

ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DO USO DE BIOMASSAS NA SIDERURGIA*

*Alex Milton Albergaria Campos¹
Paulo Santos Assis²
Kátia Monteiro Novack³*

Resumo

Uma das fontes de biomassas são os rejeitos do agronegócio que são produzidos em grande quantidade e, como já foi provado por alguns autores, pode ser utilizado nos processos siderúrgicos como Coqueria, sinterização e alto-forno. É de grande interesse da siderurgia a redução dos gases do efeito estufa, uma vez que as leis ambientais tem se tornado cada vez mais rígida. Para tanto algumas ideias novas na área de energias renováveis, e o uso de biomassas substituindo parcialmente os combustíveis fósseis, tem sido discutidas recentemente. O Brasil é um grande produtor de biomassas. No último ano foi produzido em torno de 240 milhões de toneladas de grãos, gerando quantidades consideráveis em rejeitos de biomassa. Além disso, o Brasil tem uma importante participação na indústria siderúrgica, sendo que esses dois setores são os maiores emissores de gases do efeito estufa. Este trabalho tem o objetivo de mostrar soluções para esses setores, com a possível diminuição de emissões de gases poluentes na atmosfera e utilização de rejeitos gerados no agronegócio. Neste estudo foi observado que o uso de rejeitos da agricultura, substituindo parte do combustível fóssil não renovável, na coqueria, sinterização e alto-forno é interessante não só pelos aspectos ambientais, mas também pela possibilidade de redução dos custos com carvão mineral.

Palavras-chave: Biomassa; siderurgia; Biocombustíveis; Mecanismo de desenvolvimento limpo.

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF USING BIOMASS IN STEELMAKING PROCESSES

Abstract

Biomass is generated in the agro industry and it was proved by some authors that the generation of residues is high and relevant to be used in the sintering, cokemaking and blast furnace. In these sectors there are interests to reduce the Green House Gas. To reduce this contribution, appear new ideas on renewable source of energy, and the use of biomass replacing a part of the fossil fuels used in these processes is one of them. Brazil has a huge production of biomass. Last year it was produced around 240 Million ton of grains, making it a major agricultural producers, while rich in natural resources. Brazil has an important role in the steel industry, these two activities now represent the largest contributors to greenhouse gases responsible for the greenhouse effect, the purpose of this paper is to show a solution for these two processes, thus mitigating the emission of polluting gases into the atmosphere and use part of wastes generated in the agro business or even other biomasses. In this study, it was noted that the use of agricultural waste replacing part of the fossil fuels generally used in the sintering, cokemaking and blast furnace is very interesting considering not only environmental aspects, but so far cost reduction.

Keywords: Biomass; Iron making; Biofuels; Steelmaking; Clean processes.

* 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.

- 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 biomassa pode ser definida como a massa total de substâncias orgânicas que ocorrem em um habitat. As formas de biomassa em nosso planeta são muitas e variadas. De acordo com sua origem, as biomassas são divididas em quatro categorias: culturas para produção de energia, resíduos pós-colheita, subprodutos orgânicos e resíduos orgânicos. Para utilização da biomassa nos processos siderúrgicos, as categorias mais interessantes são as colheitas para energia e os resíduos pós-colheita, que são os tipos de biomassa considerados neste trabalho. A quantidade de resíduos após a colheita chega a 30% da produção em peso, e em alguns casos, por exemplo, o milho, a quantidade de resíduos pode ser 30% maior que a produção. A Tabela 1 mostra a produção das lavouras em 2016, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, e o cálculo das possíveis quantidades de resíduos pós-colheita gerados.

Tabela 1. Produção mundial de biomassa em 2016^[1].

Biomassas	Produção (10 ³ t)	Resíduos Gerados (10 ³ t)
Cana de Açúcar	1.890.661,75	567.198,52
Soja	334.894,08	468.851,72
Milho	1.060.107,47	1.378.139,71
Café	9.221,53	2.766,46
Arroz	740.961,44	518.673,01

O uso de biomassa é o método mais antigo para fornecimento de energia para a humanidade. No entanto, o uso da biomassa como fonte renovável e universal de energia deve passar por um desenvolvimento de tecnologia e reputação. Além dos efeitos ambientais positivos do uso de biomassas como fonte de combustível, há vários aspectos econômicos e sociais a serem considerados. Em relação à questão ambiental, pode-se dizer que os gases de efeito estufa são emitidos durante a queima destes materiais, mas a quantidade é a mesma produzida pelo processo de decomposição natural. Além disso, no caso da biomassa vegetal, durante seu crescimento, dióxido de carbono é consumido durante a fotossíntese, o que pode gerar um balanço positivo ao analisar a emissão desses gases. Para comprovar a economia do uso da biomassa, seus custos estão praticamente associados ao transporte e processamento desses materiais, uma vez que são, muitas vezes, resíduos do agronegócio^[2]. Além disso, gera emprego e desenvolvimento nas áreas onde são obtidas, uma vez que estão localizados fora dos grandes centros.

