

UTILIZAÇÃO DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL PARA PRODUÇÃO DE BIOCOQUE METALÚRGICO*

Guilherme Liziero Ruggio da Silva¹
Erick Mitchell Henrique Braga²
Paulo Santos Assis³
Alfredo Carlos Bitarães Quintas⁴
Paulo Henrique Grossi Dornelas⁵
Lorena Cristina Amorim Moura⁶
Renata Dias Silva e Souza⁷

Resumo

Uma marcha estável do Alto Forno está bastante ligada à consistência das propriedades químicas, físicas e metalúrgicas das suas matérias-primas, especialmente, do coque. O desafio da produção de coque está em projetar misturas de carvões que produzam coque a custo baixo e com elevada qualidade. Neste contexto, este trabalho visa avaliar a utilização de moinha de carvão vegetal na mistura de carvões reduzindo a necessidade da importação de carvões minerais, mantendo a qualidade requerida pelo Alto Forno, além de desenvolver uma rota para minimizar a emissão de CO₂ proveniente do processo de obtenção de ferro gusa em Altos Fornos a coque, reduzindo seu impacto ambiental. Foram realizados testes em escala piloto com até 20% de moinha de carvão vegetal. Os resultados das análises realizadas no coque mostraram a viabilidade técnica e comercial para utilização em até 2% na carga.

Palavras-chave: Emissão de CO₂; Coque; Carvão metalúrgico; Carvão vegetal.

USING CHARCOAL FINES FOR PRODUCTION THE METALLURGICAL BIOCOKE

Abstract

A Blast Furnace stable gait is closely linked to the consistency of the chemical, physical and metallurgical of its raw materials, especially coke. The challenge of coke production is in designing mixtures of coals to produce coke at low cost and with high quality. In this context, this study aims to evaluate the use of vegetable charcoal powder in coal mixture reducing the need to import mineral coals, and maintaining the quality required by the blast furnace, as well as developing a route to minimize the emission of CO₂ from the process obtaining pig iron in Blast Furnace coke, reducing its environmental impact. Tests were conducted on a pilot scale up to 20% utilization of charcoal with the assessment of impacts on the quality of the mixture and coke. The results showed the technical and commercial feasibility for use in up to 2% in charge.

Keywords: CO₂ emissions; Coke; Metallurgical coal; Charcoal.

¹ *Doutorando Engenharia dos Materiais REDEMAT/UFOP, Gerdau Ouro Branco, Brasil.*

² *Mestrando Engenharia dos Materiais REDEMAT/UFOP, Gerdau Ouro Branco, Brasil.*

³ *Prof. Dr. Titular da Escola de Minas da UFOP – REDEMAT, MG, Brasil*

⁴ *Graduando em Eng. Metalúrgica, Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), MG, Brasil.*

⁵ *Graduando em Engenharia Metalúrgica, IFMG. MG, Brasil.*

⁶ *Graduando em Engenharia Metalúrgica, IFMG. MG, Brasil.*

⁷ *Doutorando Engenharia dos Materiais REDEMAT/UFOP, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A competitividade do aço brasileiro depende, entre outros fatores, da produção em escala e a baixos custos de ferro gusa. O coque é a matéria prima que mais onera o custo de gusa, por se tratar de um produto obtido através da coqueificação do carvão mineral, 100% importado, pelo fato dos carvões brasileiros não apresentarem características essenciais para fabricação de coque de boa qualidade, principalmente cinza e enxofre.

Para projetar misturas de carvões que produzam coque de baixo custo e com elevada qualidade, é de suma importância a medição de parâmetros metalúrgicos como: resistência mecânica a frio (DI), resistência mecânica após a reação ao CO₂ (CSR), reatividade ao CO₂ (CRI), enxofre, matéria volátil e cinza. Além de predizer a qualidade do coque é importante trabalhar com misturas de carvões que promovam o prolongamento da vida útil das Coquerias.

