

UTILIZAÇÃO DA CASCA DA SEMENTE DA MORINGA OLEIFERA NA INJEÇÃO EM ALTOS-FORNOS A COQUE*

Alex Milton Albergaria Campos¹
Paulo Santos Assis²
Kátia Monteiro Novack³

Resumo

A Moringa *oleifera* é conhecida como a árvore da vida por suas inúmeras aplicações nas indústrias farmacêutica, cosmética e nutricional. Seu produto mais nobre é o óleo, que pode ser usado não apenas na indústria de saúde e estética mas também para produzir energia, como biodiesel. Para extrair o óleo é necessário descascar a semente, na qual são gerados resíduos sem valor agregado. A casca tem algumas propriedades químicas que são interessantes de usar na geração de energia. O carvão mineral é o material mais usado para injeção em alto-forno, que é um combustível fóssil não renovável e emite uma enorme quantidade de gases do efeito estufa. O uso da casca das sementes de moringa *oleifera* tem efeitos ambientais e econômicos positivos como fontes renováveis de combustível. Em relação à questão ambiental, pode-se dizer que os gases de efeito estufa são emitidos, mas a quantidade é a mesma produzida pelo processo de decomposição natural. Além disso, durante o crescimento, quantidades de dióxido de carbono são consumidas na fotossíntese, o que pode contribuir no balanço ao analisar a emissão desses gases na queima da casca. Para comprovar a economia do uso da casca da moringa, seus custos estão praticamente associados ao transporte e processamento desse material, pois é um rejeito do agronegócio. Este trabalho tem como objetivo caracterizar a casca da semente de moringa *oleifera* e avaliar seu uso como injeção de material pulverizado para o alto forno. Os resultados iniciais mostram que este material tem uma boa taxa de combustão, altos voláteis e conteúdo de hidrogênio. Apesar de o teor de carbono e o poder calorífico serem menores que os do carvão mineral, é possível utilizar 40% da casca na injeção na mistura de carvão, reduzindo as emissões de CO₂ no processo de injeção.

Palavras-chave: Biomassa; siderurgia; Moringa *oleifera*; Injeção de Materiais Pulverizados.

USES OF THE HUSK FROM MORINGA OLEIFERA SEED FOR BLAST FURNACE INJECTION

Abstract

Moringa *oleifera* is known as the tree of life for its numerous applications in the pharmaceutical, cosmetic and nutritional industries. Its most noble product is the oil, which can be used for health and esthetics industry and also to produce energy, as a biodiesel. To extract the oil it is necessary to peel the seed, in which waste without an added value is generated. The husk has some chemistry properties that are interesting to use in the energy generation. However, coal is the most used material for blast furnace injection, which is a non-renewable fossil fuel and emits a huge amount of greenhouse gases. The use of the husk from moringa *oleifera* seeds have a positive environmental and economic effects as renewable sources of fuel. Regarding the environmental issue, it can be said that greenhouse gases are emitted, but the amount is the same as that produced by the process of natural decomposition. In addition, during growth, quantities of carbon dioxide are consumed

* Contribuição técnica ao 48º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas e 6º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 04 de outubro de 2018, São Paulo, SP, Brasil.

in the photosynthesis, which can contribute in the balance when analyzing the emission of these gases in the husk burned. In order to prove the economics of the use of moringa husk, its costs are practically associated with the transportation and processing of this material, as it is an agribusiness waste. This study aims at characterizing the husk from moringa oleifera seed and evaluating its use as a pulverized material injection for the blast furnace. Initial results show that this material has a good combustion rate, high volatiles and hydrogen content. Despite the carbon content and calorific value been lower than coal, it is possible to use 40% of the husk in the injection with the coal mixture, reducing CO₂ emissions in the injection process.

Keywords: Moringa *oleifera*; Blast furnace injection; Ironmaking; Biomass.

