

# ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO CARVÃO MINERAL NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO FERRO-GUSA <sup>1</sup>

Agenor Medrado da Silva <sup>2</sup>

Miguel Angelo da Gama Bentes <sup>3</sup>

Swami Botelho Medrado <sup>4</sup>

Flavio Machado <sup>5</sup>

João Andrade de Carvalho Júnior <sup>6</sup>

Pedro Magalhães Sobrinho <sup>7</sup>

## Resumo

Esse trabalho tem como objetivo o estudo da utilização de biomassas nos processos de coqueificação e injeção de misturas de carvões minerais em altos-fornos, estas identificadas como casca ou farelo de soja in natura (BIO1), casca de coco calcinada (BIO2), casca de macadâmia in natura (BIO3), casca de arroz calcinada (BIO4) e in natura (BIO5). Os testes foram realizados em escala laboratorial e industrial utilizando carvão coqueificável do tipo médio teor em matéria volátil. Os resultados indicaram que a adição da biomassa nos níveis de até 6,0 % não provoca redução significativa na fluidez assim como no índice de livre expansão (FSI) das misturas. Em testes realizados no forno piloto de coqueificação, observou-se que percentuais da biomassa BIO1 em até 4,0% não provocam alterações significativas nas principais características da qualidade do coque produzido. A utilização de 6% da BIO4 na mistura resultou no aumento de 16,0 mm. no tamanho médio do coque produzido no forno piloto de coqueificação, este efeito foi confirmado nos testes em escala industrial realizados na bateria de fornos n.1 da CSN. Neste, observou-se que os coques obtidos das misturas de carvões com teores de biomassas em níveis de até 4 %, apresentaram pouca variação na resistência mecânica a frio (D.I. 150-15), o mesmo não ocorrendo com a reatividade (CRI). Os testes realizados no simulador de queima de carvão/misturas de uso no PCI demonstraram um aumento na eficiência de queima para as misturas com a participação da biomassa BIO2.

**Palavras-chave:** Carvão mineral; Coque; Biomassa, Resistência mecânica a frio.

## STUDY OF THE USE OF BIOMASS IN PARTIAL SUBSTITUTION TO THE MINERAL COAL IN THE IRONMAKING PROCESS

### Abstract

This paper shows the study of the mineral coals blended with the biomass identified as BIO1 (raw soy waste) , 2 (burnt coconut shell), 3 (raw “macadamia” shell), 4 (burnt rice husk) and 5 (raw rice husk), when those mixes are used in the coke plant and P.C.I. system. The tests were accomplished in laboratory and industrial scale using hard coking coal and blends injected at the CSN blast furnaces. The results obtained in blends with mineral coal indicated that the addition of the biomass in levels below to 6.0% does not provoke significant alterations in the fluidity and F.S.I. (free swelling index). On the tests carried out in pilot coke oven, it was observed that percentile of the biomass BIO1 below to 4.0% does not provoke significant alterations in the main characteristics of coke quality. However the coke size raised 16 mm with the 6% of BIO4 in the coal blend, this effect was confirmed in the industrial test. The coke produced in the pilot oven with biomass in levels below to 4.0% presented low variation in the Drum Index results but the reactivity raised in case of the BIO1, 2 and 3. In the PCI test was verified that the combustion efficiency for the blends with the BIO2, was greater than the others ones regarding to the tests carried out in the injection simulator.

**Key words:** Mineral coal; Coke; Biomass; Drum index.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, MSc. - Especialista em redutores da Gerência Geral de Processo Siderúrgico – GGPS.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalúrgico, MSc – Gerente de Projetos de Engenharia da Redução da CSN (GGEN).

<sup>4</sup> Engenheira Química - Coordenadora dos Laboratórios da Gerência Geral de Processos Siderúrgicos – GGPS.

<sup>5</sup> Engenheiro Metalúrgico, MSc – Prof. da Fundação CSN.

<sup>6</sup> Phd. Prof. Titular da Universidade Estadual de São Paulo e Coordenador do programa de Mestrado e Doutorado em engenharia (FEG) – UNESP- Guaratinguetá.

<sup>7</sup> Phd. Prof. Titular da Universidade Estadual de São Paulo – UNESP –Guaratinguetá.

