

CARACTERIZAÇÃO DE MISTURA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E CARVÃO VEGETAL PARA SUA INJEÇÃO EM ALTOS-FORNOS¹

Samuel Trindade Viana²
Luiz Fernando de Souza Carneiro²
Paulo Santos Assis³

Resumo

O Trabalho visa o estudo e caracterização de misturas de bagaço de cana-de-açúcar e carvão vegetal para sua injeção em ventaneiras de altos fornos, no intuito de uma possível substituição dos combustíveis fósseis comumente utilizados por uma fonte de energia renovável, a biomassa. O estudo pode ser subdividido em duas etapas. Primeiramente uma caracterização do bagaço de cana-de-açúcar *in natura*, através de vários ensaios realizados em amostras do material pulverizado. A segunda parte consiste em um estudo do comportamento da mistura do bagaço de cana-de-açúcar e carvão vegetal quando injetada pelas ventaneiras através de um equipamento que simula o processo de injeção. O uso do bagaço de cana-de-açúcar como fonte de energia já é realidade no próprio setor sucroalcooleiro e uma produção siderúrgica ambientalmente sustentável é um assunto bastante discutido nos dias atuais. Portanto, a utilização de biomassa como redutor na produção de ferro gusa pode ser uma alternativa eficiente para um desenvolvimento limpo no setor siderúrgico.

Palavras-chave: Bagaço de cana-de-açúcar; Injeção; Energia; Meio ambiente.

CHARACTERIZATION OF MIXTURES OF SUGARCANE BAGASSE AND CHARCOAL FOR INJECTION THROUGH TUYERES OF BLAST FURNACES

Abstract

This Paper aims the study and characterization of mixtures of sugarcane bagasse and charcoal for injection through tuyeres of blast furnaces, indicating a possible replacement of fossil fuels, commonly used, by a renewable energy source, the biomass. The work may be subdivided in two stages. Firstly a characterization of sugarcane bagasse *in natura*, by some tests performed in samples of powder material. The second stage is the study of the behavior of the mixture when injected through tuyeres in equipment that simulate the injecting process. The use of sugarcane bagasse as energy source is already reality in the alcohol sector and a steel production environmental sustainable is an important theme today. Therefore, the biomass utilization as reducer at the pig iron's production may be an efficient choice to a clean development in the steelmaking sector.

Key words: Sugar cane bagasse; Injection; Energy; Environment.

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 Graduando em Engenharia Metalúrgica pela Escola de Minas - UFOP, Brasil.

³ Membro da ABM. Prof. Titular da Escola de Minas-UFOP, Prof. Honorário da Hebei Technology University, China. Pesquisador em Meio-ambiente, Siderurgia e Qualidade. Dr., M.Sc.

1 INTRODUÇÃO

Energia é a base para o desenvolvimento da humanidade. A maior parte da energia utilizada no mundo provém de combustíveis fósseis e seu consumo intenso é o principal responsável pela maioria dos problemas ambientais da atualidade.

Nesse contexto, é interessante pensar sobre fontes renováveis de energia, a fim de reduzir impactos e garantir que os recursos naturais continuem a existir para gerações futuras.

O presente trabalho visa o estudo e caracterização de mistura de bagaço de cana-de-açúcar e carvão vegetal para sua injeção através das ventaneiras de altos-fornos, como sendo uma possível substituição de combustíveis fósseis comumente utilizados por uma fonte de energia renovável, a biomassa. O desenvolvimento do trabalho pode ser dividido em duas partes. Primeiramente uma caracterização do bagaço de cana-de-açúcar *in natura*, através de vários ensaios realizados em amostras do material pulverizado com granulometria variando entre 48# e 100#, 100# e 200# e finalmente abaixo de 200#. A segunda parte consiste em um estudo do comportamento da mistura do bagaço de cana-de-açúcar e carvão vegetal quando injetada pelas ventaneiras. Para isto serão feitos ensaios, através de um equipamento que simula o processo de injeção pelas ventaneiras, em misturas de carvão e bagaço, nas mesmas granulometrias supracitadas variando o percentual de bagaço de cana-de-açúcar entre 0%, 20%, 50%, 75% e 100%.