- ¹ *Graduado em Engenharia Metalúrgica-UFOP. Aluno de mestrado em Engenharia de Materiais-REDEMAT/UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil..*
- ² *Professor Doutor Titular na REDEMAT e UFOP - Escola de Minas. Pesquisador CNPq. Conselheiro da ABM e EcoEnviroX, Ouro Preto, MG, Brasil.*
- ³ *Professora Doutora na REDEMAT e UFOP – Departamento de Química. Pesquisadora CNPq, Ouro Preto, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A *Moringa oleifera* é uma árvore versátil, que se adapta bem a solos com baixa umidade e climas quentes, com inúmeras aplicações na indústria farmacêutica, cosmética, alimentícia e outras. Seu óleo tem grande potencial não apenas para a produção de cosméticos e medicamentos, mas também para a produção de biodiesel ^[1].

Um uso inexplorado é gerar energia, no caso desta pesquisa, para a produção de ferro gusa em siderúrgicas. Ao extrair o óleo, alguns resíduos são gerados, tais como a casca da semente e os resíduos após a extração mecânica ou por solvente das sementes descascadas. Esses resíduos têm grande potencial para gerar energia para processos como a injeção de materiais pulverizados em alto-forno ^[2].

O processo de injeção de materiais pulverizados de alto-forno é uma técnica que se consolidou nas siderúrgicas em meados do século passado e hoje é conhecida mundialmente, sendo aplicada em mais de 400 altos-fornos em todo o mundo. Neste processo, o combustível é injetado no alto-forno pelas ventaneiras, localizadas na parte inferior do reator, fornecendo energia e gases redutores para o processo de obtenção de ferro gusa, que é a matéria-prima básica para a produção de aço. A principal vantagem deste processo é reduzir o combustível sólido carregado no topo do forno como coque e carvão vegetal ^[3]. O combustível mais comumente usado no processo de injeção é o carvão mineral, que é um combustível fóssil não renovável. Além disso, é responsável por quase todo o CO₂ emitido na atmosfera pelas siderúrgicas e não é encontrado em todos os países, como o Brasil que não possui carvão mineral para fins metalúrgicos ^[4].

Este trabalho tem como objetivo caracterizar a casca da semente da *moringa oleifera*, que é um resíduo do processo de extração de óleo, para ser utilizada como combustível juntamente com o carvão mineral nos altos-fornos. Serão apresentadas análises químicas e térmicas da casca da semente da *moringa*, as quais serão comparadas com as propriedades dos carvões minerais comumente utilizados no processo de injeção. Finalmente, uma pequena análise das emissões de CO₂ será mostrada. Será possível perceber que é possível substituir 40% do carvão pela casca de sementes da *moringa* no processo, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram a casca da semente da *Moringa oleifera* e o carvão mineral comumente utilizado na injeção em altos-fornos. A casca foi secada previamente a 110°C por 1 hora e meia, em seguida foi triturada e peneirada sendo recolhido e usado a fração passante em 200#. O carvão foi recebido pronto para as análises

Foi realizada a análise imediata para determinar a quantidade de cinzas, materiais voláteis, umidade e por diferença, o carbono fixo. Esta análise foi realizada no laboratório de química analítica do departamento de química da Universidade Federal de Ouro Preto de acordo com ASTM D3172 a D3175 para carvão e ASTM D1102, E870 a E872 para biomassa.

A análise química elementar foi feita no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) usando um equipamento Perkin Elmer que forneceu o conteúdo de

carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e, por diferença, o conteúdo de oxigênio. O Poder calorífico também foi realizado no INPE utilizando um calorímetro adiabático IKA C200, neste teste foi possível obter poder calorífico superior.

O teste de combustão para determinação da taxa de combustão foi realizado no laboratório de simulação de injeção de materiais pulverizados da Universidade Federal de Ouro Preto. O teste foi feito com os materiais puros e também com mistura entre os dois materiais.



