

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE SUCATA POLIMÉRICA EM SUBSTITUIÇÃO AO CARVÃO EM ALTO-FORNOS¹

Giovana Ribeiro Ferreira²
Natália Chaves Almeida³
Gemírson de Paula dos Reis³
Carlos Frederico Campos de Assis⁴
Paulo Santos Assis⁵

Resumo

No Brasil, o segmento siderúrgico tem relevante participação na emissão de CO₂, em função da intensa utilização de combustíveis fósseis. A preocupação mundial com a emissão de gases estufa tem estimulado o desenvolvimento de diversos trabalhos visando a utilização de combustíveis alternativos para injeção em altos-fornos, responsável por grande parte do consumo energético de uma usina. Dentre os combustíveis estudados, os polímeros pós-consumo se tornam uma alternativa interessante devido à sua grande disponibilidade e à composição química semelhante aos combustíveis comumente utilizados. Esta proposta contribui para uma diminuição nos prejuízos ocasionados ao meio ambiente não somente pela possível redução das emissões de CO₂, como também pela diminuição do volume de sucata plástica em lixões. Dessa forma, diversos autores tem se preocupado em verificar a possível contribuição da tecnologia de injeção de diferentes polímeros pós-consumo como combustível na etapa de redução em alto forno. O presente trabalho propõe um estudo teórico da utilização de polímeros em altos-fornos, bem como das propriedades químicas e físicas dos polímeros utilizados na reciclagem energética. Após o levantamento dos polímeros utilizados e da avaliação de suas propriedades estas são correlacionadas com a viabilidade técnica da aplicação desses materiais em alto-forno. Ao longo do trabalho também serão discutidas a viabilidade econômica e a disponibilidade de sucata dos materiais. Assim, com este estudo, realizou-se um levantamento das propriedades que contribuem ou não para a viabilidade técnica da reciclagem energética dos polímeros em altos-fornos bem como propostas de quais estruturas poliméricas são promissoras e viáveis para esta aplicação.

Palavras-chave: Injeção de materiais pulverizados; Plásticos; Alto-forno; Crédito de carbono.

EVALUATION OF THE USE OF PLASTICS WASTE IN THE BLAST FURNACE

Abstract

In Brazil, the iron and steel making segment has significant participation in CO₂ emissions, due to the intense use of fossil fuels. The global concern with the emission of greenhouse gases has stimulated the development of several studies aiming at the use of alternative fuels for injection in blast furnaces, which accounted for much of the energy consumption of a plant. Among the fuels studied, waste polymers become an interesting alternative due to its wide availability and chemical composition similar to commonly used fuels. This proposal contributes to a reduction in losses caused to the environment not only for the possible reduction of CO₂ emissions, but also by decreasing the volume of plastic in sanitary landfills. Thus, several authors have bothered to check the possible contribution of injection technology of different waste polymers as fuel reduction step in the blast furnace. This paper proposes a theoretical study of the use of polymers in blast furnaces, as well as chemical and physical properties of polymers used in recycling energy. After the removal of the polymers used and the evaluation of these properties are correlated with the technical viability of applying these materials in a blast furnace. Throughout the paper also discusses the economic viability and availability of scrap materials. So with this study, we carried out a survey of the properties that contributing or not to the technical viability of energy recycling of polymers in blast furnaces as well as proposals for polymeric structures which are viable and promising for this application.

Key words: Injection of powdered materials; Plastics; Blast furnace; Carbon credit.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

² Bacharel em Química Industrial. Doutoranda em Ciências e Engenharia de Materiais pela Rede Temática de Ciência e Engenharia de Materiais - UFOP.

³ Membro da ABM. Graduando em Engenharia Metalúrgica pela Escola de Minas – UFOP

⁴ Membro da ABM. Doutorando em Ciências e Engenharia de Materiais pela Rede Temática de Ciência e Engenharia de Materiais - UFOP.

⁵ Membro da ABM. Prof. Titular da Escola de Minas, Prof. da REDEMAT, Diretor do Núcleo de Energia, Meio Ambiente e Siderurgia da Escola de Minas-UFOP, Prof. Honorário da HUST, China, Pesquisador do CNPq.