As biomassas, quando comparadas aos combustíveis fósseis utilizados na indústria siderúrgica (coque e carvão), possuem menores teores de carbono, enxofre, cinzas, poder calorífico e um maior conteúdo de voláteis, hidrogênio, oxigênio. Se analisarmos somente estas características, a biomassa pode não ser totalmente viável para ser usada em processos metalúrgicos, mas é possível realizar tratamentos, como a torrefação, onde as propriedades da biomassa podem ser melhoradas. Este tratamento consiste em aquecer o material em uma faixa de temperatura entre 200° e 300° C por cerca de 40 minutos, eliminando a umidade, o excesso de voláteis e aumentando o carbono fixo. Outro tratamento comum é a carbonização, onde temperaturas mais altas são usadas aumentando ainda mais o carbono fixo.

* Contribuição técnica ao 48° Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas e 6° 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.

Além das propriedades químicas, as biomassas diferem em suas propriedades físicas e são caracterizadas por menor densidade e maior porosidade quando comparadas aos combustíveis fósseis. As restrições econômicas são analisadas em dois níveis. Primeiro, é necessário saber se a biomassa a ser explorada energeticamente não tem outros usos (industrial ou alimentício). Segundo, se todos os custos da biomassa explorada são compatíveis com os benefícios energéticos e comparáveis com outros combustíveis. Finalmente, as restrições tecnológicas são devidas à existência ou não de processos e operações confiáveis para converter a biomassa em combustíveis.

O aço é o metal mais usado no mundo e sua produção está associada ao desenvolvimento econômico de um país. No entanto, sabe-se que a produção de aço gera muitos resíduos sólidos e líquidos, além de emitir uma grande quantidade de gases. Mas seus processos podem estar na linha de frente para reciclagem e reutilização, não apenas de seus resíduos, mas também dos resíduos de outros processos. A produção de aço responde por cerca de 4-7% de todas as emissões de dióxido de carbono no mundo e a maioria dessas emissões pode ser associada ao uso de combustíveis fósseis, principalmente através do uso de coque e carvão [3]. Esses materiais são utilizados em larga escala na rota alto-forno- LD para produção de aço, sendo responsáveis pela produção de 72% do aço carbono no mundo. Como pode ser visto na Figura 1, o alto-forno é responsável por 69% das emissões de gases de efeito estufa em uma usina siderúrgica que utiliza combustíveis fósseis na rota de alto-forno-LD. Além disso, um alto-forno a coque emite cerca de 1900 kg de dióxido de carbono por tonelada de gusa produzido. Uma maneira de evitar essa rota seria usar um forno elétrico a arco que operaria com sucata de aço, mas essa rota é limitada pela quantidade de sucata disponível no mundo. Uma solução de curto e médio prazo para essa questão pode ser a substituição total ou parcial de combustíveis fósseis por outras fontes, como a biomassa. Como exemplo, podemos citar o alto-forno a carvão vegetal-forno que emite cerca de 800 kg de dióxido de carbono por tonelada de gusa, representando uma diminuição de 42% nas emissões desse gás [4].

Emissões de CO₂ na siderurgia (Alto-forno - LD)

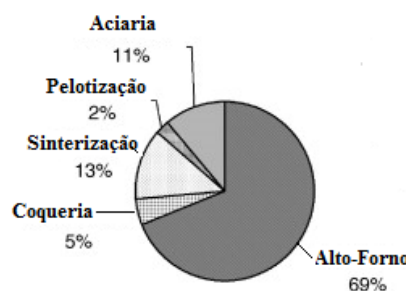


Figura 1. Emissões de CO₂ na siderurgia [5].

A introdução do conceito de energia sustentável aponta para o uso crescente de fontes limpas e renováveis de energia (biomassa, eólica e solar). Hoje existe um consenso internacional para reduzir as emissões de gases poluentes através da redução de combustíveis fósseis. A indústria siderúrgica, portanto, precisa redobrar seus esforços para ajustar seus processos operacionais ao compromisso com os protocolos e conferências dos últimos anos. A combinação de tecnologias energéticas mais eficientes, como o uso de biomassa, cogeração de energia, otimização do ciclo de vida do material e, eventualmente, o sequestro de carbono

pode resultar em reduções significativas no consumo de energia e na quantidade de emissões de dióxido de carbono. Cabe ressaltar que o uso de desse potencial pode apresentar custos elevados, pois esse cenário ainda está em desenvolvimento no mundo e ainda requer pesquisa e investimento.