Os resultados desta pesquisa mostra que a injeção da mistura de bagaço de cana e carvão vegetal é tecnicamente viável. Portanto, a utilização de biomassa como redutor na produção de ferro gusa pode ser uma alternativa eficiente para um desenvolvimento limpo no setor siderúrgico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bagaço de Cana-de-Açúcar e Energia

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo. A produção nacional na safra de 2008/2009 apresentou um valor recorde de pouco mais de 687 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, o que resulta em, aproximadamente, 200 milhões de toneladas de bagaço.⁽¹⁾

O bagaço da cana-de-açúcar é o resíduo industrial lignocelulósico fibroso, remanescente do esmagamento dos colmos da cana-de-açúcar no dispositivo de moagem para extração do caldo da cana. Constitui-se em um conglomerado de partículas bastante heterogêneo resultado do próprio processo de moagem. As fibras do bagaço da cana contêm, como principais componentes, cerca de 40% de celulose, 35% de hemicelulose e 15% de lignina, sendo este último responsável pelo seu poder calórico. Tem-se consolidado como uma matéria-prima industrial de elevada importância econômica.⁽²⁾

2.2 Injeção de Material Pulverizado (IMP)

A substituição de parte do redutor granulado, carregado no topo do alto-forno, por um combustível de mais baixo custo, injetado diretamente pelas ventaneiras, é o objetivo

principal da IMP. Além de redução do custo do redutor, outros fatores irão influenciar direta ou indiretamente a maior economicidade da operação do alto-forno com injeção, tais como o aumento de produtividade, maior estabilidade operacional do reator devido à maior eficácia do seu controle térmico através da injeção.⁽³⁾

Para ser injetado no alto-forno, o carvão passa por processos que irá adequá-lo, para sua injeção na zona de combustão do alto-forno. Estes processos são a moagem para se atingir a granulometria ideal e secagem para eliminar umidade. Após isto, o carvão é fluidizado através da mistura com um gás, normalmente ar ou nitrogênio, para ser transportado pneumaticamente em tubulações e convenientemente distribuído pelas ventaneiras do alto-forno. A Figura 1 mostra um exemplo de fluxograma de processo de uma IMP.⁽³⁾