1 INTRODUÇÃO

Apesar da existência de uma grande variedade de termoplásticos, 90% de seu consumo nacional é baseado em cinco estruturas: o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o poliestireno (PS), o poli cloreto de vinil (PVC) e o poli(tereftalato de etileno (PET), sendo por conseqüência os mais encontrados em resíduos sólidos urbanos.⁽¹⁾ O alto teor de plásticos nos resíduos urbanos mostra a necessidade de reciclagem desses materiais como alternativa para redução da quantidade fabricada de material virgem e para redução do volume de resíduos sólidos. Apesar da reciclagem de polímeros ser uma alternativa bastante atraente do ponto de vista ambiental há algumas limitações a cerca da utilização dos polímeros reciclados. De acordo com a portaria nº 987 de 1998 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde,⁽²⁾ os polímeros reciclados não podem ser utilizados em contato com bebidas, remédios, alimentos, brinquedos e material de uso hospitalar pois, dependendo do uso anterior, ele pode estar contaminado.^(3,4) A portaria citada, de uma forma geral, limita o uso de polímeros reciclados no setor de embalagens, que é responsável pela maior utilização dessa forma de materiais,⁽⁵⁾ cerca de 42% segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do plástico – Abiplast.⁽⁶⁾ Assim, o estudo da utilização dos polímeros pós-consumo em aplicações que não envolvam o setor de embalagens torna-se bastante atraente. Apesar da variedade de processos de reciclagem existentes (reciclagem mecânica, química e energética), atualmente apenas 21% do total de plásticos descartados é reciclado.⁽⁷⁾ A despeito de não ser um processo muito difundido no Brasil, os polímeros podem ser aproveitados na recuperação energética devido ao seu alto poder calorífico, processo que corresponde à destinação final de aproximadamente 130 milhões de ton/ano de lixo urbano que são destinadas para 750 usinas instaladas em 35 países da Europa, EUA, Japão e vários países emergentes da Ásia.⁽⁸⁾ Dentre as aplicações da reciclagem energética de polímeros sua utilização em altos-fornos tem se mostrado atraente do ponto de vista ambiental e energético.⁽⁹⁻¹¹⁾ Nestas aplicações o polímero é utilizado não apenas como combustível mas também como meio redutor ou como matéria-prima coqueificável.⁽⁹⁻¹¹⁾ Assim este trabalho apresenta uma revisão da literatura relacionada à injeção de polímeros em altos-fornos siderúrgicos listando, inicialmente quais são os polímeros mais utilizados e, destes, quais os mais eficientes para esta aplicação. Após esta etapa inicial foi correlacionada a eficiência dos polímeros com sua estrutura e finalmente, avaliada a viabilidade técnica e econômica da técnica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a composição do referencial teórico desta pesquisa, foram utilizados unicamente artigos científicos originais, revisões e resumos (*abstracts*), os quais foram publicados em jornais e revistas científicas nacionais ou internacionais, os quais desenvolvem trabalhos nas áreas de energia, meio ambiente, materiais e siderurgia. O acesso a esses trabalhos foi realizado através das principais bases de dados nacionais e internacionais disponíveis, como *web of science* e *Google Scholar*. Utilizou-se na busca termos relacionados à propriedades de polímeros, reciclagem energética de polímeros e à utilização destes materiais como combustíveis em altos-fornos. Foram selecionados artigos e resumos publicados e utilizados todos aqueles considerados relevantes para esclarecer tópicos relativos ao tema proposto no trabalho.

3 RESULTADOS

O carbono presente no coque em um alto-forno tem por objetivo combinar-se com o oxigênio do minério, de forma a liberar o ferro metálico e gerar o calor necessário para as reações metalúrgicas e a fusão do metal obtido. O ferro assim extraído deposita-se no estado líquido no cadinho do alto-forno, apresentando-se na forma de ferro gusa, ou seja, ferro contendo em torno de 4% de carbono e outros elementos, tais como manganês, silício, fósforo e enxofre, entre outros. A injeção de finos de carvão em altos-fornos eleva seu desempenho, pois esses materiais complementam a oferta de carbono ao processo de redução do minério.⁽¹²⁾ Foi mostrado que a sucata plástica apresenta composição química semelhante ao carvão e ao óleo, como mostrado na Tabela 1,^(13,14) o que, a princípio, possibilita seu uso em substituição ao carvão.