## 1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica produzida pelas plantas através da fotossíntese é fonte energética de quase todos os seres vivos. Graças a grande cadeia alimentar, onde a base primária são os vegetais, essa energia é repassada para os animais, diretamente para os herbívoros e destes para os carnívoros primários e secundários. Plantas, animais e seus derivados são biomassas. Sua utilização como combustível pode ser feita na sua forma bruta ou através de seus derivados. Madeira, produtos e resíduos agrícolas, resíduos florestais, carvão vegetal, álcool, óleos animais, óleos vegetais, gás pobre e biogás são formas de biomassa utilizadas como combustíveis.<sup>(1)</sup> A renovação na biomassa se dá através do chamado ciclo do carbono. A decomposição ou a queima da matéria orgânica ou de seus derivados provoca a liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam o CO<sub>2</sub> e água nos hidratos de carbono, que compõem sua massa viva, liberando oxigênio. Desta forma a utilização da biomassa, desde que não seja de maneira predatória, não altera a composição média da atmosfera ao longo do tempo.<sup>(1)</sup>

A biomassa pode ser utilizada em diversas formas e estado para obtenção das mais variadas formas de energia, sejam por conversão direta ou indireta. Como vantagens da utilização da biomassa em substituição aos combustíveis fósseis pode-se citar a menor poluição atmosférica global e localizada e a estabilidade do ciclo de carbono. Em relação a outros tipos de energias renováveis, a biomassa, sendo energia química, se destaca pela alta densidade energética e pelas facilidades de armazenamento, conversão e transporte.<sup>(2)</sup>

A redução de custos de produção e a utilização de novas matérias-primas advindas de fontes renováveis, vem sendo uma busca constante nas indústrias. Esse estudo objetiva a substituição parcial do carvão mineral, que é uma fonte de energia não renovável e poluidora, utilizado como combustível no processo de produção de coque e na injeção em altos-fornos.

A mistura de carvão obtida com base em material orgânico (biomassa), resultará na redução do consumo de carvão mineral e na emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Este resultado, em função do Protocolo de Kyoto, tem como efeito adicional a geração de créditos de carbono.<sup>(3)</sup>

Outro aspecto positivo e importante é a distribuição da matriz energética brasileira, conforme mostrado na Figura 1, observando que o Brasil possui 44,7% das fontes renováveis de energia, enquanto que no mundo existem apenas 13,5%.<sup>(4)</sup>