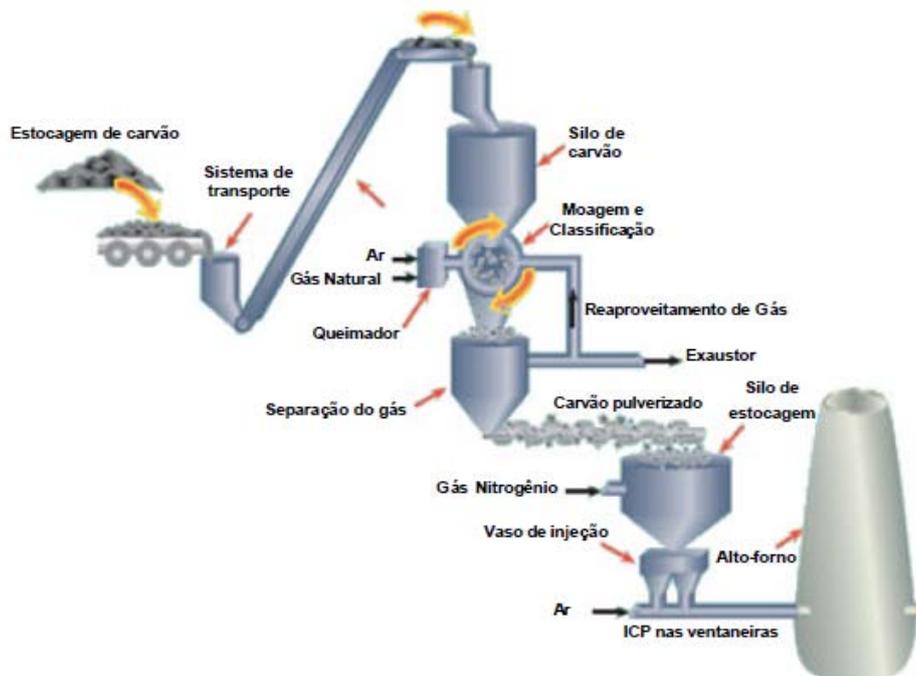


Figura 1. Fluxograma do processo de ICP.⁽³⁾

O carvão é injetado no alto-forno através das ventaneiras, no mesmo duto onde é injetado o ar quente. Dentro ainda da “raceway”, ele sofre desvolatilização e queima, gerando calor e gases. O calor gerado aquece a carga metálica e os gases (CO e H₂), formados na combustão do carvão, servirão para reduzir a carga metálica.⁽³⁾

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Preparação das Amostras

Para preparar a mistura de bagaço de cana e carvão vegetal foi adotado o procedimento análogo à técnica de IMP. Para adequar o material à injeção, bagaço de cana e carvão vegetal foram caracterizados separadamente. Feito isso, o material foi misturado para a análise de combustibilidade.

Para a caracterização do bagaço de cana-de-açúcar, amostras cedidas pela Usina Jatiboca, localizada no município de Ponte Nova – MG, foram coletadas logo após o seu processo de moagem. Para coleta das amostras, o monte (Figura 2) foi quarteado e de cada parte do quarteamento foi retirada uma alíquota, resultado aproximadamente 8 kg de material. Este material ficou armazenado em um saco plástico (Figura 3) por aproximadamente 30 dias até início da preparação para os ensaios.



Figura 2. Resíduo de moagem da cana-de-açúcar.



Figura 3. Material armazenado em saco plástico.

Iniciada a preparação do material coletado, uma amostra de 110,26 g de bagaço foi retirada para análise de umidade onde, junto com todo o material passou três dias em uma estufa a temperatura de 100°C. Feito isso, o material foi novamente armazenado em um saco plástico.



Figura 4. Material pronto para ser pulverizado.



Figura 5. Pulverizador.

Em outro laboratório foi realizado a pulverização do material. Assim, o material foi colocado em um pulverizador (Figuras 4 e 5) e processado por 4 minutos. Após pulverizado o material foi peneirado por 25 min (Figura 6) e separado em três faixas granulométricas (abaixo de 200#, entre 100# e 200# e entre 48# e 100#) (Figura 7).



Figura 6. Agitador vertical de peneiras.

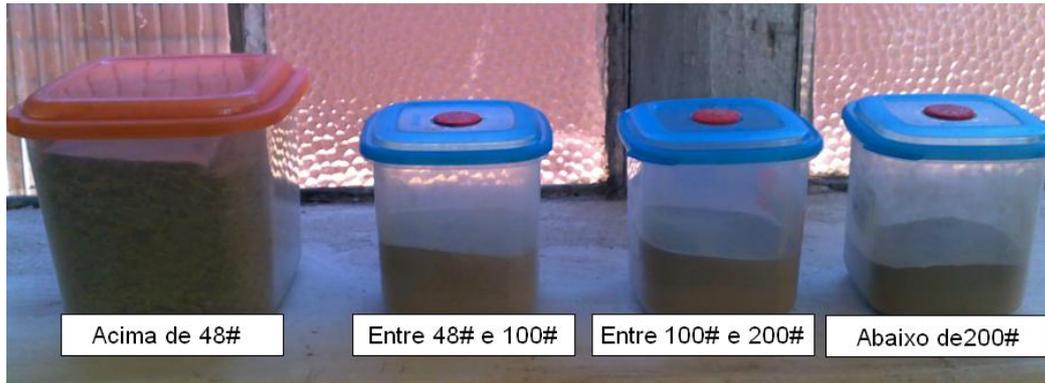


Figura 7. Material pulverizado separado de acordo com sua faixa granulométrica.

Com o material devidamente separado, foram feitas 12 amostras enumeradas de BC1 a BC12 segundo Tabela 1. Estas amostras foram utilizadas para realização de Análise química imediata, Adsorção de nitrogênio (BET), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Análise termogravimétrica (BET).