Tabela 1. Composição química do carvão, óleo e sucata plástica

% em peso	Carvão	Óleo	Plástico
C	79,60	85,90	83,74
H	4,32	10,50	12,38
S	0,97	2,23	0,05
Cinzas	9,03	0,05	3,08
Cl	0,20	0,04	0,75
Pb	0,0050	0,0001	0,0002
Cr	0,0013	0,0002	0,0013
Ni	0,0028	0,0075	0,0011
V	0,0045	0,0600	0,0002
Zn	0,0065	0,0001	0,0073
Cu	0,0015	0,0001	0,0013
K	0,2656	0,0010	0,0170
Na	0,0816	0,0010	0,0200

Durante o desenvolvimento deste trabalho, observou-se que na maioria dos trabalhos são utilizados os polímeros PE, PS, PP e PET, bem como misturas desses polímeros ou amostras de sucata plástica sem separação, que consiste basicamente em uma mistura desses polímeros além do PVC. Alguns trabalhos também relatam o uso de sucata plástica com a remoção de PVC, visto que ele pode liberar produtos tóxicos durante sua queima.^(9-11,13-21) A principal desvantagem da utilização da sucata plástica em altos-fornos é relacionada à liberação de produtos tóxicos, principalmente ao se tratar de polímeros contendo cloro em sua estrutura química. No entanto, mostrou-se que quando queimados acima de 500°C essa reação libera basicamente monóxido de carbono, dióxido de carbono e metano,⁽¹⁶⁾ esses dados mostram que os compostos ainda são necessários estudos relacionados à emissão de gases nocivos durante a utilização de plásticos, bem como a comparação com os gases emitidos por outros combustíveis. Deve ser salientado que os níveis térmicos reinantes na zona de combustão de um alto-forno se situam na faixa de 2.000°C,⁽¹²⁾ portanto tornando inócua a liberação de gases tóxicos.

A fim de comparar as propriedades dos polímeros mais utilizados, a Tabela 2 mostra a composição química desses polímeros, bem como o calor de liberado na combustão desses polímeros. O estudo da performance desses polímeros pós consumo separadamente, pode ser realizado facilmente visto que eles podem ser

separados do lixo, com base em uma classificação recebida por toda embalagem plástica como mostrado na Figura 1, a título de ilustração.⁽²²⁾

Tabela 2. Composição química energia liberada na queima de diferentes polímeros

	% em peso				Energia/(MJ. kg ⁻¹)
	C	H	O	Cl	
PE	85,5	14,3	0	0	43,3 -46,5
PP	85,5	14,3	0	0	46,5
PS	92,3	7,7	0	0	41,9
PET	62,5	4,2	33,3	0	---

Da Tabela 2 observa-se que diferentes materiais poliméricos apresentam composição química e energia liberada no processo de oxidação diferenciados, o que irá refletir em desempenhos diferentes em altos-fornos. É importante ressaltar que a composição desses valores são calculados para a resina plástica pré-consumo e que valores diferentes poderão ser encontrados para os materiais pós-consumo. Os polímeros apresentados na Tabela 2 além de liberarem grande quantidade de energia na queima, apresentam-se em grandes quantidades no lixo urbano, o que reforça a importância do estudo do aproveitamento desses materiais em altos-fornos.

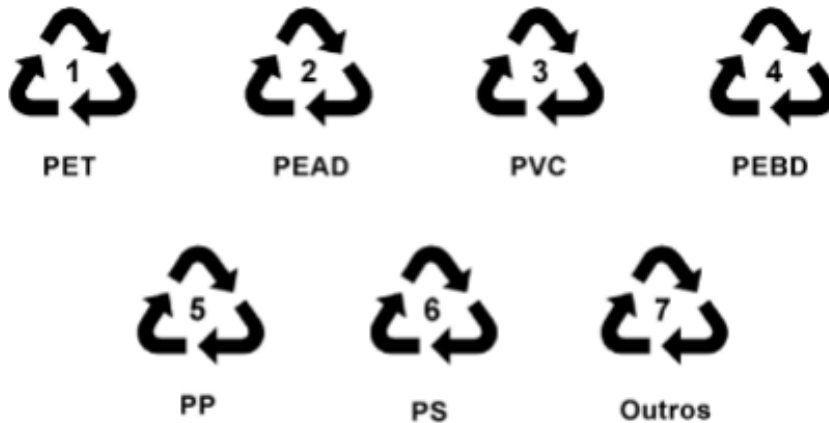


Figura 1. Simbologia utilizada para a identificação de embalagens plásticas.

