

UTILIZAÇÃO DE BORRACHA TRITURADA DE PNEU COMO SUBSTITUTO NA INJEÇÃO DE COQUE EM UM FORNO ELÉTRICO A ARCO

*

Douglas Ferreira Ambrosio¹

Flavio Beneduce²

Resumo

O objetivo do presente trabalho é avaliar o uso de borracha triturada de pneu como carburante substituto do coque na etapa de refino de um forno elétrico a arco na produção de aço 1020. Testou-se durante dezenas de corridas situações com injeção de borracha em 4 níveis diferentes para substituir o coque: 0% de borracha, 33% de borracha, 66% de borracha e 100% de borracha. Em todas as corridas testadas foram coletadas amostras do aço e da escória no momento antes do vazamento. As amostras foram analisadas através de um espectrômetro de RX. Os resultados obtidos mostraram que é possível a substituição total do coque pela borracha de pneu triturada sem incorrer prejuízos ao processo. Não se observou incorporação de Enxofre no aço, preocupação esta que existia pelo fato da borracha triturada conter teores mais elevados deste elemento em comparação com o coque.

Palavras-chave: Injeção de coque; borracha de pneu; Forno Elétrico a Arco; combustíveis alternativos

USING WASTED RUBBER TYRES AS A SUBSTITUTE OF INJECTION COKE IN AN ELECTRIC ARC FURNACE

Abstract

The purpose of this research is to evaluate the use of grinded wasted rubber tires as a carbon source to substitute the coke during the refine in an Electric Arc Furnace to produce steel – grade 1020. It was tested during several heats 4 different levels of rubber injection to substitute coke: 0% of rubber, 33% of rubber, 66% of rubber and 100% rubber. Samples of the steel and the slag were taken before the tap. The samples were analyzed in the RX Spectrometer. The results showed that is it possible to substitute completely the coke with rubber without causing any issues to process. The sulfur content in the rubber did not contaminated the steel, although the rubber contains higher sulfur compared to the coke.

Keywords: coke injection; wasted rubber tires; Electric Arc Furnace; Alternative fuels;

¹ *Engenheiro químico, graduado, especialista técnico, aciaria, Gerdau Aços Longos, São Paulo, SP, Brasil.*

² *Professor Doutor do departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Siderurgia é hoje a indústria que mais consome energia, responsável por aproximadamente 5% de todo consumo mundial de energia (Babich, Gudenau, & Senk, 2003). É fundamental para a indústria do aço encontrar fontes alternativas de energia tanto por uma questão de competitividade quanto por questões ambientais, uma vez que a cada dia aumentam as demandas por energia e crescem as pressões para diminuição do uso de combustíveis fósseis (Rossi, 2014).

Nesse contexto observamos que a produção de aço através dos fornos elétricos a arco tem aumentado nas últimas décadas pelo fato desses fornos operarem com baixas demandas de energia e custo. Além disso os fornos elétricos a arco podem operar com diversos tipos de matéria prima, o que garante certa flexibilidade. No processo de fusão da sucata emprega-se energia elétrica e energia química.

A energia química é fornecida através da combustão do gás natural e coque, além de outras reações como oxidação do Ferro e outros elementos. O coque derivado do petróleo é um dos mais importantes carburantes utilizados na siderurgia. Quando o coque é injetado durante a corrida, o Carbono contido reage com o FeO da escória gerando gás CO que promove a espumação da escória. A escória espumante tem algumas vantagens tais como: melhoria da transferência de energia do arco elétrico para o banho, proteção dos painéis refrigerados da radiação térmica e redução do ruído (John, 2009). Apesar das vantagens que a injeção de coque promove no processo, o coque é uma fonte de carbono derivado de combustíveis fósseis e apresenta preço elevado e sujeito as oscilações do mercado do óleo e gás.

A borracha é um polímero que possui longas cadeias de hidrocarboneto e tem composição química e propriedades que permite que ela seja um potencial substituto de carburantes como o coque (Gorni, 2008). A borracha apresenta diversas vantagens em comparação com o coque, como maior teor de matéria volátil com baixa geração de cinzas e baixa umidade (Zaharia, Sahajwalla, Khanna, Koshy, & O'Kane, 2009).