Figura 1- Simulador de injeção em altos-fornos e ORSAT para a análise dos gases.

Como pode ser visto na Figura 1, o teste começa no simulador de injeção onde é possível simular as mesmas condições da zona de combustão do alto-forno, então os gases são coletados e analisados no equipamento ORSAT, onde por reação química é possível determinar a quantidade de CO, CO₂ e O₂. Para o cálculo da taxa de combustão foi utilizada a seguinte equação [5]:

$$CR = \frac{K. (\%CO + \%CO_2). n}{\left[\frac{ma. \%Cf}{1200000} - \frac{ng. \%CH_4}{100} \right]} \quad \text{onde:}$$

CR é a taxa de combustão; K é uma constante relativa aos parâmetros e condições da simulação; ma é a massa de carbono injetada na amostra; ng é o número de moles de gás após o teste; % Cf é a porcentagem de carbono fixo da amostra.

As análises químicas imediata e elementar, assim como o poder calorífico foram realizadas em triplicata. O teste de combustão foi realizado em duplicata, simulando taxas de injeção de 80, 100 e 150 kg de material injetado por tonelada de ferro gusa produzido pelo alto-forno.

Para o cálculo das emissões de CO₂, foi utilizada a seguinte equação [6]:

$$E_{CO_2} = (\text{Conteúdo de Carbono (kg)} \times 44)/12.$$

2.2 Resultados e Discussão

Após as análises, os resultados foram anotados e mostrados abaixo.

A Tabela 1 mostra os resultados da análise química imediata, elementar e poder calorífico para a casca de sementes da moringa *oleifera* e para o carvão mineral.

Tabela 1 – Comparação das propriedades da casca da moringa com o carvão mineral.

Propriedades	Casca da Moringa	Carvão Mineral
%Cinzas	2,36	13,45
%Material Volátil	76,60	24,13
% Carbono Fixo	22,00	62,40
%Carbono	48,84	80,24
%Hidrogênio	6,27	3,8
%Nitrogênio	0,93	1,54
%Oxigênio	43,96	14,42
%Enxofre	0,83	0,88
Poder Calorífico (J/g)	20337,00	31396,00

É possível notar que a casca da semente da moringa possui menor teor de cinzas, carbono, carbono fixo, nitrogênio e enxofre. Em contraste, o conteúdo de voláteis, hidrogênio e oxigênio são maiores. O poder calorífico do carvão mineral também é maior que o da casca da semente da moringa.

Um fato importante é a grande quantidade de material volátil na casca, mais que o dobro do conteúdo de carbono. Materiais com alto teor de voláteis apresentam maior combustibilidade [7]. Este tipo de material é desejado para altas taxas de injeção, devido o curto tempo de permanência deste material na zona de combustão do alto-forno. No entanto, um alto teor de voláteis aumenta o volume de gases gerados, aumentando a instabilidade de carga e degradação do coque. Outro problema é que essa grande quantidade de gases aumenta a pressão na região das ventaneiras. Além disso, alto teor de voláteis está relacionado a um maior teor de hidrogênio em sua composição, o que contribui para a redução do minério de ferro. A presença de maiores quantidades de hidrogênio pode ser benéfica para o processo, uma vez que pode atuar como um gerador de calor. O hidrogênio reduz o minério de ferro de maneira menos endotérmica que o carbono, ou seja, requer menos energia para ocorrer a reação de redução. Com isso, é possível operar o alto-forno com uma temperatura de chama menor do que quando se utilizam materiais com menor teor de hidrogênio. Em contraste, o hidrogênio causa uma degradação prematura do coque no alto-forno, danificando a permeabilidade através da formação de finos dentro do reator.

Outro fato importante é o teor de cinzas e enxofre. A quantidade de cinza deve ser inferior a 10% para não aumentar a quantidade de escória e conseqüente perda de produtividade. O enxofre contribui da mesma forma e também contribui para a mudança de basicidade da escória. Além disso, altos teores de enxofre requerem maior gasto com processos subseqüentes de dessulfuração, uma vez que o enxofre é extremamente prejudicial às propriedades mecânicas do aço.