A amostra de carvão vegetal é oriunda da carbonização do eucalipto. O material foi fornecido pela Citygusa Siderurgia Ltda. localizada no município de Pedro Leopoldo – MG. A caracterização do carvão vegetal foi feita de acordo com as normas NBR6923 (Carvão vegetal – Amostragem e preparação de amostra, de 1981) da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).⁽⁴⁾

Amostras de mistura de carvão vegetal a bagaço de cana-de-açúcar foram feitas variando a porcentagem de bagaço de cana e a granulometria, resultado 15 amostras (Tabela 2) para cada taxa de injeção, que também varia entre 50 kg/ton gusa, 100 Kg/ton gusa e 150 Kg/ton gusa.

3.2 Simulador de Elevado Gradiente Térmico

Trata-se de um equipamento que simula as condições em que são submetidos os materiais injetados pelas ventaneiras. Pode-se dividir o aparelho em duas zonas uma de alta pressão e outra de baixa pressão. A zona de baixa pressão é composta pelo forno de pré-aquecimento que simula as condições do regenerador de calor de um alto-forno, o ponto de injeção de carvão e o forno de combustão que simula a zona de combustão ou *raceway zone*.^(3,5)

Tabela 1. Identificação de amostras para análises químicas e físicas

AMOSTRA	Granulometria	Análise Química Imediata	BET	MEV	TGA
BC1	48# > x >100#	X			
BC2	100# > x >200#	X			
BC3	200# > x	X			
BC4	48# > x >100#		X		
BC5	100# > x >200#		X		
BC6	200# > x		X		
BC7	48# > x >100#			X	
BC8	100# > x >200#			X	
BC9	200# > x			X	
BC10	48# > x >100#				X
BC11	100# > x >200#				X
BC12	200# > x				X

Tabela 2. Identificação das amostras para ensaios no simulador

AMOSTRA	Granulometria (x)	% Bagaço de Cana de açúcar	% Carvão Vegetal
1	48# > x >100#	100	0
2	48# > x >100#	75	25
3	48# > x >100#	50	50
4	48# > x >100#	25	75
5	48# > x >100#	0	100
6	100# > x >200#	100	0
7	100# > x >200#	75	25
8	100# > x >200#	50	50
9	100# > x >200#	25	75
10	100# > x >200#	0	100
11	200# > x	100	0
12	200# > x	75	25
13	200# > x	50	50
14	200# > x	25	75
15	200# > x	0	100

A zona de alta pressão é composta por um manômetro e a lança de injeção, sendo ativada por uma válvula eletromagnética. Todas estas zonas juntas representam as condições físicas de operação e combustão de carvão em um alto forno. Na zona de alta-pressão se carrega o carvão pulverizado. A Figura 8 mostra o Simulador de Elevado gradiente Térmico encontrado no Laboratório de Siderurgia da UFOP.^(3,5)