O carvão vegetal, por sua vez, está se tornando um combustível metalúrgico de grande importância, uma vez que é derivado de uma das poucas fontes de carbono capazes de regeneração. O Brasil é o maior produtor mundial desse Biorredutor. Em sua produção, por ser um material muito friável, desde sua obtenção nas carvoarias até sua efetiva utilização nos Altos Fornos, o carvão sofre inúmeras quebras que inutilizam 25% deste combustível com uma granulometria abaixo de 9 mm, ou seja, finos de carvão, conhecido como moinha de carvão vegetal, um combustível alternativo, por ter seu preço de mercado inferior ao do carvão vegetal.

Ambientalmente o carvão vegetal leva grande vantagem em relação ao carvão mineral uma vez que é proveniente de uma fonte renovável. Apesar dos atuais processos de carbonização não serem isentos de poluição, dentre as vantagens das plantações florestais, destaca-se a possibilidade de remoção de CO₂ da atmosfera (1,8t CO₂/t madeira seca), liberação de O₂ para atmosfera (1,3t O₂/t madeira seca), além da retenção e aumento do estoque de carbono (20 kg CO₂/árvore ano).

A utilização do carvão mineral na siderurgia resulta na emissão de diversos poluentes. Essa emissão pode ser reduzida com a substituição deste por um combustível renovável, como o carvão vegetal. Na Figura 1, a seguir, são apresentadas as rotas de produção de gusa a partir do carvão mineral e vegetal, além das emissões e remoções de dióxido de carbono em cada rota. A substituição do carvão mineral pelo carvão vegetal possibilita um ganho ambiental de três toneladas de dióxido de carbono equivalente por tonelada de gusa produzida.

Rota Carvão Vegetal:



Rota Carvão Mineral:

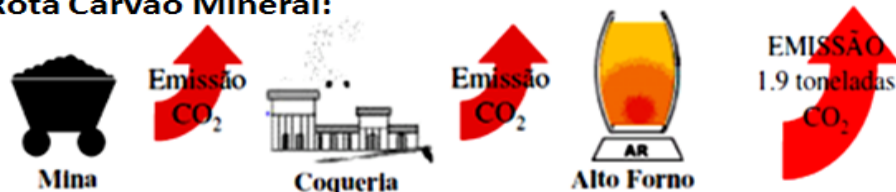


Figura 1: Rota do carvão mineral e vegetal. [1]

Alguns estudos já foram feitos a respeito da utilização de moinha de carvão vegetal na produção do coque metalúrgico. Medrado et al. [2] analisou a influência da utilização da moinha de carvão vegetal, para substituição parcial do carvão mineral na mistura base (MB) para fabricação de coque. Foi verificada a viabilidade da adição de até 2% no Mix da Coqueria. Na Tabela 1 temos os resultados dos testes realizados.

Tabela 1: Dados da qualidade do coque produzido no forno piloto de coqueificação [2]

Misturas	Tamanho médio (mm)	DI (%)	Reatividade (%)	Cinza (%)	Enxofre (%)	Carbono fixo (%)
Referência (CM)	80,4	79,3	24,5	11,4	0,63	87,9
98%MB + 2%BIO7	75,5	79,7	22,8	10,8	0,58	87,0
96%MB + 4%BIO7	79,2	79,2	26,3	10,6	0,57	87,2
94%MB + 6%BIO7	78,6	79,0	29,3	10,5	0,56	87,6

De acordo Macphee et al. [3], o uso de carvão vegetal para a produção de coque metalúrgico, pode ser utilizado como um agente de redução de custo para fabricação de ferro gusa, e que seria também uma estratégia para a redução das emissões de CO₂. Neste trabalho foram utilizadas várias misturas de carvão coqueificável com quantidades variadas de carvão vegetal. O objetivo era encontrar condições que permitiam a produção de coque industrial de qualidade aceitável com pelo menos 10% de carvão vegetal.

Macphee et al. [3], concluiu que a introdução de carvão vegetal em uma faixa granulométrica fina, abaixo de 0,250 mm, na mistura de carvão coqueificável produz coque de alta reatividade, enquanto a moinha de carvão vegetal com faixa granulométrica mais grosseira, entre 0,250 e 0,375mm, produz significativamente um coque de menor reatividade em relação ao coque produzido com a adição da moinha mais fina.