Do ponto de vista ambiental a borracha é mais interessante que o coque. O conteúdo de borracha natural num pneu responde por cerca de 30%, e que é considerada como sem impacto na geração de gases do efeito estufa devido ao carbono sequestrado no plantio das árvores que geram o látex (Atech Group, 2001). Além disso, a destinação de pneus tem sido um desafio crescente em diversas partes do mundo. O aumento das frotas automotivas aumenta a geração de pneus usados e soluções inteligentes para o descarte se fazem cada vez mais necessário. Além das vantagens ambientais, o pneu apresenta custo inferior ao coque e em muitos casos, é até mesmo possível monetizar o processamento desse material no forno elétrico. (Gorni, 2008)

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

O coque e a borracha triturada de pneus possuem composições semelhantes que permitem que a borracha atue como um potencial substituto ao coque como elemento carburante para o forno elétrico, como pode ser visto na tabela abaixo (Zaharia, et al., 2009; Sahajwalla, et al., 2009):

Composição química e poder calorífico do coque metalúrgico e borracha de pneu

	Coque Metalúrgico (%)	Borracha de pneu (%)
Umidade	1,3	0,9
Cinzas	18,3	5,7
Matéria Volátil	3	63,2
Carbono Fixo	73,6	30,2
Carbono Total	77,7	83,8
Enxofre	0,28	2
Hidrogênio	1,11	7,6
Nitrogênio	1,21	0,25
Poder Calorífico (MJ/kg)	28-31	40,16

Tabela 1 – Composição Química e Poder Calorífico do Coque Metalúrgico e Borracha de Pneu. Adaptado de Zaharia, et al. (2009) e Sahajwalla, et al. (2009).

Apesar do conteúdo maior de Enxofre presente na borracha, nos testes em escalas industriais na Siderúrgica One Steel da planta Sidney Steel Mill não se observou incorporação de Enxofre no aço, conforme observa-se na tabela abaixo:

Enxofre no aço na planta Sidney Steel Mill (média anual)		
Ano	100% coque	Borracha e Coque
2007	0,0213%S	0,0219%S
2008	0,0226%S	0,0224%S

TABELA 2 - ENXOFRE NO AÇO NA PLANTA SIDNEY STEEL MILL (MÉDIA ANUAL). ADAPTADO DE ZAHARIA (2009).

Além da composição semelhante, coque e a borracha tem cinéticas de reação semelhante. O gráfico abaixo mostra um experimento no qual é comparado a taxa de geração total de gás em função do tempo. Pode-se notar que a mistura de borracha e coque possui uma taxa ligeiramente superior do que o coque puro. Esse fato pode ser atribuído ao Hidrogênio contido em maior proporção na borracha do que no coque (Sahajwalla, et al., 2011).

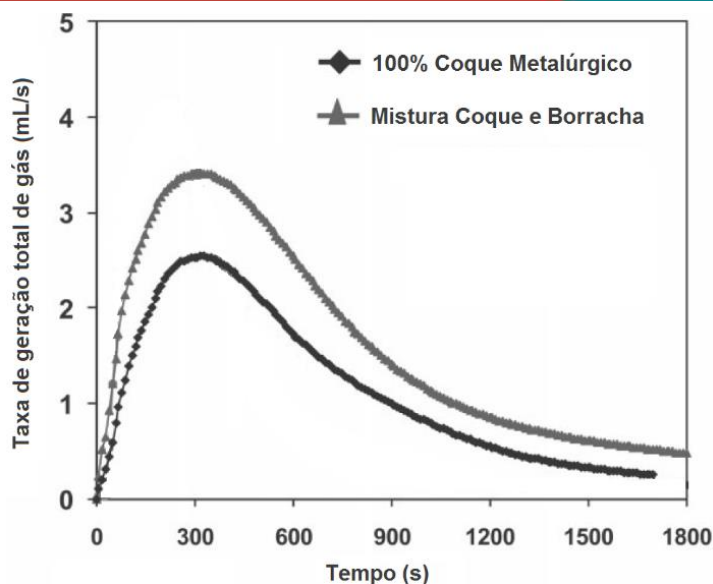


Figura 1 - Taxa de Geração Total de Gás em função do Tempo para Coque e mistura de Coque e Borracha. Adaptado de Sahajwalla, et al. (2011).

2.3 Materiais e Métodos

Os testes de injeção de borracha triturada foram realizados na planta da Gerdau São Paulo em Araçariguama.

Esta planta opera com um forno elétrico a arco trifásico com capacidade de vazamento de 108 t. O forno possui 3 injetoras de combustível, 2 em operação e 1 de reserva.

