



XXII CONGRESSO
BRASILEIRO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
23 a 26 de Setembro de 2018
Hotel Maksoud Plaza
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO
SOBRE O ENSINO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
27 a 28 de Setembro de 2018
USP
São Paulo – SP

APROVEITAMENTO DE BORRA METÁLICA GERADA NA PRODUÇÃO DE TUBOS DE AÇO COM COSTURA PARA ELABORAÇÃO DE BRIQUETES AUTORREDUTORES

SWIRKOWSKY M¹, OLIVEIRA, APN², GUEDES LC³, SELLIN N⁴

^{1,4} Universidade da Região de Joinville – Univille, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Joinville, SC

² Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, SC

³ Fundições Tupy, Joinville, SC

E-mail para contato: nsellin@yahoo.com.br

RESUMO – Neste trabalho foi avaliado o aproveitamento do resíduo borra metálica, gerado no processo de fabricação de tubos de aço com costura longitudinal, para a produção de briquetes autorredutores e de ferro metálico por redução. A borra metálica foi caracterizada por análises de teores de umidade e óleo, granulometria, teores de óxido de ferro, ferro metálico, ferro total e perda por calcinação. Os briquetes foram confeccionados a partir da mistura de borra metálica, coque verde de petróleo (CVP) e ligantes melaço de cana e cal hidratada e foram caracterizados por análises de teor de umidade, resistência à compressão e densidade aparente. O grau de metalização foi avaliado por redução em forno mufla, sob diferentes tempos e temperaturas. As transformações de fase após a redução dos briquetes foram avaliadas por difração de Raios-X. A redução em mufla dos briquetes, por 15 minutos e acima de 1050 °C, ocasionou alta conversão do óxido de ferro para ferro metálico, de 90 a 94%. A produção de briquetes com borra metálica mostrou ser uma tecnologia alternativa para produção de ferro gusa a partir de resíduos.

1. INTRODUÇÃO

No processo de produção de tubos de aço com costura conformados a frio, é gerando um resíduo composto por óleo e sedimento, conhecido como borra metálica. O óleo é filtrado, enquanto a borra metálica é destinada a aterros industriais. Este material é classificado como um resíduo Classe I, conforme a NBR 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2004). Trata-se de um resíduo perigoso em função de suas propriedades físico-químicas e que pode apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente.

Em decorrência da imposição da indústria siderúrgica e de legislações ambientais mais rigorosas, surgem as oportunidades para a inserção de novas tecnologias visando aproveitamento de resíduos. Em meio às tecnologias emergentes, sobressaem-se as que se baseiam no uso de aglomerados autorredutores como insumo para produção de ferro primário. Os processos de autorredução, como o *Tecnored*, permitem empregar finos de minério de ferro



XXII CONGRESSO
BRASILEIRO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
23 a 26 de Setembro de 2018
Hotel Maksoud Plaza
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO
SOBRE O ENSINO DE
ENGENHARIA QUÍMICA
27 a 28 de Setembro de 2018
USP
São Paulo – SP

e resíduos siderúrgicos como matéria-prima na obtenção do aço (FERREIRA, 2016; NOLDIN, 2002). Visando à redução do custo com destinação e contribuir para a minimização do impacto ambiental e do desperdício de matérias-primas, este trabalho teve como objetivo avaliar o aproveitamento da borra metálica gerada no processo produtivo de tubos de aço com costura como matéria-prima para produção de briquetes autorredutores na obtenção do ferro gusa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A borra metálica foi coletada numa empresa de tubos de aço com costura, seca, triturada e caracterizada por análises de teores de umidade e de óleo, granulometria, teores de óxido de ferro, ferro metálico e ferro total e perda por calcinação (PPC), adotando procedimentos baseados nas normas NBR ISO 3087, ASTM STP 886, ISO 4701, ISO 2597:2 e ISO 11536, respectivamente. Uma mistura padrão composta por borra metálica (71,8%), coque verde de petróleo (18,2%), marca BTE M da Unimetal, cal hidratada - Ca(OH)_2 (4%) marca Ical e melaço (6%) da Melaços Brasileiros, foi homogeneizada em um misturador planetário e submetida ao processo de briquetagem por rolos, produzindo briquetes com geometrias de 30 mm x 25 mm x 15 mm (comprimento x largura x altura). Os briquetes foram caracterizados por análises de teor de umidade, resistência à compressão (a verde e pós cura), densidade aparente e grau de metalização, seguindo procedimentos baseados nas normas NBR ISO 3087, ISO 4700, ISO 3852 e ISO 7215, respectivamente. Após redução, os briquetes foram analisados em um difratômetro de raios-X, Philips X'Pert, acoplado a um tubo de cobre (radiação $\text{CuK}\alpha$), com potência de 40 kV e 30 mA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físicas e químicas da borra metálica e dos briquetes produzidos estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas e químicas da borra metálica e dos briquetes.