Ka Wing Ng et al. [4], estudou no Canmet Energy a incorporação de materiais derivados da biomassa nas misturas de carvão coqueificável e sua reatividade com o CO₂, sendo esta é uma das estratégias que poderiam reduzir os níveis de emissões de gases de efeito estufa produzidos pelo processo de fabricação do aço. Os autores criaram o termo “Biocoque” referente ao coque resultante preparado com a adição de carvão vegetal em uma mistura de carvão coqueificável.

A Figura 2 ilustra estas possíveis rotas para utilização de Biorredutor incluindo a possibilidade de utilização na Coqueria e para injeção em Altos Fornos.

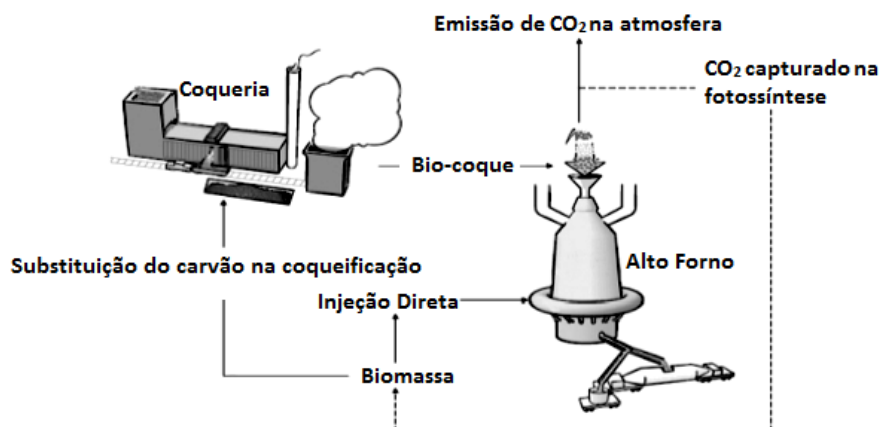


Figura 2: Aplicação de biomassa em Alto Forno. [4]

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, foram feitas misturas de carvões com adição de moinha de carvão vegetal buscando o desenvolvimento de um aditivo alternativo e inovador para fabricação de coque, podendo reduzir o custo da formação da mistura mantendo a qualidade do coque requerida pelo Alto Forno, além de contribuir com o meio ambiente por se tratar de uma biomassa.

Os experimentos, necessários à realização deste trabalho, foram realizados na Coqueria Piloto e no Laboratório de Matérias Primas da Gerdau – Usina Ouro Branco, e no Campus Ouro Branco do Instituto Federal de Minas Gerais em Ouro Branco - MG. A primeira etapa dos experimentos foi a coleta e preparação das matérias primas. O carvão mineral utilizado apresentava 85% das partículas abaixo de 2,83 mm e o Biorredutor encontrava-se em duas faixas granulométricas, a primeira 100% abaixo de 2,83 mm, dita fina e a segunda 70% abaixo de 2,83 mm, dita grossa.

Quanto ao carvão base que foi utilizado neste estudo, a Tabela 2 mostra a caracterização típica físico-química metalúrgica deste material.

Tabela 2. Caracterização físico-química metalúrgica típica do carvão base (% em peso)

Umidade (%)	Matéria Volátil (%)	Carbono Fixo (%)	Cinza (%)	Enxofre (%)	Fluidez [log (ddpm)]	Reativo (%)
8,96	21,71	67,00	9,62	0,34	1,43	69,27
Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)
0,09	0,52	25,69	2,55	0,39	3,92	58,36

A Tabela 3 mostra as principais características da moinha de Biorredutor.

Tabela 3. Principais características do carvão vegetal

Cinza (%)	Matéria Volátil (%)	Enxofre (%)	Fluidez [log (ddpm)]	Reflectância
5,47	22,31	0,017	0	N.A

Destaca-se o baixo conteúdo de enxofre, além da ausência de poder coqueificante e baixa quantidade de cinza.