Nos últimos anos, inúmeras pesquisas e trabalhos têm sido realizados na área de caracterização e utilização de biomassa na indústria siderúrgica. Muitos deles apontam que a biomassa pode ser utilizada em diversos processos de obtenção de aços, como alto-forno e injeção, coqueria, sinterização e outros processos. Diante desses fatos, este trabalho tem por objetivo discutir o uso da biomassa no processo siderúrgico em substituição aos combustíveis fósseis, considerados a principal fonte de emissão de gases de efeito estufa. O uso de biomassa no alto-forno será mostrado apresentando alguns testes de injeção de biomassa feitos na Universidade Federal de Ouro Preto. O possível uso da biomassa em outros processos também será discutido. Por fim, serão dadas algumas sugestões para futuros trabalhos sobre o uso de biomassa nos processos siderúrgicos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Uso de Biomassa na Coqueria

A coqueria, sem dúvida, é o maior consumidor de carvão mineral na indústria siderúrgica, que é um combustível fóssil não renovável. O coque produzido com a adição de biomassas pode ser chamado de bio-coque e deve ter as seguintes funções: combustível, fornecendo calor para reações químicas endotérmicas e para fusão de escória e metal; atuar como um agente redutor químico, fornecendo gases para reduzir os óxidos de ferro; serve como meio de suporte para os materiais de carga que suportam a carga metálica, proporcionando a matriz permeável que permite que a escória líquida e o gusa descendam e permite a ascensão dos gases. Diversos trabalhos utilizando a adição de biomassa em misturas de carvão, principalmente moinha de carvão vegetal e serragem, mostram que é possível adicionar até 10% de biomassa nas misturas de carvão para fabricação de coque, obtendo bons resultados [6]. Na Figura 2 são mostrados trabalhos realizados onde foram adicionados até 10% de biomassa e os resultados de CSR e CRI foram obtidos [6,7,8,9].

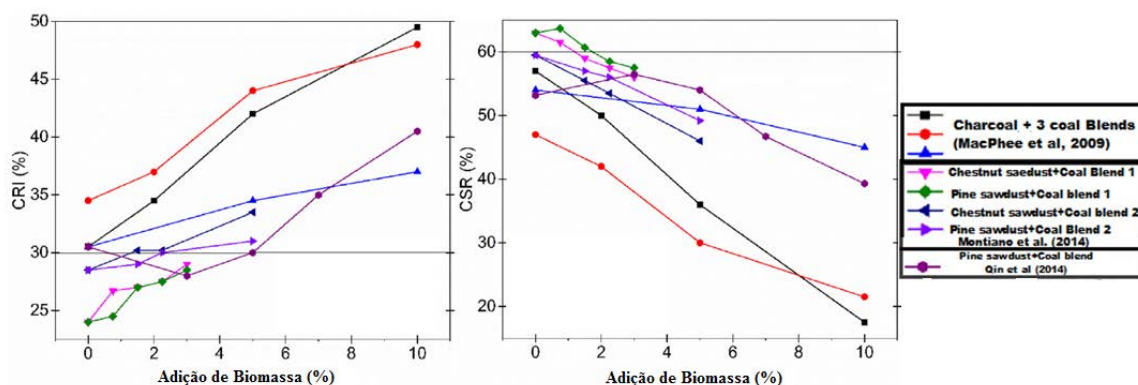


Figura 2. Efeito da adição de biomassa no CRI e no CRS [6].

Todos os testes foram realizados em escala piloto e avaliaram o desempenho CSR e CRI. Foi visto que à medida que a quantidade de biomassa na mistura de carvão aumenta, o CRI também aumenta, mas a CSR diminui. Uma possível explicação

para isso é que a adição de biomassa à mistura de carvão diminui a resistência do coque e aumenta a reatividade. Como se trata de trabalhos diferentes, o material utilizado não é exatamente o mesmo, mas todas as adições podem ser consideradas biomassa. Então pode se ter uma ideia do comportamento das biomassas em geral.

Em outro trabalho foi feito adições até 12% de finos de carvão de diferentes tamanhos de grãos mostrando resultados semelhantes aos resultados mostrados anteriormente ^[10]. A figura 3 ilustra os resultados. Observou-se que quando o maior tamanho de partícula foi utilizado, a diminuição do CSR foi menor que os coques produzidos com partículas finas de biomassa. Esse fenômeno foi associado ao fato de as partículas maiores possuírem uma área superficial menor, de modo que terão menor interação com o CO₂. Concluiu-se que a adição de finos de carvão em baixas quantidades (cerca de 2%) seria interessante.