O material combustível é armazenado em 3 silos separados de 30 m³ cada e que abastecem cada uma das 3 injetoras.

A borracha de pneu triturada foi processada utilizando peneiras inferior de 3 mm e superior de 8 mm, além da isenção de metais, tecidos, nylon e fibras. Abaixo uma foto mostrando o material:



FIGURA 2 - DETALHE DA BORRACHA DE PNEU TRITURADA INJETADA NO FORNO ELÉTRICO. FONTE: AMBROSIO (2018)

Os testes de injeção de borracha triturada foram realizados na produção do aço 1020D. Durante os testes procurou-se manter inalteradas todas as fontes de variação. Corridas de partida após parada do forno e corridas nas quais houveram alteração da carga fria foram retiradas da base de dados para o teste.

Foram testadas 4 proporções na injeção de borracha:

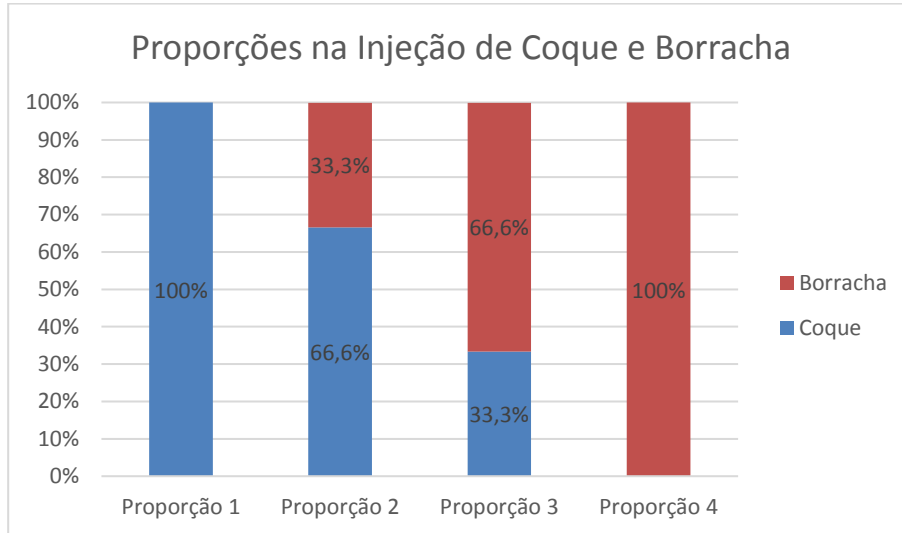


FIGURA 3- NÍVEIS DE INJEÇÃO DE COQUE E BORRACHA. FONTE: AMBROSIO (2018).

Em toda corrida foi retirada amostra de aço e escória antes do vazamento, as quais foram analisadas utilizando o espectrômetro de fluorescência de RX com dispersão de comprimento de ondas. Os elementos foram analisados:

No aço: Carbono, Cromo, Cobre, Manganês, Molibdênio, Nióbio, Níquel, Fósforo, Enxofre, Silício, Estanho, Zinco, Chumbo e Arsênio.

Na escória: CaO, SiO₂, FeO, MnO, MgO, Al₂O₃, P₂O₅, TiO₂, S e F.

As amostras de aço e escória foram analisadas nos respectivos equipamentos:



FIGURA 4 - EQUIPAMENTOS DE ANÁLISE DE AÇO E ESCÓRIA. FONTE: CATÁLOGO DO FABRICANTE THERMO FISHER.

2.3 Resultados e Discussão

Foram analisados os níveis de Enxofre no aço para as 4 proporções diferentes utilizadas de coque e borracha. Utilizou-se para as análises estatísticas o software Minitab. Primeiro foi feito um box-plot para avaliar e retirar os pontos com desvio excessivo (outliers) conforme segue:

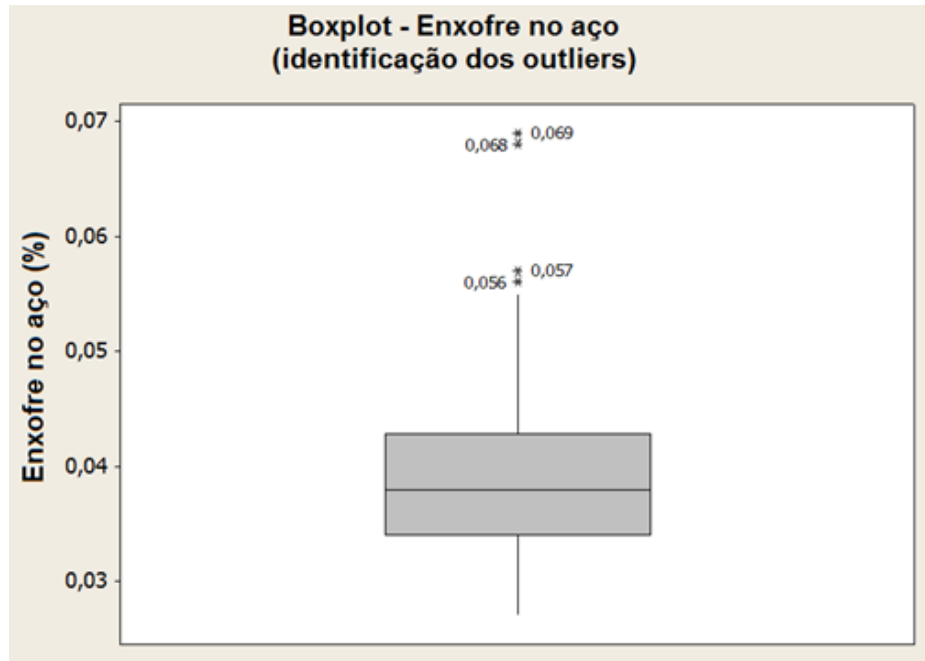


FIGURA 5 - BOXPLOT - ENXOFRE NO AÇO PARA TODOS OS NÍVEIS DE BORRACHA (IDENTIFICAÇÃO DOS OUTLIERS)

Depois agrupou-se os dados, deixando-se fora da análise os pontos que não estão contidos em nenhum dos 4 intervalos:

Faixas de uso da borracha:

Faixa 1 = 0% borracha =	$0\% < F1 < 10\%$
Faixa 2 = 33% borracha =	$23\% < F2 < 43\%$
Faixa 3 = 66% borracha =	$56\% < F3 < 76\%$
Faixa 4 = 100% borracha =	$90\% < F4 < 100\%$

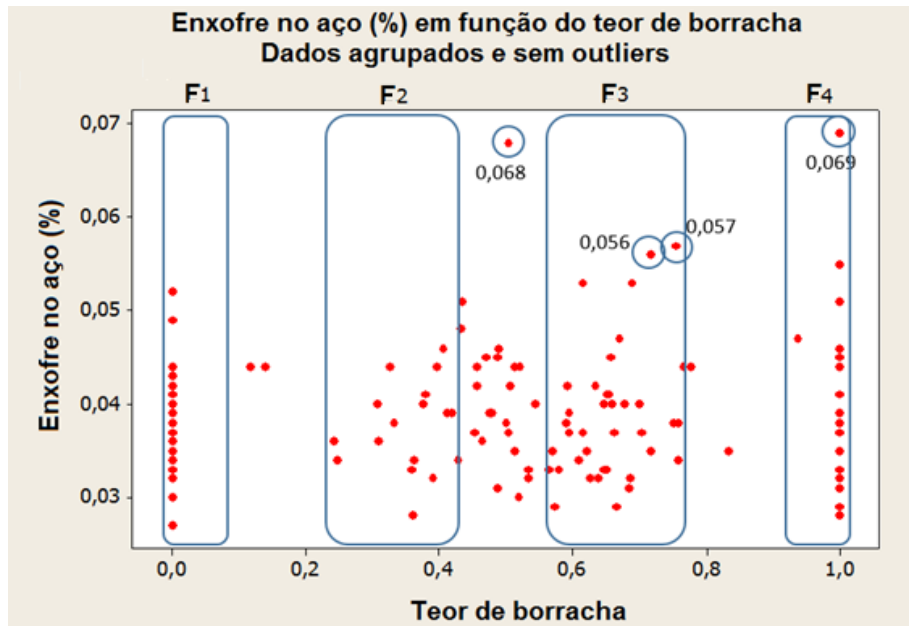


FIGURA 6 - ENXOFRE NO AÇO (%) EM FUNÇÃO DO TEOR DE BORRACHA - DADOS AGRUPADOS E SEM OUTLIERS

Após o tratamento foi realizado análise das variâncias (ANOVA) para verificar se há diferenças no teor de Enxofre no aço entre os grupos com intervalo de confiança de 95%.