A Tabela 4 traz os resultados da análise da química da cinza do Biorredutor.

Tabela 4. Resultados da análise da química da cinza do carvão vegetal

Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
4,47	15,91	3,19	0,79	0,49	48,17	8,28

Foram realizados 10 enforamentos com 4 níveis de adição de moinha (2,4, 8 e 12%) e 2 níveis granulométricos, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5. Descrição dos enforamentos

Enforamento	Granulometria	Carvão vegetal (%)	Mistura Base (kg)	Carvão vegetal (kg)
1	-	0	250	0
2	Fina	2	245	5
3	Grossa	2	245	5
4	Fina	4	240	10
6	Grossa	4	240	10
7	Fina	8	230	20
8	Grossa	8	230	20
9	Fina	12	220	30
10	Grossa	12	220	30

Os enforamentos foram realizados com uma carga de 250 kg e densidade de carga de 650 kg/t com umidade de 8%. Esse forno é aquecido por resistências elétricas. Os testes foram realizados a uma temperatura de 1200°C e o tempo de coqueificação foi de 20 horas para cada experimento.

Terminado o período de coqueificação, foi feita extinção a úmido do coque, gerando uma massa de aproximadamente 80 kg para cada amostra. No Laboratório de Matérias Primas foram realizados os testes de CSR, CRI, DI, matéria volátil, cinza e enxofre. A Figura 3 mostra um resumo da metodologia utilizada.

Experimento:

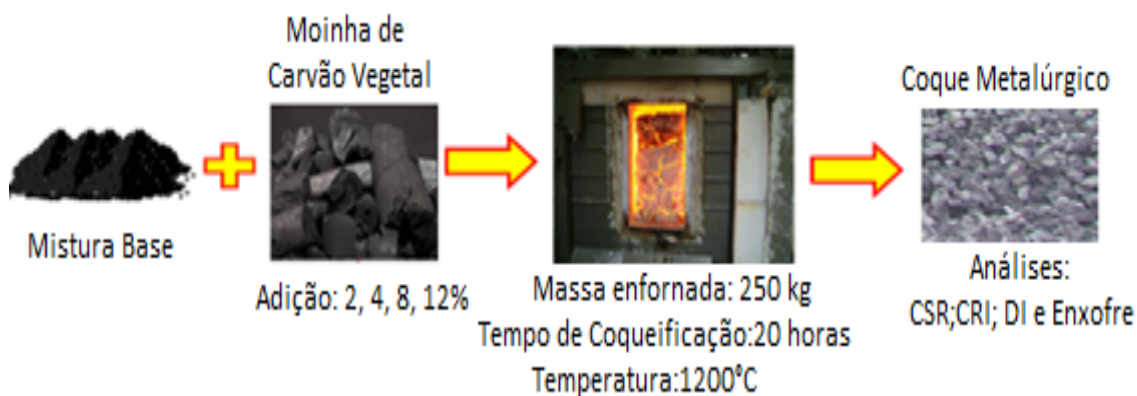


Figura 3. Metodologia experimental utilizada para os experimentos laboratoriais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todos os casos em que se utilizou a adição de moinha de carvão vegetal, observou-se uma redução linear da fluidez, já os resultados de CSR e DI mostraram uma queda acompanhada por um aumento no CRI em relação à mistura base, comprovando o efeito deletério da moinha de Biorredutor sobre a reatividade do coque e conseqüentemente sobre o CSR.

Com relação ao teste de resistência após a reação ao CO₂ (CSR), a variação do mesmo com a adição de moinha de Biorredutor pode ser observada a seguir na Figura 4.