Apesar de já serem utilizados com sucesso em grande indústrias siderúrgicas no mundo como a *NKK Corporation* no Japão⁽⁹⁾ e na *Bremen Steel Company* na Alemanha,⁽¹⁰⁾ no Brasil o processo não é utilizado e, além disso, é pouco estudado. Na busca realizada, verificou-se que apenas duas instituições no Brasil tem realizado experimentos voltados para o desenvolvimento desta área, no entanto não foram encontrados resultados experimentais.^(23,24) Fica evidente que em países com escassez de recursos energéticos, a utilização da energia proveniente de resíduos sólidos se torna mais atraente do que em países que apresentam abundância nesses recursos como o Brasil. No entanto, o tema é atraente não apenas pelo aproveitamento energético, como também pela possibilidade de redução de até 90% do volume de resíduos sólidos poliméricos, visto que quase a totalidade de resíduos poliméricos pode ser aproveitada por este método. Destaca-se que materiais poliméricos com baixa ou nenhuma reciclabilidade como borrachas, isopor® e espumas também podem ser reutilizados neste processo.⁽¹⁶⁾ Em relação à emissão de gases um estudo recente⁽²⁰⁾ investigou o potencial de redução de CO₂ com a utilização de algumas resinas plásticas isoladamente (PE, PP, PS e PET) em altos-

foros. O potencial de redução da emissão de CO₂ depende do polímero utilizado, ou da composição da sucata, no caso da injeção de misturas de polímeros. A Figura 2 mostra a redução emissão de gases pela utilização de 1 tonelada de polímero em substituição ao carvão.

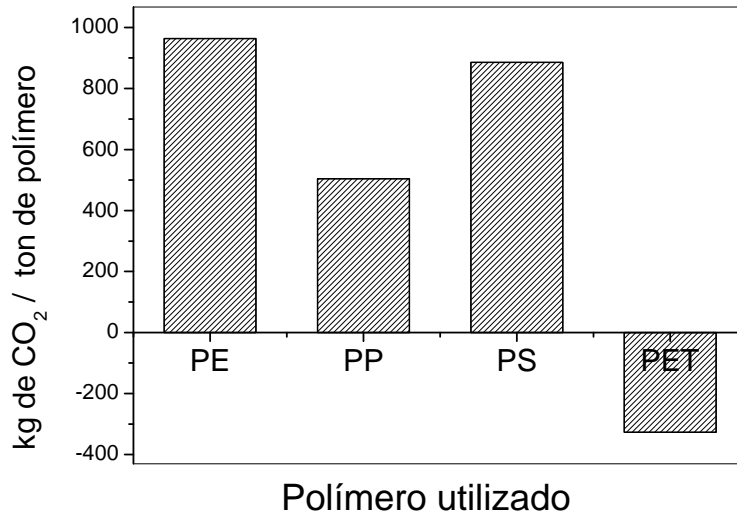


Figura 2. Redução na emissão de CO₂ quando 1 tonelada de plástico é injetada em alto-forno.

Observa-se que com exceção do PET a substituição do carvão por plásticos ocasionou redução na quantidade de CO₂ liberada, o que foi atribuído à baixa eficiência do PET e à necessidade da utilização de uma grande quantidade para o rendimento de uma menor quantidade de carvão. Devido às diferentes propriedades de cada polímero, cada resina foi utilizada em uma quantidade para substituir a mesma quantidade de carvão. Vale ressaltar que este trabalho foi realizado utilizando misturas de carvão e polímero, sendo necessária a realização de estudos com a injeção apenas de polímeros. Utilizando os resultados desses estudos e a quantidade de resíduos plásticos não reciclados no Brasil⁽⁷⁾ e considerando que a composição do lixo plástico não reciclado é a aproximadamente à composição do lixo plástico total, estima-se que utilizando a sucata plástica que não é reciclada de outra forma em altos-fornos seriam reduzidas 1,76 x10⁶ toneladas de CO₂ emitido na produção de aço anualmente.