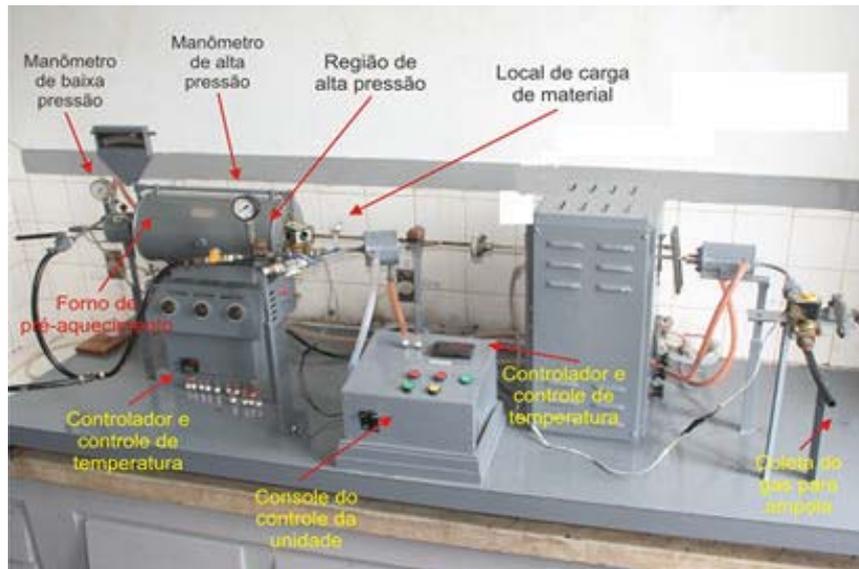


Figura 8. Simulador de elevado gradiente térmico.⁽³⁾

O gás utilizado neste experimento é oxigênio puro estocado em cilindros de 13 m³ cada, este é acoplado ao simulador através de mangueiras devidamente dimensionadas para tal finalidade. A Figura 9 mostra um esquema das regiões do simulador. Com o auxílio de um funil de vidro, o carvão é introduzido na abertura denominada “S” que após isso é fechada para que não ocorra à ejeção do material, cada forno está previamente aquecido à temperatura de 800⁰C para o forno de pré-aquecimento e acima de 1.200⁰C para o forno de combustão.^(3,5)

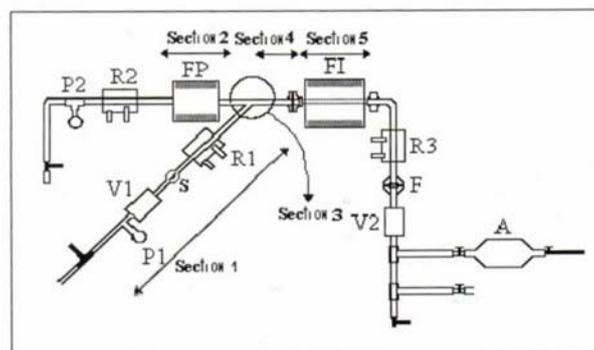


Figura 9. Esquema das regiões do simulador.⁽⁵⁾

Após aberta a válvula do cilindro, o gás é destinado para um ramo da mangueira que o conduz ao forno de pré-aquecimento e outro que o conduz para a lança de injeção no forno de pré-aquecimento onde ele é aquecido para a temperatura de sopro similar a atingida em um alto-forno. Na lança de injeção o gás arrasta o material particulado sob o comando da válvula eletromagnética (V1) que é acionada simultaneamente com a válvula (V2) por apenas 2 segundos repetindo este acionamento por quatro vezes. As pressões do gás nos reguladores (P1) e (P2) são respectivamente 5 kgf/cm² e 2 kgf/cm².^(3,5)

O gás arrastando as partículas do material injetado entra em contato com o gás vindo do forno de pré-aquecimento e entram juntos no forno de combustão onde acontece a queima sendo depois separados o particulado e o gás coletado nas ampolas.

As ampolas são de vidro com duas aberturas uma em cada extremidade e um volume interno variando entre 200 ml e 250 ml, preenchida com água que é expulsa pela outra extremidade à medida que o gás é injetado na ampola. Logo após o gás ser coletado ele é encaminhado ao analisador de gás ORSAT.^(3,5)

3.3 Orsat

A ampola com o gás coletado é acoplado por meio de uma mangueira de borracha ao Orsat, que consiste em um conjunto de ampolas de vidro contendo em seu interior as devidas soluções necessárias para análise do gás. Este sistema é interligado por tubos de vidro por onde o gás é forçado a passar gerando assim uma lavagem separando as devidas frações de CO, CO₂ e O₂, as soluções utilizadas são de cloreto de cobre para o CO, Pirogalol para o O₂ e hidróxido de potássio para o CO₂.^(3,5)

Através de um tubo contendo uma solução salina e pela diferença de nível entre este e as ampolas de soluções pode-se medir a porcentagem de cada gás que compõem a amostra.^(3,5)

Após aberta a válvula da ampola o gás é conduzido por mangueira até a válvula de entrada do Orsat onde pode ser direcionada para cada ampola, seguindo uma determinada ordem. Escolhida a ampola de solução a ser utilizada, o gás é forçado a passar por esta através de uma diferença de nível entre a solução salina e a ampola que força a separação dos gases, esta diferença é estabelecida até que a solução salina entre em equilíbrio com a solução na ampola de solução do Orsat não permitindo que mais gás seja absorvido separando assim a fração de gás que a solução esta especificada para separar, após este procedimento se expulsa o gás desta ampola e fecha a válvula que fornece o caminho para esta, repetindo o procedimento para as outras ampolas.^(3,5)