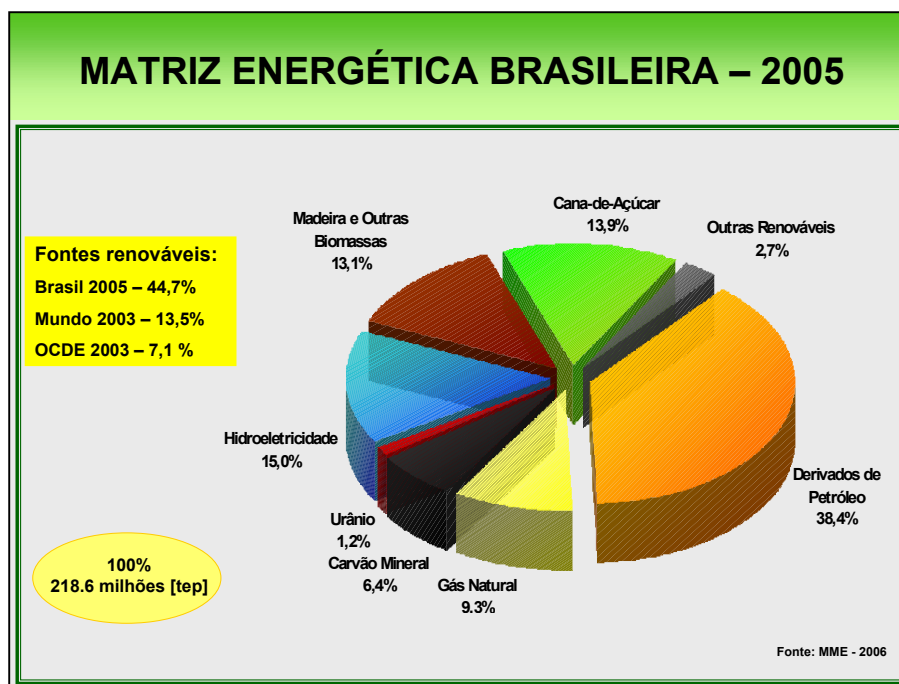


Figura 1\_– Matriz energética brasileira. <sup>(4)</sup>

## 2 MATERIAIS

### 2.1. Caracterização das Biomassas

A primeira etapa desse estudo foi a caracterização dos materiais recebidos no Centro de Pesquisas da CSN, na qual foram considerados e adicionados aos carvões minerais as biomassas designadas por BIO1 (casca de soja in natura), BIO2 (casca de coco calcinada), BIO3 (casca de macadâmia in natura), BIO4 (casca de arroz calcinada) e BIO5 (casca de arroz in natura).

Segue na Tabela 1 os resultados obtidos na caracterização das biomassas BIO1, 2, 3, 4 e 5.

**Tabela 1** – Caracterização de qualidade das biomassas

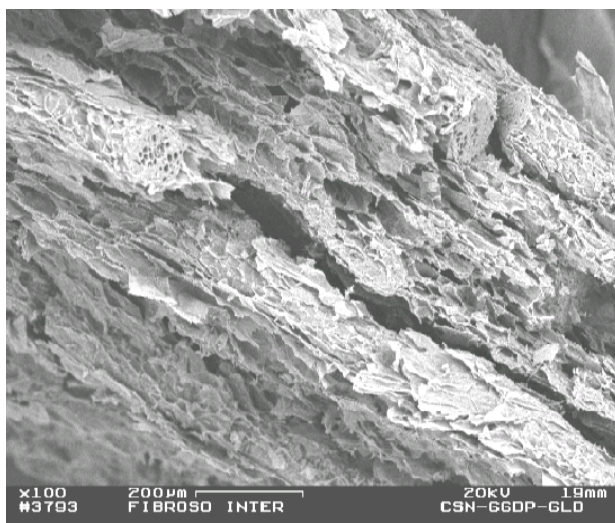
Material	Matéria Volátil (%)	Cinzas (%)	Enxofre (%)	Carbono Fixo (%)	Fluidez (ddpm)	F.S.I.
BIO1-Casca de soja (in natura)	63,5	8,9	0,34	27,7	N.D.	N.D.
BIO2-Casca de coco (calcinada)	50,9	7,2	0,07	41,9	N.D.	N.D.
BIO3-Casca de macadâmia (in natura)	76,5	2,5	0,21	21,0	N.D.	1,0
BIO4- Casca de arroz (calcinada)	6,3	90,7	0,01	3,0	N.D.	N.D.
BIO5-Casca de arroz (in natura)	13,0	44,9	0,01	42,1	N.D.	N.D.

Para a produção do carvão com a BIO2, foi necessário o desenvolvimento de um forno de carbonização autógena no Centro de Pesquisas da CSN. As amostras após passarem pela estufa para uma secagem inicial, foram cortadas em seções iguais e acondicionadas no forno de carbonização, sendo processadas até o estágio de carvão. A Figura 2 mostra algumas etapas da construção e operação do forno de carbonização para o processamento de biomassas.



**Figura 2** – Forno experimental Alvenaria refratária em construção

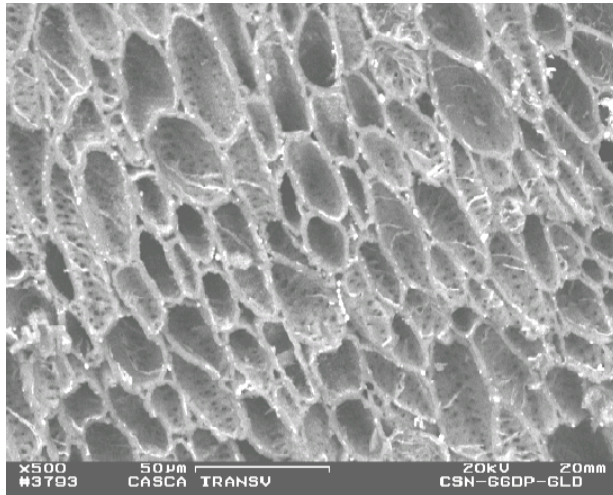
Após a queima (autógena) do material no forno de combustão, foram enviadas amostras para análise estrutural no MEV (microscópio eletrônico de varredura), com ampliação de 100 a 500 vezes. As Figuras 3, 4, 5 e 6 mostram a estrutura desse carvão produzido da biomassa (casca de coco).