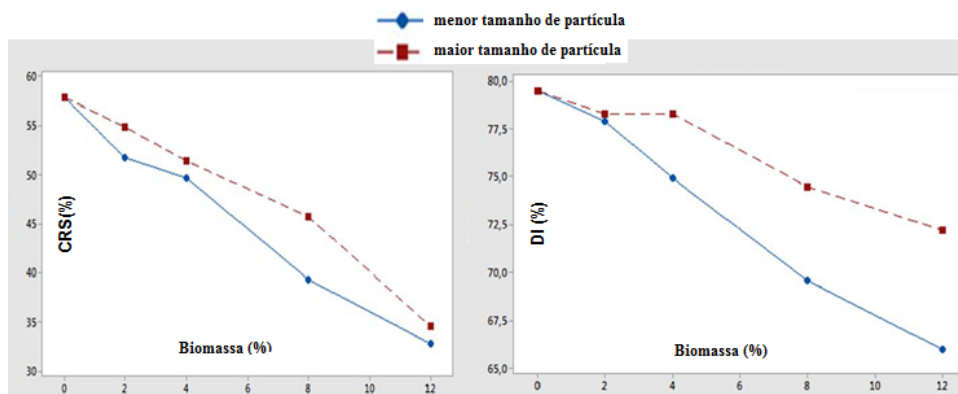


Figura 3. Efeito da adição de carvão mineral de diferentes tamanhos de partículas em misturas de carvões para coque ^[10].

Lembrando que a redução de alguma porcentagem de carvão mineral utilizado no processo pode ter um ganho no balanço de emissões de gases de efeito estufa e alguma diminuição nos custos, já que um combustível fóssil não renovável de maior valor pode ser substituído por biomassa com menor valor relativo.

2.2 Uso de Biomassa no Alto-Forno

O uso de biomassa no alto-forno não é novo, há alguns anos o carvão vegetal tem sido usado no lugar do coque. Os altos-fornos a carvão vegetal são caracterizados por serem menores com produções em torno de 1200 toneladas de gusa por dia. A comparação entre as emissões de CO₂ dos altos-fornos a coque e a carvão vegetal é mostrada na Figura 4, que é a grande vantagem desta substituição, e a limitação é a disponibilidade de terra para o cultivo de árvores a serem transformadas em carvão vegetal, de acordo com a localização da usina.

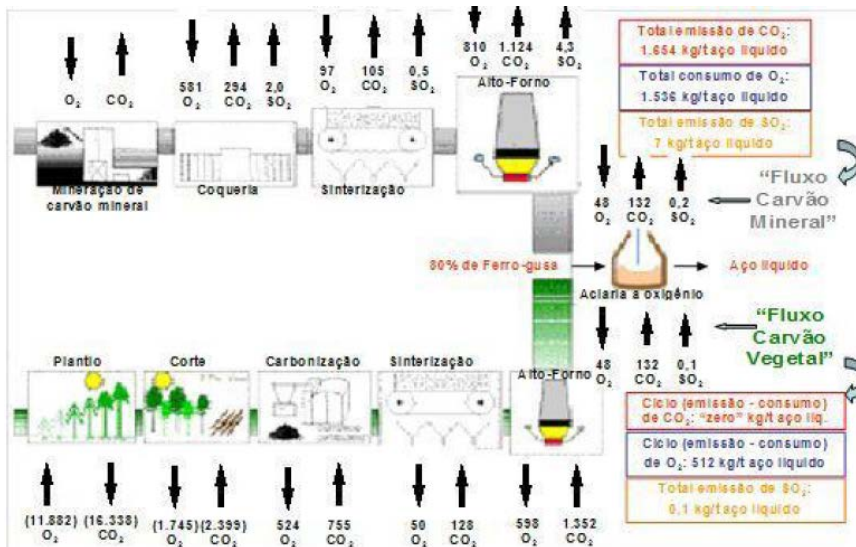


Figura 4. Comparação das emissões de siderúrgicas a coque e a carvão vegetal [2].