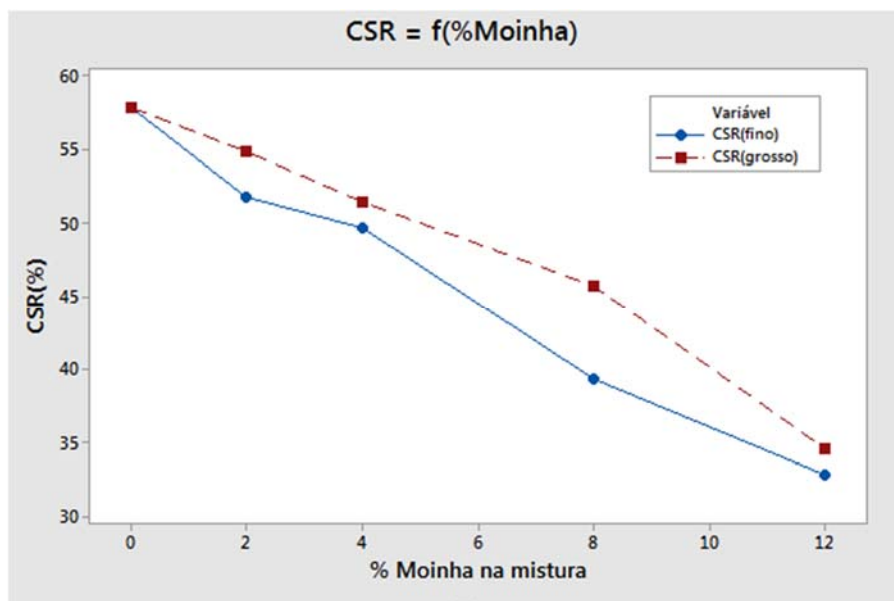


Figura 4. Influência da Granulometria do Biorredutor no CSR.

Observando os resultados obtidos, percebe-se que em todos os casos há uma queda no valor do CSR quando se adiciona o Biorredutor. Porém, na situação em que se utiliza Biorredutor grosso, tem-se um decréscimo menor do que quando se adicionou o Biorredutor fino para o mesmo nível de adição de biomassa, em função da menor superfície específica exposta (da biomassa) para reação ao CO₂, considerando que a moinha é mais reativa (mais porosa) do que o carvão mineral. Em média, com a adição de 12%, observa-se uma queda de 25% no CSR e um aumento de 13,65% no CRI. Foi desenvolvida uma metodologia para medir a porosidade utilizando o microscópio ótico, contabilizou-se o percentual de poros na matriz do coque. A Figura 5 ilustra a porosidade nos percentuais de moinha de carvão vegetal estudados. Esta acentuada queda pode ser explicada pela expressiva diferença entre as quantidades de poros existentes nos coques com 12% de moinha de Biorredutor em relação à mistura base, sem biomassa (Tabela 6).

Tabela 6. Resultados de porosidades dos coques analisados

500 leituras		
	Poros	Matriz Carbonosa
MB	35,5%	64,5%
MB + 4% Bio	59,4%	40,6%
MB + 12% Bio	78,0%	22,0%