Figura 10. Orsat.⁽⁵⁾

De posse dos resultados do ensaio, calcula-se a taxa de combustão usando-se a equação (1) mostrada na literatura sobre o assunto.^(3,5)

$$IC = (\%CO + \%CO_2) \cdot n / [(ma \cdot \%C_f / 1200000) - (\%CH_4 \cdot ng / 100)] \quad (1)$$

Em base úmida, onde:

- IC = Índice de combustão (combustibilidade);
- %CO, %CO₂, %CH₄ = Porcentagens dos gases produzidos;
- %C_f = Carbono fixo contido na amostra;
- ng = Número de mols do gás depois da experiência; e
- ma = Massa da amostra de carbono injetada em miligramas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterizações Químicas

O primeiro teste de umidade, mostrou o bagaço de cana contendo 37.61% de água. A análise química apresentou os valores mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Análise química imediata para o bagaço de cana-de-açúcar

AMOSTRA	Umidade (%)	Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
BC3	6,692	75,659	4,262	13,387
BC2	6,403	69,456	12,079	12,062
BC1	6,130	67,695	15,869	10,303

Considerando que a análise química foi realizada em base seca, é possível afirmar que os valores obtidos estão de acordo com os da literatura (Tabela 4).

Tabela 4. Análise química imediata para o bagaço de cana-de-açúcar

	Umidade (%)	Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
Carvão Vegetal ⁽⁷⁾	8	24	12	56
Bagaço ⁽⁷⁾	50	35	4	11
Bagaço ⁽⁸⁾	50	37	1,5	11,5

Pode-se observar que, à medida que se aumenta a faixa granulométrica, tem-se uma diminuição dos valores de carbono fixo e voláteis, isso acontece devido ao fato de que à medida que se diminui o tamanho das partículas, há um aumento nos valores de carbono fixo e voláteis. Outro possível motivo seria a contaminação do local onde o material foi armazenado, podendo aumentar a quantidade de minerais na amostra.

4.2 Método de Adsorção de Nitrogênio (BET)

Os ensaios de adsorção de nitrogênio pela técnica BET mostraram os valores apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Teste de Adsorção de Nitrogênio.

Amostra	Densidade	Superfície Específica BET	Volume de Microporos	Área dos Microporos
	(g/cm ³)	(m ² /g)	(cm ³ /g)	(m ² /g)
BC6	1,470	1,920	0,00093	2,632
BC5	1,419	0,454	0,00026	0,745
BC4	1,359	0,270	0,00016	0,439

Amostra	Constante C	Tamanho médio dos Microporos	Volume Total dos Poros	Diâmetro Máximo dos Poros	Diâmetro Médio dos Poros
	(Faixa Ideal de Valores: 50<C<200)	(nm)	(cm ³ /g)	(Å)	(Å)
BC6	166,40	8,656	0,00367	1577,40	76,53
BC5	201,40	2,560	0,00114	1581,20	100,60
BC4	144,70	4,570	0,00091	1615,00	135,60

Esses números só confirmam a teoria, ou seja, a diminuição do tamanho de grão leva a:

- aumento da superfície;
- aumento da densidade; e
- a relação com a porosidade também mostra uma tendência, mas isso não significa que ele não pode ter outra conexão. Se houver um aumento da porosidade, por exemplo, haverá expansão da área específica para o mesmo grão.

4.3 Caracterização Metalúrgica

A queima das amostras no simulador de elevado gradiente térmico ainda não foi feita para todas as faixas granulométricas mas os resultados para granulometria abaixo de 200# de um estudo já realizado já mostra um bom comportamento da mistura quando injetada pelas ventaneiras.

Os valores obtidos variando a taxa de combustão entre 50 kg/ton, 80 kg/ton e 140 kg/ton gusa são mostrados na Tabela 6. A Figura 11 mostra como a taxa de combustão varia com a porcentagem da bagaço na mistura. O eixo Y representa a taxa de combustão e o eixo X a porcentagem de bagaço na mistura.