Outra forma pouco explorada, e ainda requer mais estudos para esta aplicação, é o uso de biomassa na forma de briquetes ou pelotas. Esta técnica envolve a homogeneização, aglomeração e aumento da densidade de carga do material. Neste caso, é possível utilizar resíduos de processos agrícolas após passar por um pré-processo de secagem, e mesmo torrefação ou carbonização, para que possam ser prensados em briquetes ou pelotas de tamanhos pré-definidos para garantir a permeabilidade do alto-forno. Outra característica a ser considerada é a resistência mecânica, pois estes materiais serão carregados no topo do alto-forno, e devem resistir à queda e à pressão exercida pela carga para não gerar finos dentro do reator. O uso de briquetes é interessante, pois a biomassa apresenta características favoráveis à compactação e queima. Essas características proporcionarão uma compactação do material e, conseqüentemente, esse material terá uma boa resistência à compressão e condições favoráveis para a queima.

Alguns autores utilizaram resíduos de café, principalmente casca, e carvão para fazer briquetes [11]. Em seu trabalho, ele comparou a resistência à compressão de briquetes carbonizados, torreficados e *in natura* utilizando duas taxas de aquecimento diferentes (1,5 e 3,0 °C / min). Como resultado obtiveram-se briquetes com densidades de energia e resistência à compressão apresentados na Figura 5. É possível notar que os briquetes apresentam uma boa resistência à compressão. Entretanto, o briquete carbonizado apresentou o pior desempenho neste teste, mas apresenta a melhor densidade de energia, devido ao processo de carbonização que elimina materiais voláteis, entre outros, aumentando o carbono fixo.

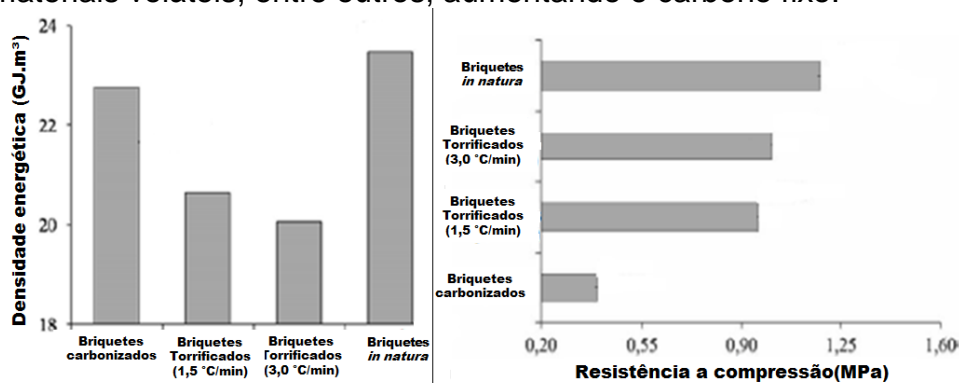


Figura 5. Comparação da densidade energética e resistência à compressão de briquetes feitos com resíduos da colheita do café [11].

Outros autores produziram briquetes utilizando misturas de carvão, capim-elefante e capim-lanço ^[12]. Em seu trabalho, ele analisou o tempo de ignição dos briquetes e a taxa de queima. É possível ver na figura 6 a taxa de queima e o tempo de ignição do carvão mineral puro e das duas biomassas, bem como as misturas de carvão mineral e biomassa contendo 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de biomassa na a mistura. O tempo de ignição diminui à medida que a quantidade de biomassa aumenta. A taxa de queima aumenta com o aumento da quantidade de biomassa, principalmente acima de 50% de biomassa. Tais fatos provavelmente ocorrem porque a biomassa contém maior conteúdo de voláteis do que o carvão, além da maior porosidade.

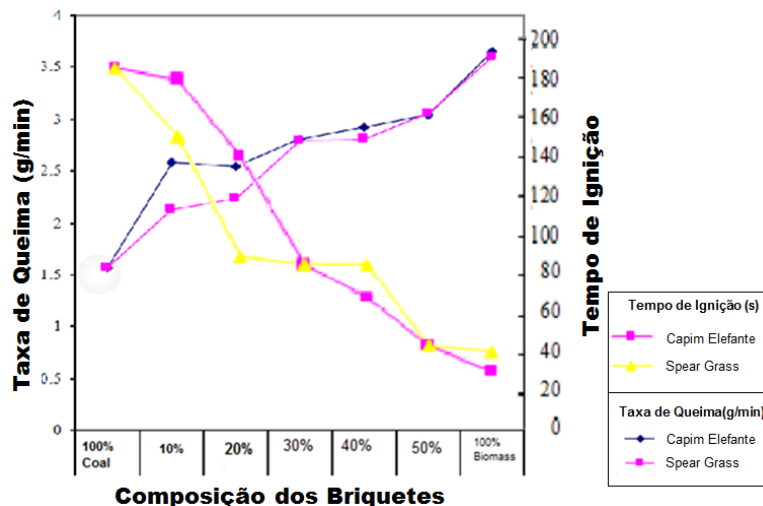


Figura 6. Tempo de ignição e taxa de queima de briquetes feitos com biomassas ^[12].