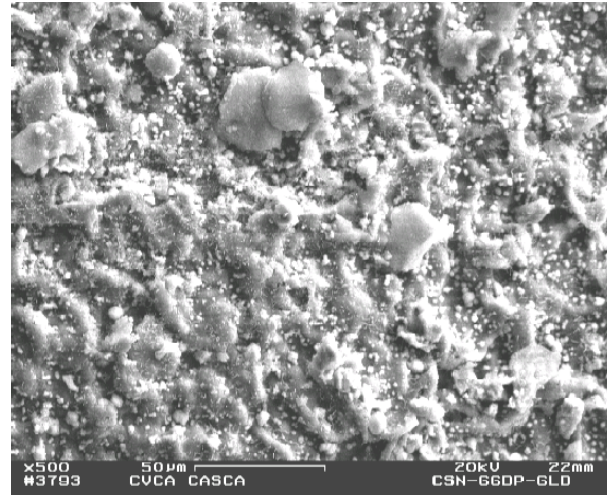
**Figura 3** – Ampliação de 100 vezes



**Figura 4** – Ampliação de 500 vezes



**Figura 5** – Ampliação de 500 vezes



**Figura 6** – Ampliação de 500 vezes

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Forno Piloto de Coqueificação (Laboratório de Redução da Gerência Geral de Processos Siderúrgicos – CSN)

Foram selecionadas 14 misturas contendo o carvão mineral do tipo médio teor em matéria volátil e biomassa com participação de 2 a 6%. Foi estabelecido o nível de 6,0% como percentagem máxima de participação nas misturas devido ao baixo nível de qualidade que esses materiais apresentaram, pois é necessário que seja mantido os parâmetros de qualidade do coque dentro da especificação estabelecida pelos técnicos dos altos fornos.

A caracterização da qualidade das misturas utilizadas assim como do coque produzido no forno piloto foi feita no laboratório de redução da GGPS, tendo sido utilizado os seguintes equipamentos:

- Analisador Termogravimétrico LECO – TGA – 501;
- Analisador Automático de Enxofre total LECO – SC 132;
- Plastometro YOSHIDA modelo YM1092-F;
- Forno elétrico PRIZE (F.S.I.);
- Forno elétrica analógica NA 3400 ( determinação do índice de reatividade );
- Tambor Rotativo ( determinação do índice de resistência mecânica a frio ).

Para a produção do coque utilizado como referência nos testes realizados no forno piloto, foi selecionado um carvão do tipo médio teor em matéria volátil.

As condições dos testes realizados no forno piloto foram:

- temperatura das paredes = 980 °C;
- densidade da carga = 789,1 (kg/m<sup>3</sup>);
- velocidade de coqueificação = 36 (mm/h)
- teor de umidade da carga = 5,5 %.

#### 3.2 Simulador de Queima de Carvão (Centro de Pesquisas da CSN)

Para a avaliação da eficiência de queima das misturas compostas por carvão mineral e biomassa, foi utilizado um simulador de queima de carvão construído no centro de pesquisas.

As condições de queima das amostras no simulador foram:

- temperatura do gás de arraste = 950 °C;
- temperatura de queima = 1200 °C (*raceway*);
- enriquecimento do ar em oxigênio = 6 %;
- pressão inicial durante arraste = 3,5 kgf/cm<sup>2</sup>;
- pressão final no filtro de coleta de carvão queimado entre 0,4 e 0,6 kgf/cm<sup>2</sup>.

Foram elaboradas misturas com a participação dos carvões do tipo Alto, Médio e Baixo voláteis juntamente com as biomassas BIO1 e BIO2. O percentual de participação da biomassa nos testes foi estabelecido à níveis superiores a 30% devido ao projeto da planta de injeção de carvão da CSN não permitir blendagem de carvão em percentagem abaixo desse valor. As condições operacionais foram ajustadas para simulação de uma taxa de injeção equivalente a 150 kg/t de gusa.

Após a queima de cada amostra, o resíduo coletado no filtro do simulador foi coberto com uma camada líquida de prata, submetidas a um processo de secagem e fotografadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

As amostras foram preparadas com distribuição granulométrica típica das misturas injetadas nos altos fornos da CSN. A Figura 7 ilustra o simulador de queima de carvão.