Tabela 6. Resultados das taxas de combustão em função do % de carvão vegetal na mistura e da taxa de injeção de misturas (kg/tgusa)⁽⁵⁾

Carvão vegetal + bagaço de cana (Granulometria < 200#)				
Carvão Vegetal (%)	Bagaço de Cana (%)	50 kg/tgusa	80 kg/tgusa	140 kg/tgusa
0	100	86	85,1	78.0
20	80	87,2	87.5	81.3
40	60	90.2	88.6	83.5
60	40	93.3	92.7	88.7
80	20	95.1	94.8	88.7
100	0	94.8	93.2	87

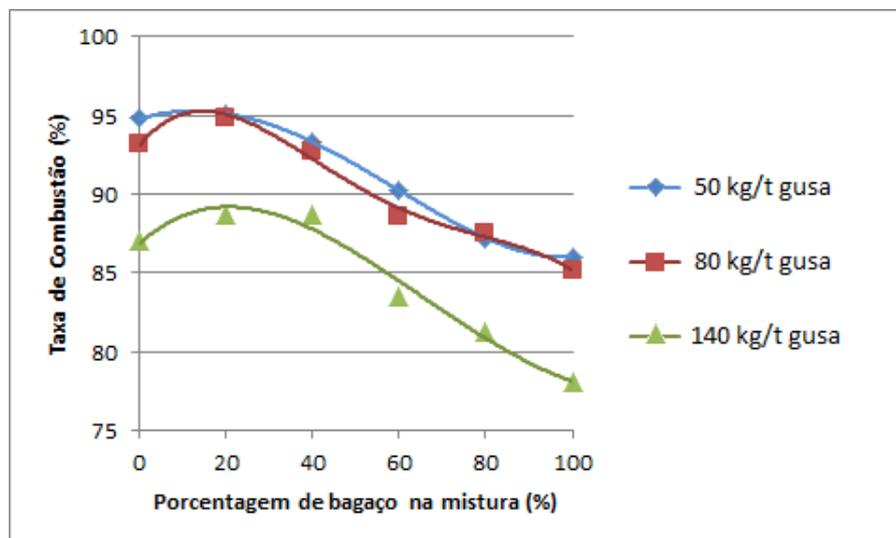


Figura 11. Efeito do bagaço na mistura de carvão vegetal + bagaço sobre a taxa de combustão.

Observa-se um aumento da taxa de combustão e um máximo quando 20% de bagaço a adicionado à mistura com carvão vegetal. Este aumento da taxa de combustão se dá devido a uma combinação de pirólise e combustão dos voláteis.

A medida em que a taxa de injeção aumenta, observa-se uma pequena variação entre as taxas de injeção 50 kg/ton e 80 kg/ton gusa. Esta variação já é maior em relação a 140kg/ton gusa. Esta variação pode ser explicada por um processo proposto por Assis et al.⁽⁶⁾

A Figura 12 ilustra o efeito da taxa de injeção para duas situações extremas: 100% de carvão vegetal e 100% de bagaço de cana.

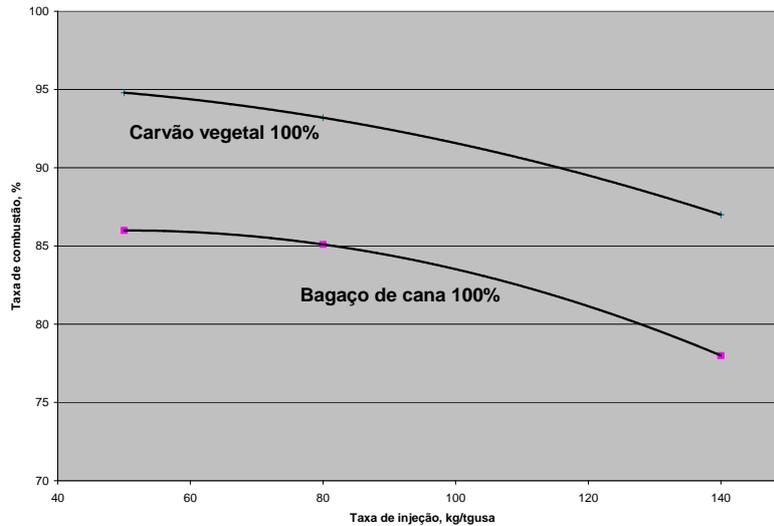


Figura 12. Efeito da taxa de injeção na taxa de combustão para 100% de bagaço e 100% de carvão vegetal.⁽⁵⁾