A grande oportunidade de utilizar a biomassa no alto-forno pode ser pelas ventaneiras, através da injeção de materiais pulverizados. Nesta técnica é possível adequar a quantidade injetada de acordo com a disponibilidade de biomassa para este fim. Para ser injetada, a biomassa deve apresentar algumas características como: baixo teor de cinzas, alto teor de carbono, granulometria adequada e bom poder calorífico. Algumas biomassas apresentam condições favoráveis para injeção, mas tratamentos como torrefação e carbonização podem ser realizados previamente para melhorar as propriedades destes materiais ^[13]. Um teste muito interessante para avaliar as condições de injeção desses materiais é a simulação física de injeção de materiais pulverizados. Muitos testes foram realizados, principalmente a partir de resíduos do agronegócio, na Universidade Federal de Ouro Preto, no laboratório de simulação de injeção de materiais pulverizados onde é possível simular as condições da zona de combustão do alto-forno. A Figura 7 ilustra alguns resultados obtidos em simulações feitas no laboratório da Universidade Federal de Ouro Preto para alguns rejeitos do agronegócio.

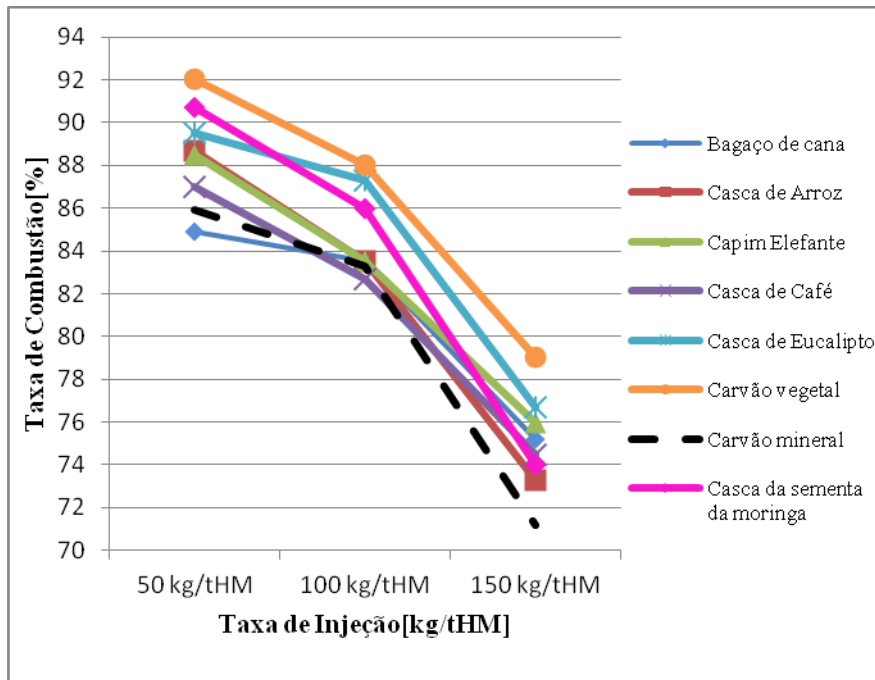


Figura 7. Resultados de algumas simulações de injeção feitas na UFOP.

Nestes testes, o gás da combustão é coletado e analisado, e então a taxa de combustão é calculada. É possível notar que algumas biomassas apresentam uma boa taxa de combustão, melhor que o carvão, o que pode ser muito importante para sua aplicação no alto-forno. Em estudos recentes, resíduos da extração de óleo de sementes de moringa oleífera foram testados e algumas características desses materiais são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características dos resíduos da extração de óleo da moringa oleífera.

	Rejeito da semente da moringa após extração do óleo	Casca da semente da moringa oleífera
% cinzas	2	2,3
% Voláteis	76	76
% Carbono	42,66	43,34
% Hidrogênio	6,58	6,48
Poder Calorífico (J/g)	18922	20337

Essas características são as primeiras análises que devem ser realizadas para selecionar materiais para injeção em altos-fornos. Estes resultados mostram que é possível utilizar os resíduos da moringa oleífera, mas sugere-se que esses materiais sejam submetidos a um tratamento de torrefação antes de sua utilização.

