. Rio de Janeiro, 2004.
- 10 COMISSÃO DE ESTUDOS DE MATÉRIAS PRIMAS (CEMP). **Materiais para fundição - Determinação do Teor de Umidade**: CEMP 105. São Paulo: Associação Brasileira de Fundição (ABIFA), 2003.
- 11 JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797)
- 12 BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois**. Aix-en-Provence, ÉDISUD, 1985. 180p.