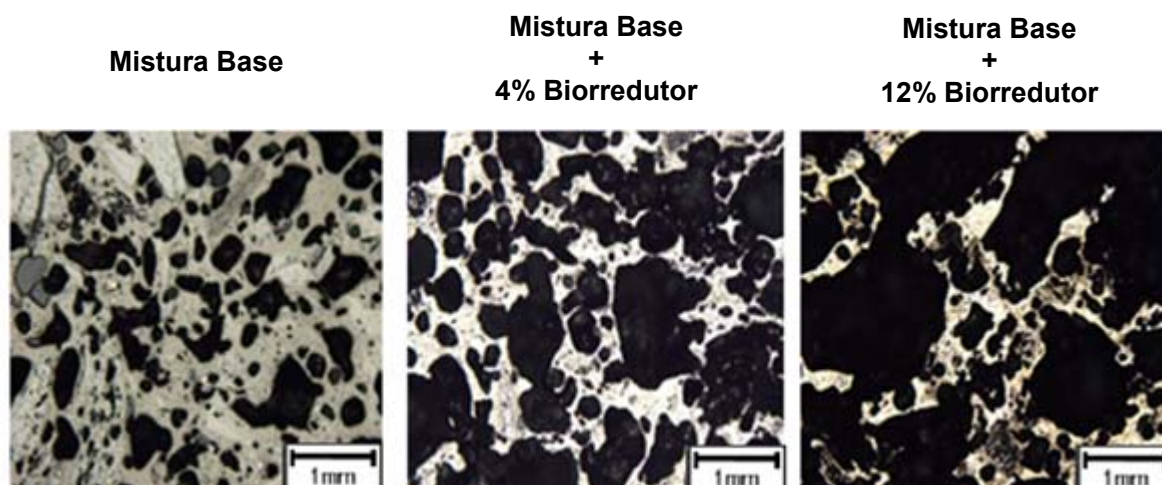


Figura 5. Porosidade do coque para diferentes percentuais de Biorredutor.

Este aumento de porosidade está diretamente associado à elevada porosidade do carvão vegetal que contribui para a elevação da reatividade e conseqüentemente para a diminuição da resistência mecânica após a reação ao CO₂. Após a coqueificação nota-se nitidamente a presença de estruturas celulares preservadas e alto percentual de vazios. A Figura 6 traz a presença do Biorredutor na mistura com carvão mineral e no coque.

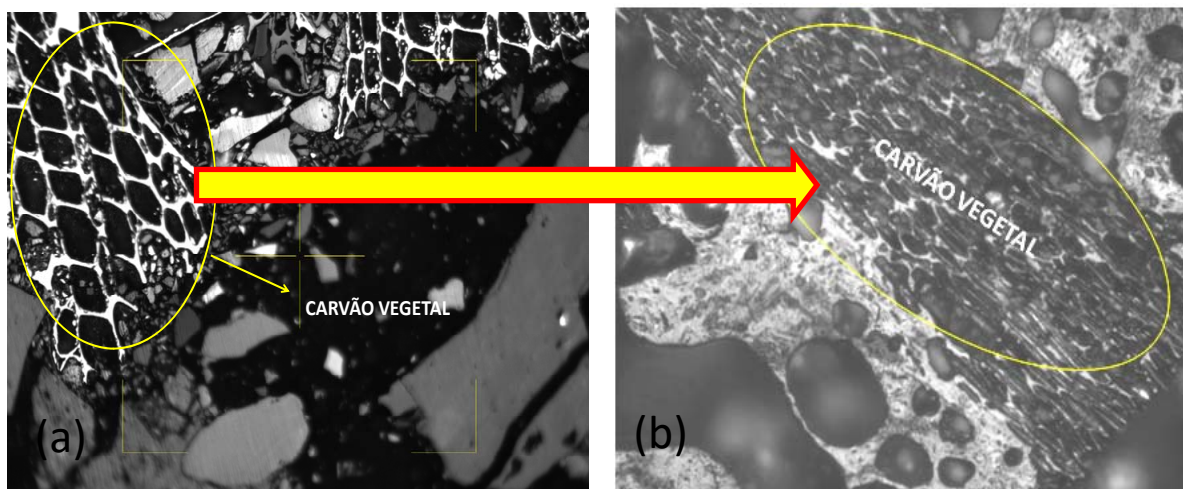


Figura 6. (a) Presença do Biorredutor na mistura, (b) Presença do Biorredutor no coque.

Os resultados obtidos para o teste de DI podem ser vistos na Figura 7.