A Figura 2 mostra os resultados obtidos no teste de simulação de injeção para as taxas de injeção de 80.100 e 150 kg de material por tonelada de ferro gusa produzido.

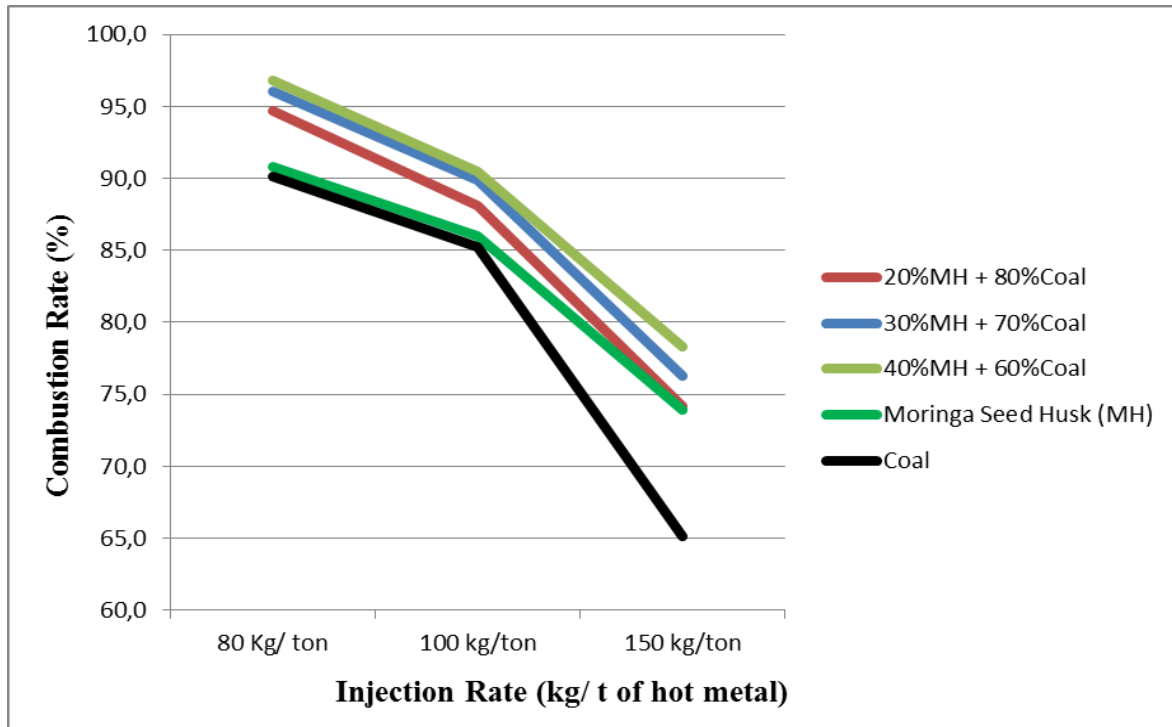


Figura 2 Taxa de combustão para diferentes taxas de injeção da casca da semente da moringa e misturas de carvão mineral.

Como a casca da moringa apresenta melhor combustibilidade, devido às suas propriedades, o aumento da quantidade no carvão influencia positivamente a combustão na *raceway*. Este é um fato importante para considerar o uso da casca de sementes da moringa *oleífera* como aditivo à mistura de carvões utilizada na injeção, aumentando a taxa de combustão do material a ser injetado.

Da mesma forma, pode-se dizer que o uso da casca pura na injeção não é interessante como o uso da mistura. É claro que a presença do carvão mineral na mistura ajuda positivamente a taxa de combustão. Isto pode ser explicado pela relação O / C na zona de combustão, a casca contém uma quantidade considerável de oxigênio, mesmo que na sua maioria não esteja na forma de O₂, e o carvão tem alto teor de carbono, o que pode favorecer essa relação e, conseqüentemente, a combustibilidade dessa mistura ^[8].