2.3 Uso de Biomassa na Sinterização

As biomassas também podem ser usadas em outros processos, como sinterização e forno elétrico a arco. Na sinterização, as misturas podem ser adicionadas substituindo parte do coque *breeze* usado, onde teria a mesma função deste combustível fóssil. A Figura 8 mostra um gráfico onde realizaram testes em escala piloto comparando a velocidade de sinterização e a produtividade, substituindo parte

do coque *breeze* pelo carvão vegetal [6, 14,15]. Percebe-se que a velocidade aumenta devido ao potencial de queima de carvão vegetal, mas há uma diminuição da produtividade com o aumento da substituição de coque *breeze* por carvão vegetal, o que pode estar associado ao menor rendimento dos produtos sinterizados [14,15].

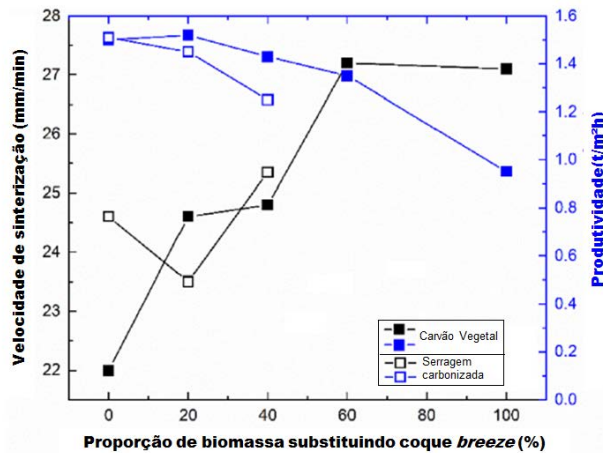


Figura 8. Efeito da substituição do coque *breeze* por biomassa na sinterização [6].

O carvão vegetal apresentou maior produtividade, assim como maior velocidade, em relação a serragem carbonizada. De qualquer forma, pode-se dizer que aproximadamente 40 % do coque *breeze* pode ser substituído por carvão vegetal e 20% por serragem carbonizada sem que haja perdas na qualidade do sinter produzido.

2.4 Aspectos Ambientais

Para a produção de 1 tonelada de aço bruto são emitidos cerca de 2450 kg de CO₂ onde, como foi visto na Figura 1, 70% desta quantidade é emitida pelo alto-forno. Considera-se que as emissões de CO₂ na queima das biomassas seja a mesma quantidade daquela absorvida durante a fotossíntese, ou seja, o balanço de emissões de CO₂ seria nulo para a biomassa. A quantidade de CO₂ emitida no alto-forno é cerca de 1750 kg por tonelada de aço bruto produzido, ao se considerar a melhor das hipóteses onde se substitui 2% e 40% do carvão mineral por biomassa na coqueria e na injeção de material pulverizado respectivamente e cerca de 30% do coque por briquetes de biomassa ou até mesmo carvão vegetal, as emissões no reator passariam a ser 660 kg de CO₂ por tonelada de aço bruto produzido.

O cálculo das emissões de CO₂ pode ser feito de acordo com a equação (1) [16]:

$$E_{CO_2} = QCx44/12 \quad (1)$$

onde QC é a quantidade de carbono no combustível em kg. Sendo assim, nota-se que o uso parcial da biomassa no alto-forno pode contribuir para a redução de cerca de 40% das emissões de CO₂. Obviamente estudos maiores devem ser feitos para a utilização de biomassa em conjunto no alto-forno assim como toda análise de viabilidade técnica e econômica para esta utilização.

2.5 Aspectos Econômicos

O uso de biomassa na siderurgia pode trazer, não só ganhos ambientais, também ganhos econômicos no que diz respeito aos custos de material redutor para o processo. Para o Brasil, o uso de biomassa na siderurgia pode ser uma grande

oportunidade uma vez que o possui uma enorme reserva de recursos naturais, sendo um dos maiores produtores agrícolas do mundo. Além disso, o Brasil não possui reservas consideráveis de carvão mineral metalúrgico sendo obrigado a importar a preços elevados de países como Austrália, Estados Unidos e Colômbia. No Brasil o preço médio da tonelada de carvão mineral metalúrgico gira entre 200-250 dólares. Para as biomassas não se tem preços bem definidos uma vez que podem estar ligados apenas ao transporte e preparação do material antes da utilização, mas pode-se dizer que a biomassa já pronta para o uso na siderurgia está entre 120-160 dólares a tonelada ^[6].

Considerando que para a produção de uma tonelada de aço bruto seja necessário 650kg de carvão mineral e que parte desse carvão possa ser substituído por biomassa, no mesmo cenário apresentado anteriormente, tem-se então que para essa produção será usado 400kg de carvão mineral e 250kg de biomassa. Considerando os custos ligados a essas matérias primas, conforme citado anteriormente, para a produção de uma tonelada de aço bruto o custo com carvão este redutor passaria de 162 dólares para 130 dólares. Uma economia de 30 dólares por tonelada de aço bruto pode parecer pouco, mas, ao considerar uma siderúrgica que produz 1 milhão de toneladas anuais, a economia pode chegar a 30 milhões de dólares.