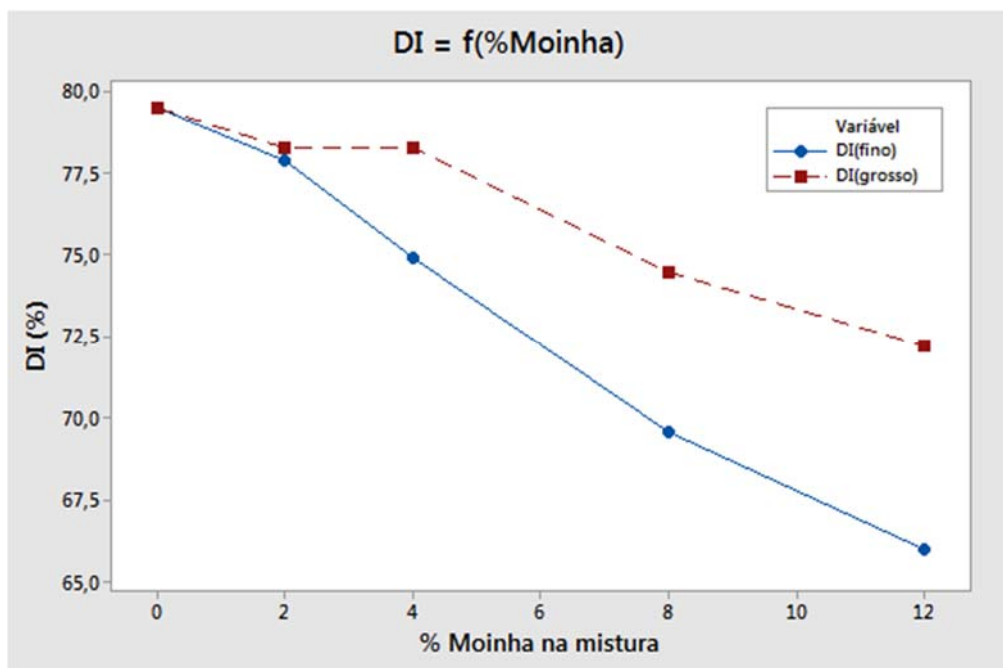


Figura 7. Relação entre percentual de Biorredutor e DI.

Assim como no caso do CSR, observa-se uma queda do DI em todas as situações, sendo que os melhores resultados ocorreram para adições de 2% de Biorredutor. Percebe-se também que os valores obtidos para as situações em que se utilizou moinha de Biorredutor fino foram sempre superiores aos obtidos quando com a adição de Biorredutor grosso, isto ocorre devido ao maior grau de geração de trincas na interface do Biorredutor grosso, material 100% inerte, que não é absorvido de modo eficiente pela matriz plástica.

A Figura 8 a seguir, apresenta a variação do enxofre com a adição de moinha de Biorredutor.

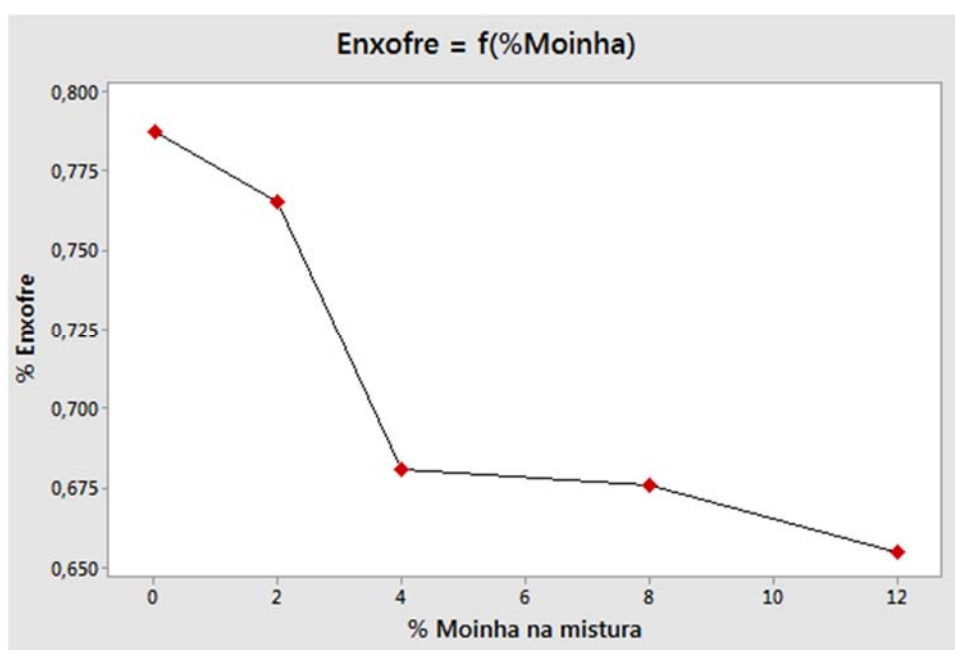


Figura 8. Influência do Biorredutor na redução do enxofre no coque.