No mesmo estudo, é mostrado, também que os polímeros que apresentaram melhor desempenho foram PS, PE e PP seguido do PET. O calor liberado na queima de uma tonelada de PS é menor do que o liberado na queima do PS e PP, o que sugere que outras propriedades físicas e químicas dos polímeros interferem no processo. Uma propriedade que provavelmente está relacionada a estes resultados é a permeabilidade a gases, visto que a superfície de contato influencia na queima. A permeabilidade a gases desses polímeros diminui na seguinte ordem PS, PE, PP e PET,⁽²²⁾ o que corrobora com a hipótese. Outras propriedades cuja influência pode ser estudada são a resistência à oxidação, a inflamabilidade, a porosidade dentre outras.

Em suma, os trabalhos analisados mostram que a substituição estudada é tecnicamente possível e ambientalmente viável. Observou-se também que ainda são necessários estudos relacionados à viabilidade técnica dos polímeros mais presentes no resíduo sólido e à viabilidade econômica dos processos. Uma alternativa para viabilizar economicamente o processo seria a concessão de créditos de carbono. A concessão de créditos de carbono deve ser feita considerando não apenas a redução na emissão de gases durante a operação dos altos-fornos como

também a redução na emissão de gases devido à remoção de materiais poliméricos que liberariam CO₂ em sua degradação durante um período de 200 a 450 anos. Foi observada também a necessidade de estudos no Brasil, visto que apesar do grande número de siderúrgicas poucos estudos são realizados neste sentido e que pode-se reduzir milhões de toneladas de carbono emitido durante a produção de aço.

4 DISCUSSAO DE RESULTADOS

A revisão dos estudos que descreveram a utilização de polímeros como combustível em altos-fornos mostrou, inicialmente, que a proposta é possível sendo utilizada industrialmente em países como a Alemanha e o Japão. Observou-se divergências relacionadas à emissão de gases tóxicos durante a queima de polímeros (especialmente o PVC), o que merece maiores estudos. Analisando as propriedades físicas e químicas de polímeros abundantes no resíduo sólido urbano conclui-se que fatores como a composição química semelhante à do carvão e a grande quantidade energética liberada na queima desses polímeros são fatores que permitem essa aplicação, no entanto, algumas propriedades ainda não exploradas como permeabilidade à gases, resistência à oxidação e inflamabilidade também exercem influência na eficiência do processo. Além de tecnicamente possível, a viabilidade ambiental da utilização dos polímeros merecem destaque devido à redução na emissão de CO₂ durante a produção do aço, redução do volume de resíduos urbanos e destruição de materiais que se decompõe de 250 anos a 400 anos com liberação de gases estufa (CO₂ e C₄H₄). Por fim, estimou-se que a redução na emissão de CO₂ considerando apenas à relativa a produção de aço seria de milhões de toneladas por ano.

5 CONCLUSOES

Concluiu-se do trabalho realizado:

- é possível o uso de polímeros em altos-fornos, como agentes térmico e redutor;
- o uso do PVC normalmente gera gases tóxicos;
- é importante que propriedades de plásticos oriundos de resíduos urbanos tenham algumas propriedades determinadas a priori, antes de seu uso em altos-fornos. Uma delas é a combustibilidade em ambiente similar ao que ocorre nas ventaneiras de altos-fornos; e
- estima-se uma redução sensível de gases do efeito estufa (CO₂) da ordem de milhões de toneladas, equivalente atualmente a uma percepção superior a 50 milhões de euros anuais.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação Gorceix, Escola de Minas, UFOP e das seguintes agências de fomento à pesquisa do Brasil: CAPES, CNPq e FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