Ambientalmente, o uso parcial da casca da semente da moringa pode contribuir significativamente para a redução das emissões de CO₂ no alto-forno, que representa 70% de todas as emissões deste gás em uma siderúrgica ^[9].

Considerando que todo CO₂ liberado na queima da casca é consumido durante o crescimento da moringa *oleífera* pelo processo de fotossíntese e que uma empresa que produz 10 mil toneladas de ferro gusa por dia injeta 150 kg de carvão por tonelada de metal quente. No final do dia, pode-se dizer que 4400 toneladas de CO₂ são emitidas no processo de injeção de materiais pulverizados. Substituindo 40% desse carvão por casca de sementes de moringa, a emissão diária de CO₂ seria de 1320 toneladas. Este resultado representa uma redução de 30% nas emissões de CO₂ no processo de injeção de alto-forno.

3 CONCLUSÃO

As principais conclusões obtidas neste estudo foram:

- A casca da semente da moringa *oleifera* tem um teor de carbono, nitrogênio, enxofre, cinzas e carbono fixo mais baixo do que os carvões minerais comumente usados no processo de injeção do alto-forno;
- O poder calorífico da casca da semente da moringa *oleifera* é menor que o carvão mineral;
- O conteúdo de materiais voláteis, hidrogênio e oxigênio são maiores que o carvão mineral;
- A taxa de combustão da casca da semente da moringa é melhor que a do carvão, mas misturas contendo 40% de casca e 60% de carvão;
- A casca da semente da moringa pode substituir parcialmente o carvão na injeção de materiais pulverizados no alto-forno, reduzindo as emissões de CO₂ em 30% neste processo.

REFERENCIAS

1. Oliveira DS. Obtenção do Biodiesel através da transesterificação do óleo de Moringa oleifera lam: HOLOS, ano 28 v.1, p.49-61, 2012.
2. Vilaseca M, Grimau V, Bouzan C. Valorization of waste obtained from oil extraction in moringa oleifera seeds: Coagulation of reactive dyes in textile effluents: Materials, vol. 7, p. 6569-6584, 2014.
3. Suopajarvi H, Pongrácz E, Fabritius T. The potential of using biomass-based reducing agents in blast furnace: A review of Thermochemical conversion Technologies and assessments related to sustainability: Renewable and Sustainable Energy Reviews 25, 511-528p.2013.
4. Assis CFC, Tenório JAS, Assis PS, Nath NK. Experimental simulation and analysis of agricultural waste injection as an alternative fuel for blast furnace: ACS Energy&Fuels, v.28, p. 7268-7273.2014.
5. Assis PS, Martins W, Batista C. Avanços na injeção de carvões pulverizados para sua aplicação em altos-fornos. REM: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, vol.56, no.4, p. 281-285, out. dez. 2003.
6. Rodrigues PMS, Silva PAF. Quantificação das emissões de dióxido de carbono (CO₂) por veículos automotores na cidade de Boa Vista/RR-2005-2015. 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Integrado e Sustentável. Maceió-AL. 05-07/10/2016.
7. Barbieri C, Ósorio E, Vilela A. Combustibility and reactivity of coal blends and charcoal fines aiming use in ironmaking: Materials Research, v.19, n.3, p. 594-601, 2016.
8. Suopajarvi H, Kemppainen A, Haapakanga J, Fabritius T. Extensive review of the opportunities to use biomass-based fuels in iron and steelmaking processes: Journal of Cleaner Production, v.148, p.709-734.2017.

9. Orth, A., Anastasijevic, N., Eichberger, H., Low CO2 emission technologies for iron and steelmaking as well as titania slag production, Minerals Engineering, 2007, volume 20, issued 9, pp. 854-861.