A economia com a substituição parcial do carvão mineral pode girar em torno de 20% porém, são necessários estudos de viabilidade logística e de possíveis investimentos para o tratamento dessas biomassas antes da sua utilização, o que geraria economias a médio e longo prazo.

3 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que, ao substituir o coque pelo carvão vegetal, há um efeito positivo no balanço de emissões de CO₂

O uso de pequenas quantidades de carvão em um alto-forno de coque pode ser considerado viável se a quantidade de carvão economizado funcionar além da injeção de biomassa pulverizada.

Em relação ao uso de biomassa na coqueria, pode ser interessante substituir cerca de 2% a 5% do carvão mineral por biomassa.

As biomassas podem ser utilizadas no processo de produção de aço, obtendo reduções nas emissões de CO₂, em torno de 40% e nos custos dos processos da ordem de 20%.

A localização e o espaço disponível para a produção de biomassas para este uso devem ser analisados sendo que os custos das biomassas estão associados ao fornecimento e pré-tratamento do material.

REFERÊNCIAS

- 1 FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. Production of crops [acesso em 03 de março de 2018]. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- 2 Assis, C.F.C., 2014b. Caracterização de Biomassas para a sua Injeção em Altos-Fornos. Doctorial Dissertation. Federal University of Ouro Preto (UFOP). 133p.
- 3 Wang, C., Mellin, P., Lövgren, J., Nilsson, L., Yang, W., Salman, H., Hultgren, A., Larsson, M., 2015. Biomass as blast furnace injectant-Considering availability,

- pretreatment and deployment in the Swedish steel industry. *Energy Conversion and Management*, v.102, p.217-226.
- 4 Assis, C.F.C., Tenório, J.A.S., Assis, P.S., Nath, N.K., 2014a. Experimental simulation and analysis of agricultural waste injection as an alternative fuel for blast furnace. *ACS Energy&Fuels*, v.28, p. 7268-7273.
 - 5 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.
 - 6 Suopajärvi, H., Kemppainen, A., Haapakangas, J., Fabritius, T., 2017. Extensive review of the opportunities to use biomass-based fuels in iron and steelmaking processes. *Journal of Cleaner Production*, v.148, p.709-734.
 - 7 MacPhee, J.A., Gransden, J.F., Giroux, L., Price, J.T., 2009. Possible CO₂ mitigation via addition of charcoal to coking coal blends. *Fuel Process. Technol.*90(1), 16-20.
 - 8 Montiano, M.G., Díaz-Faes, E., Barriocanal, C., Alvarez,R., 2014. Influence of biomass on metallurgical coke quality. *Fuel* 116, 537-543.
 - 9 Quin, L., Han, J., Ye, W., Zhang, S., Yan, Q., Yu, F., 2014. Characteristics of coal and pine sawdust Co-carbonization. *Energy Fuels* 28(2), 848-857.
 - 10 Silva, G.L.R., Braga, E.M.H., Assis, P.S., Quintas, A.C.B., Dornelas, P.H.G., Moura, L.C.A., Souza, R.D.S., 2016. Utilização de finos de carvão vegetal para produção de biocoque metalúrgico. *ABM Week*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
 - 11 Protásio, T.P., Bufalino, L., Mendes, R.F., Ribeiro, M.X., Trugilho, P.F., Leite, E.R.S., 2012. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 16 (11), 1252-1258.
 - 12 Onuegbu, T.U., Ekpunobi, U.E., Ogbu, I.M., Ekeoma, M.O., Obumselu, F.O., 2011. Comparative studies of ignition time and water boiling test of coal and biomass briquettes blend. *IJRRAS*. 7 (2), 153-159.
 - 13 Suopajärvi, H., Pongrácz, E., Fabritius, T., 2013. 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.
 - 14 Fan, X., Ji, Z., Gan, M., Chen, X., Yin, L., Jiang, T., 2015. Characteristics of prepared coke-biochar composite and its influence on reduction of NO_x emissions in iron ore sintering. *ISIJ Int.* 55 (3), 521-527.
 - 15 Gan, M., Fan, X., Chen, X., Ji, Z., Lv, W., Wang, Y., Yu,Z., Jiang, T., 2012. Reduction of pollutant emission in iron ore sintering process by applying biomass fuels. *ISIJ Int.* 52 (9), 1574-1578.
 - 16 Rodrigues, P.M.S., Silva Filho, P.A. 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 a 07 de outubro de 2016