Análise	Borra metálica	Briquetes	
		<i>in natura</i>	após cura
Teor de umidade (%)	2,52	8,55	0,43
Teor de óleo (%)	4,18	-	-
FeO (%)	56,0	-	-
Fe metálico (%)	4,73	-	-
Fe total (%)	68,12	-	-
Perda por calcinação (PPC) (%)	3,45	-	-
Granulometria média (mm)	0,075	-	-
Resistência à compressão (Kgf/mm^2)	-	81,65	453,5
Densidade aparente (g/cm^3)	-	-	2,01

A borra metálica apresentou baixo teor de umidade, adequado para o processo. Elevado teor de umidade dificulta a formação dos aglomerados e reduz o poder calorífico do material, retardando o processo de metalização. Além disso, pode ocasionar o fenômeno de crepitação e reduzir a resistência mecânica do briquete (BUZIN, 2009). O teor de óleo da borra metálica foi superior aos descritos por Lobato *et al* (2015), que sugerem teores inferiores a 1%. No presente

estudo, os briquetes foram produzidos com o teor de óleo existente inicialmente na borra coletada na empresa. A granulometria média foi de 0,075 mm. Quanto menor o diâmetro da partícula no briquete, mais acelerada será a redução carbotérmica, pois a proximidade das partículas facilita as reações sólido-sólido durante o processo de redução. A borra metálica apresentou teores de ferro total de 68,12%, de FeO de 56% e baixo teor de ferro metálico (4,73%). A partir destes, foi possível determinar a quantidade dos demais insumos para a fabricação dos briquetes. A perda por calcinação foi de 3,45%, indicando sua utilização sem a necessidade de combinações com outros tipos de minérios de ferro. Os briquetes apresentaram teor de umidade após cura, de 0,43%, adequado para o processo de autorredução (D'abreu *et al*, 2008). A resistência à compressão após a cura (453,5 kgf/mm²) foi maior que os citados em literatura, entretanto, esta característica deve ser avaliada de acordo com a aplicabilidade final, garantindo integridade física no transporte e manuseio. A densidade aparente foi de 2,01 g/cm³; quanto maior a densidade menor a ocorrência do fenômeno de crepitação e inchamento do briquete no aquecimento (BUZIN, 2009).

O grau de metalização dos briquetes em função do tempo e da temperatura de redução está apresentado na Figura 1.

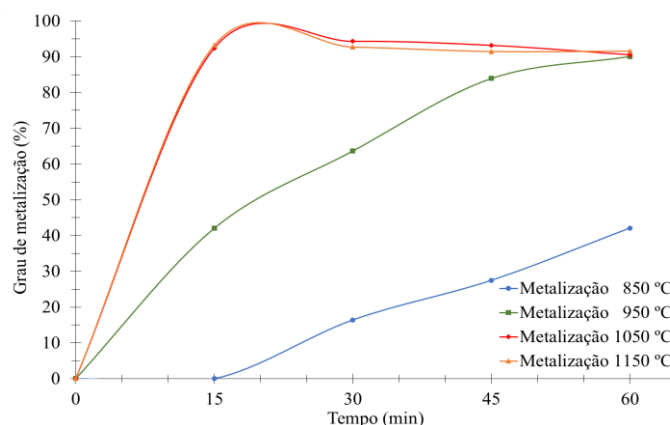


Figura 1 – Grau de metalização dos briquetes em função do tempo e da temperatura de redução.

A 850 °C, foram necessários 15 minutos para o início das reações de redução do óxido de ferro a ferro metálico. Com o aumento da temperatura para 950 °C, após 15 minutos, a metalização foi de 40% e aumentou de forma gradativa até 90% de conversão a 60 minutos. Para 1050 °C e 1150 °C, os valores máximos do grau de metalização foram de 94% e 93%, para 30 e 15 minutos, respectivamente. Nikai e Garbers-Craig (2015) realizaram a redução de aglomerados compósitos (lodo de minério de ferro, coque e ligante) e obtiveram metalização de 88 e 96% em tempos de 20 e 40 minutos e temperaturas de 1000 e 1100 °C.