- 1 PEREIRA, R. C. C., MACHADO, A. H., SILVA, G. G. Conhecendo o PET. Química nova na escola, n 15. 2002
- 2 <http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/embalagens.htm>, acesso em 25/03/2010.
- 3 BRANDRUP, J. Prerequisites for successful recycling of polymer waste. Macromolecular Symposia, V. 5, n. 1, pages 57–74, mai 1992.
- 4 GARCIA, E.E.C. A reciclagem dos plásticos e o contato com alimentos. Boletim de tecnologia e desenvolvimento de embalagens. v. 10, n.1, 1998.
- 5 SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. Química Nova, v.28 n.1, Jan 2005
- 6 www.abiplast.org.br, acesso em 30/05/2011
- 7 PARENTE, R. A. Elementos estruturais de plástico reciclado. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, mar 2006
- 8 FORTES, R. G. Identificação e avaliação dos principais aspectos relacionados à reciclagem dos plásticos mais utilizados no setor automobilístico brasileiro e o seu atendimento à regulamentação ambiental. Dissertação de mestrado. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC e Instituto de Engenharia do Paraná - IEP. 2008.
- 9 ASANUMA, M.; ARIYAMA, T.; SATO, M.; MURAI, R.; NONAKA, T. Development of waste plastics injection process in blast furnace. Iron and Steel Institute of Japan International, V. 40, n. 3. 2000.
- 10 KIM, D.; SHIN, S.; SOHN, S.; CHOI, J.; BAN, B. Waste plastics as supplemental fuel in the blast furnace process: improving combustion efficiencies. Journal of Hazardous Materials, v. 14, n. 3, pages 213-222. 2002.
- 11 RAYGAN, S.; ABDIZADEH, H.; ESKANDARI, R. Evaluation of four coals for blast furnace pulverized coal injection. Journal of iron and steel research international, v. 17, n. 3, 08-12. 2010.
- 12 ASSIS, C. F. C. Caracterização de carvão vegetal para a sua injeção em altos-fornos a carvão vegetal de pequeno porte. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais - UFOP, 2008.
- 13 JANZ, J.; WEISS, W. Injection of waste plastics into the blast furnace of stahlwerke bremen. La Revue de Metallurgie - CIT, v 93, n 10, 1219-1226. 1996.
- 14 LINDENBERG, H. U. Rohstoffliches Recycling von Kunststoffen als reduktions mittel im Hochofen. Stahl und Eisen, v. 116, n. 8, p. 89-90. 1996.
- 15 ASANUMA, M.; KAJIOKA M.; KUWABARA M.; FUKUMOTO Y.; TERADA K.; Establishment of Advanced Recycling Technology for Waste Plastics in Blast Furnace. JFE steel corporation technical report, n. 13. 2009
- 16 AL-SALEM, S.M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals. Progress in Energy and Combustion Science, v. 36, p. 103–129. 2009
- 17 PARK, C. H.; Jeon, H. S.; Park, J. K. PVC removal from mixed plastics by triboelectrostatic separation. Journal of Hazardous Materials, v. 144, p. 470–476. 2007.
- 18 GUPTA, S.; SAHAJWALLA, V.; WOOD, J. Simultaneous Combustion of Waste Plastics with Coal for Pulverized Coal Injection Application. *Energy & Fuels*, v. 20, p. 2557-2563. 2006
- 19 SAHAJWALLA, V.; ZAHARIA, M.; ANTONY, A. A.; LEE, J.; DARMA, S. KHANNA, R.; SAHA-CHAUDHURY, N.; KNIGHTS, D.; O’KANE, P.; PRETORIUS, E. Combustion of organic waste materials for their utilization in eaf steelmaking. AISTech 2007 Proceedings, Indianapolis, USA, – Volume I. 2007
- 20 [SEKINE, Y.; FUKUDA, K.; KATO, K.; ADACHI, Y.; MATSUNO, Y. CO₂ reduction potentials by utilizing waste plastics in steel works. The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 14, p. 122–136. 2009.

- 21 SAHAJWALLA, V.; ZAHARIA, M.; KONGKARAT, S.; KHANNA,R.; SAHA-CHAUDHURY, N.; O’KANE, P.RECYCLING. Plastics as a Resource for Electric Arc Furnace (EAF) Steelmaking:Combustion and Structural Transformations of Metallurgical Coke and Plastic Blends. Recycling Energy Fuels, v. 24, p. 379–391. 2010.
- 22 MANO, E. Polímeros como Materiais de Engenharia. Edgard Blucher, 2000.
- 23 MOREIRA, A. G.; LARANGEIRA, G.; PEREIRA, L. S.; BOTELHO R. A.; SOUZA D. F.; IGNÁCIO, C. Preparação de misturas de resíduos poliméricos com finos de carvão vegetal para injeção de finos no processo de redução em alto forno. 10ª Semana de Iniciação Científica e 1ª Semana de Extensão. 2009.
- 24 ASSIS, P.S. Injeção de materiais plásticos em altos-fornos. In: international congress on alternative routes iron and steelmaking. Perth, Australia, Sept 1999.