Hipótese H0: não há diferença significativa entre os grupos

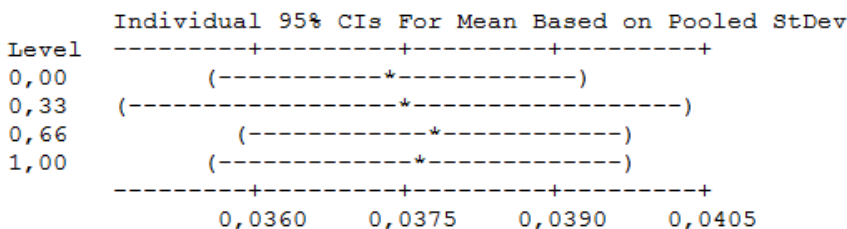
Hipótese H1: há diferença significativa pelo menos entre dois grupos

One-way ANOVA: Enxofre no aço (%)* versus Teor de Borracha*

Source	DF	SS	MS	F	P
Teor de Borracha*	3	0,0000028	0,0000009	0,03	0,994
Error	118	0,0040732	0,0000345		
Total	121	0,0040760			

S = 0,005875 R-Sq = 0,07% R-Sq(adj) = 0,00%

Level	N	Mean	StDev
0,00	38	0,037368	0,005455
0,33	17	0,037529	0,004797
0,66	36	0,037750	0,005764
1,00	31	0,037613	0,006931



Pooled StDev = 0,005875

O resultado $P_{valor} = 0,994 > 0,05$ mostrou que não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar H0.

Apesar dos níveis maiores de Enxofre na borracha triturada comparado ao coque, não foi observado um aumento estatisticamente significativo do nível de Enxofre no aço. Esse fato reitera os dados obtidos em literatura nos testes feitos em

* Contribuição técnica ao 49º Seminário de Aciaria, Fundação e Metalurgia de Não-Ferrosos, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 04 de outubro de 2018, São Paulo, SP, Brasil.

outras siderúrgica. Duas hipóteses podem ser levantadas e necessitam ser testadas em trabalhos futuros para explicar qual o destino dessa quantidade maior de Enxofre presente na borracha:

Hipótese 1: o Enxofre fica retido na escória

Hipótese 2: o Enxofre vai para o sistema de coleta de gases na forma de SO₂.

3 CONCLUSÃO

O presente trabalho possibilitou concluir que o uso de borracha triturada a partir de pneus inservíveis para substituto do coque não ocasiona um aumento dos teores de Enxofre no aço. Esse resultado é um indicativo de que a borracha é um potencial substituto do coque como carburante na injeção, apresentando viabilidade técnico-operacional e vantagens relacionadas ao meio ambiente e custo.

Agradecimentos

Agradeço ao Departamento de Metalurgia e Materiais da Universidade de São Paulo, em especial ao professor Flavio Beneduce.

Agradeço também a empresa Gerdau e todos os amigos que estiveram envolvidos na elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 M Babich, A. I., Gudenau, H. W., & Senk, D. G. (2003). Optimisation of energy consumption in ironmaking processes by combined use of coal, dust and waste. *Proceedings of the 3rd International Conference on Science and Technology of Ironmaking*, (pp. 88-94). Dusseldorf.
- 2 Rossi, D. (2014). Influência da proporção entre as vazões de oxigênio e gás natural do sistema de injeção na eficiência energética de um forno elétrico a arco. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM. Fonte: <http://hdl.handle.net/10183/114957>
- 3 John, A. L. (2009). Melhorias no desempenho dos injetores supersônicos em operação em um forno elétrico a arco. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM.
- 4 Gorni, A. A. (2008). Aproveitamento de sucata de pneus e resinas plásticas em forno elétricos a arco. *Feira e Congresso Plastshow*, (pp. 3-5). São Paulo.
- 5 Zaharia, M., Sahajwalla, V., Khanna, R., Koshy, P., & O'Kane, P. (2009). Carbon/Slag interactions between coke/rubber blends and EAF slag at 1550°C. *ISIJ International*, 49(10), pp. 1516-1521.
- 6 Sahajwalla, V., Zaharia, M., Rahman, M., Khanna, R., Saha-Chaudhury, N., O'Kane, P., . . . Knights, D. (10 de fevereiro de 2011). Recycling Rubber Tyres and Waste Plastics in EAF Steelmaking. *steel research journal*, 5(82), 566-572.