As transformações de fase ocorridas na redução dos briquetes podem ser visualizadas nos difratogramas da Figura 2. Na Figura 2a, verifica-se que a borra metálica apresenta a estrutura Fe₃O₄ (Magnetita) como fase predominante e apresenta pouca intensidade relacionada ao ferro metálico (Fe⁰). Na Figura 2b, pode ser observada para os briquetes submetidos ao processo de redução a 850 °C e 15 minutos, a conversão da magnetita em wustita e aumento da intensidade do pico referente ao Fe⁰. A 1050 °C e 15 minutos, houve a conversão total dos óxidos de ferro (magnetita e wustita) em Fe⁰ (Figura 2c). Flores (2013) obteve resultados semelhantes para aglomerados de carepa e CVP a 1450 °C. A máxima metalização (de 96,5%) ocorreu após 12

minutos de redução e no difratograma foi observado apenas Fe^0 .

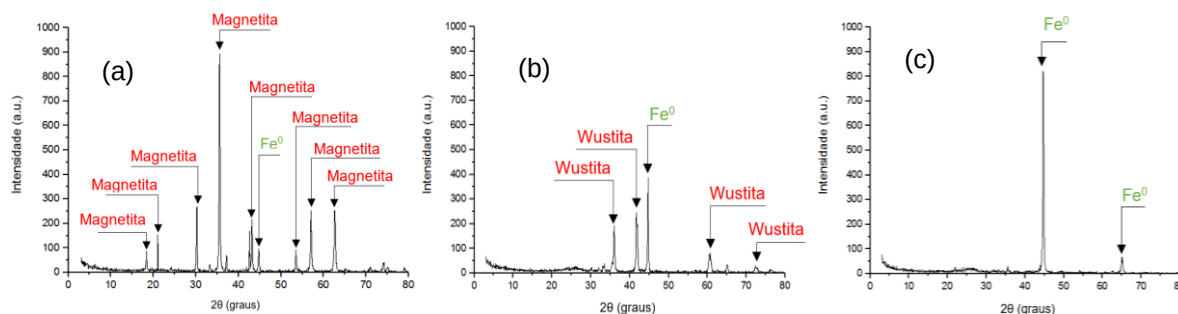


Figura 2 – Difratogramas de Raios-X. (a) Borra metálica; (b) redução a 850 °C por 15 minutos e (c) redução a 1050 °C por 15 minutos.

4. CONCLUSÃO

Os briquetes apresentaram resultados positivos em relação ao seu potencial de aproveitamento, mostrando valores de metalização semelhantes aos trabalhos disponíveis na literatura realizados com outras fontes de ferro. Por meio de análises físicas e químicas, observou-se que a faixa máxima de valores (90 a 94%) de conversão do óxido de ferro para ferro metálico, ocorreu em temperaturas acima de 1050 °C e a partir de 15 minutos de redução em mufla.

5. REFERÊNCIAS

- BUZIN, P. J. W. K. **Desenvolvimento de briquetes autorredutores a partir de carepas de processamento siderúrgico para utilização em forno elétrico a arco**. 2009. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia, UFRGS. Porto Alegre, 2009.
- FERREIRA, F. B. **Obtenção de pelotas autorredutoras com poeira de aciaria elétrica para uso em fornos elétricos a arco**. Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2016
- FLORES, B. D.; FLORES, I. V.; BAGATINI, M. C.; OSÓRIO, E.; VILELA, A. C. F. **Study on reducing and melting behavior of mil scale/petroleum coke blend**. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 10, São Paulo, p. 365-374, 2013.
- LOBATO, N. C. C.; VILLEGAS, E. A.; MANSUR, M. B. **Rotas de reaproveitamento da carepa siderúrgica**, p. 922-928. In: 70º Congresso Anual da ABM [ABM WEEK 2015], Rio de Janeiro, 2015.
- D'ABREU, J. C.; MOURÃO, M. B.; COSTA, P. H. C.; JÚNIOR, J. H. N.; MARCHEZE, E. **Curso de Auto-redução Carbo-metalotérmica** – 7º Simpósio Brasil-Japão, 2008.
- NIKAI, I.; GARBERS-CRAIG, A.M. **Use of iron ore fines in cold-bonded self-reducing composite pellets**. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, v. 37, p. 42-48, 2015.
- NOLDIN JUNIOR, J. H. **Contribuição ao estudo da cinética de redução de briquetes autorredutores**. 2002. 130f. Dissertação (Mestrado em Metalurgia), Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.