A partir destes gráficos pode-se perceber que com o aumento da taxa de injeção, há uma diminuição da taxa de combustão. Este efeito é praticamente o mesmo tanto para o carvão vegetal quanto para o bagaço de cana-de-açúcar, e pode ser associado ao alto teor de voláteis em ambos os combustíveis. Isso nos remete a uma taxa ótima de injeção para a qual a taxa de combustão do combustível alternativo, mesmo sendo reduzida, é bastante vantajosa tecnicamente e economicamente.

5 CONCLUSÕES

Do trabalho realizado, conclui-se:

- aumento significativo da taxa de combustão quando 20% de bagaço de cana-de-açúcar são adicionados a uma mistura com carvão vegetal e injetado a uma taxa de 50kg/ton gusa pelas ventaneiras de altos-fornos;
- o aumento da taxa de injeção implica uma redução na taxa de combustão para os dois combustíveis. Considerando o aumento da taxa de injeção de 50 kg/t para 80 kg/t gusa, não existe praticamente nenhuma mudança, no entanto, quando se injeta 140 kg/t gusa, há uma redução substancial na taxa de combustão;
- estes resultados podem ser obtidos se o alto-forno industrial reproduzir as condições de laboratório;
- mesmo sendo utilizado para outros fins, a maior parte do bagaço de cana gerado no processamento da cana-de-açúcar não é utilizado, portanto, o custo do produto no mercado pode ser tornado como nulo; e
- viabilidade ainda maior para altos-fornos localizados em áreas com disponibilidade de bagaço de cana em um raio de cerca de 200 km.

Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem o apoio da UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto), Escola de Minas, CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e Fundação Gorceix que auxiliaram e financiaram todo o processo de pesquisa. Gratidão a Citygusa Siderurgia Ltda e Jatiboca, por ter fornecido os materiais para injeção. E, por último, mas não menos importante, Prof. Paulo Santos Assis, sem os qual tudo isto não teria acontecido. Além disso, e importante reconhecer o trabalho da EcoEnviroX, empresa da UFOP que trabalha com MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo).

REFERÊNCIAS

- 1 UNICA - União da indústria de Cana de Açúcar. Disponível e: <<http://www.unica.com.br>> Acesso em: 30/05/2011
- 2 I.O. Salyer and A.M. Usmani, "Utilization of bagasse in new composite building materials", Ind. eng. chem. prod. res. dev. nº 21 17-23. N. d., 1982.
- 3 C.F.C. Assis, "Caracterização de carvão vegetal para a sua injeção em altos-fornos a carvão vegetal de pequeno porte", Master Dissertation, Redemat-UFOP-CETEC-UEMG, 2008.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Carvão vegetal - Amostragem e preparação da amostra. Rio de Janeiro: ABNT, 1981.
- 5 J.S. Brum, T. L. Silva, E. R. Reis, N. C. Silveira and P.S. Assis, "Avaliação do uso de mistura de bagaço de cana-de-açúcar com carvão vegetal para injeção nas ventaneiras do Alto-Forno", 30º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades - 24º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 2009
- 6 P.S. Assis et al, 'Curso de injeção de materiais pulverizados em altos-fornos', Book published by ABM, 292p, Oct 2006.
- 7 A. Wienese, "Boilers, boiler fuel and boiler efficiency". *Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association* – 75:275-281, 2001.
- 8 V. Seebaluck, M.R.L. Leal, F. Rosillo-Calle, P.R.K. Sobhanbabu and F.X. Johnson, F.X "Sugarcane Bagasse Cogeneration as a Renewable Energy Resource for Southern Africa", 3rd Intern. Green Energy Conference Västeras Sweden, 17-21 June 2007.