A partir dos dados obtidos é possível perceber que em todos os casos houve queda no valor do enxofre, pelo fato da moinha do carvão vegetal apresentar quantidade de enxofre até vinte vezes menor do que o carvão mineral, responsável pela variação significativa do teor de enxofre em todas as situações analisadas.

Essa queda do teor de enxofre abre um gap para utilização de carvões com teores de enxofre mais altos.

4 CONCLUSÃO

Realizados os testes, percebeu-se que a adição de moinha de carvão vegetal, é um ótimo aditivo desde que seja usado em pequenas proporções, pois proporciona redução no custo da mistura de carvões para fabricação de coque metalúrgico, além de contribuir de maneira significativa no aspecto ambiental, aproveitando um subproduto da produção de carvão vegetal.

Outro aspecto importante é que os resultados obtidos pelas misturas com moinha de carvão vegetal grosso, com relação ao CSR, foram sempre melhores do que os para moinha de carvão vegetal fino. Já em relação à resistência mecânica a frio obtivemos os melhores resultados com adição de moinha de carvão vegetal fino.

Com relação ao teor de enxofre, observou-se que em todos os casos houve queda pelo fato de o carvão vegetal apresentar teor de enxofre até vinte vezes menor do que o carvão mineral.

Além dessas conclusões, é importante destacar pelo menos quatro aspectos com relação ao uso do carvão vegetal:

- O Biorredutor reduz o custo das misturas (visto que o preço da moinha de carvão vegetal é muito mais baixo do que os carvões minerais);
- O desgaste do britador na britagem da moinha de carvão vegetal é baixo, pois esse material é muito friável, apresentando-se com 85% da granulometria abaixo de 2,83 mm.
- O carvão vegetal é matéria prima de disponibilidade nacional, ao contrário dos carvões minerais que vem do mercado internacional. Isso reduz os gastos com transporte e tempo de recebimento do mesmo, o que faz com que as empresas não necessitem de grandes estoques desse aditivo, o que vai de encontro com a filosofia “Just in Time”.
- O balanço ambiental é extremamente positivo ao contrário do processo tradicional utilizando carvão mineral, contribuindo assim para o futuro promissor da siderurgia mundial.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, Campus Ouro Branco, pela oportunidade de desenvolver essa pesquisa em suas dependências e à GERDAU - Ouro Branco pela parceria e apoio técnico na análise dos produtos gerados nas pesquisas.

REFERÊNCIAS

- 1 Moura, G. A. Grupo Plantar – 40 Anos no Caminho da Sustentabilidade. Apresentação na 6ª Conferência Latino-Americana sobre Meio Ambiente e Responsabilidade Social. Belo Horizonte. Setembro, 2006.

- 2 Agenor Medrado da Silva; Miguel Angelo Bentes; Swami Botelho Medrado; Pedro Magalhães Sobrinho; João Andrade de Carvalho Júnior. Estudo da utilização da Biomassa em Substituição Parcial ao Carvão Mineral na Fabricação do Coque na Coqueria da CSN. Setembro de 2008.
- 3 J.A. MacPhee; J.F. Gransden; L. Giroux; J.T. Price. Possible CO2 Mitigation Via Addition of Charcoal to Coking Coal Blends. Janeiro de 2009.
- 4 K.W. Ng; J.A. MacPhee; L. Giroux; Ted Todoschuk. Reactivity of Bio-Coke with CO2. Abril de 2011.
- 5 Ka Wing Ng; Louis Giroux; Tony MacPhee. Biofuel Ironmaking Strategy from Biofuel Ironmaking Strategy From a Canadian Perspective: Term Potential and Long-Term Outlook. 2011.