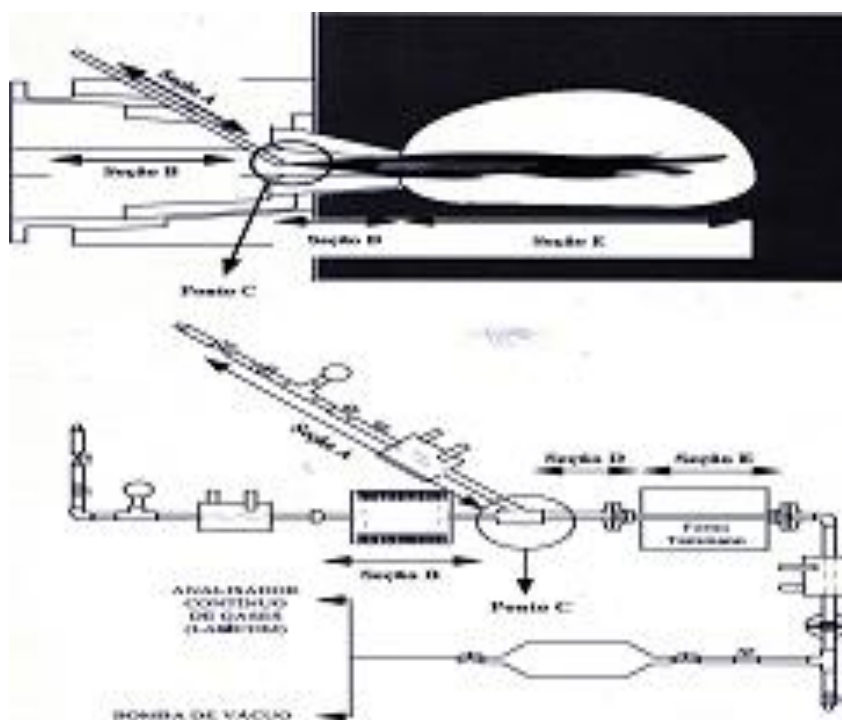
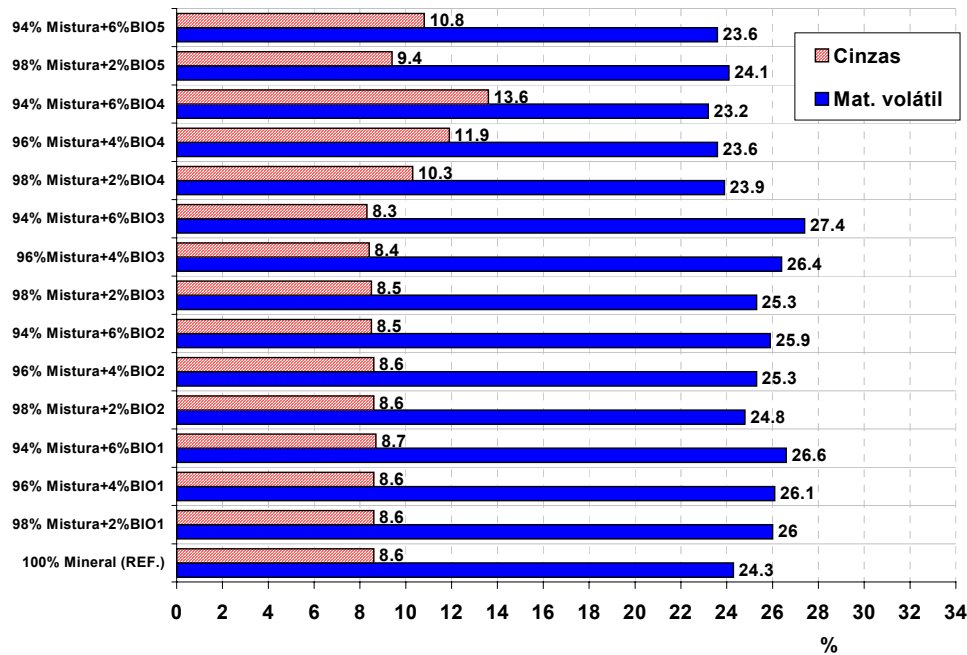


Figura 7 – Desenho esquemático do simulador de queima de carvão.<sup>(4)</sup>

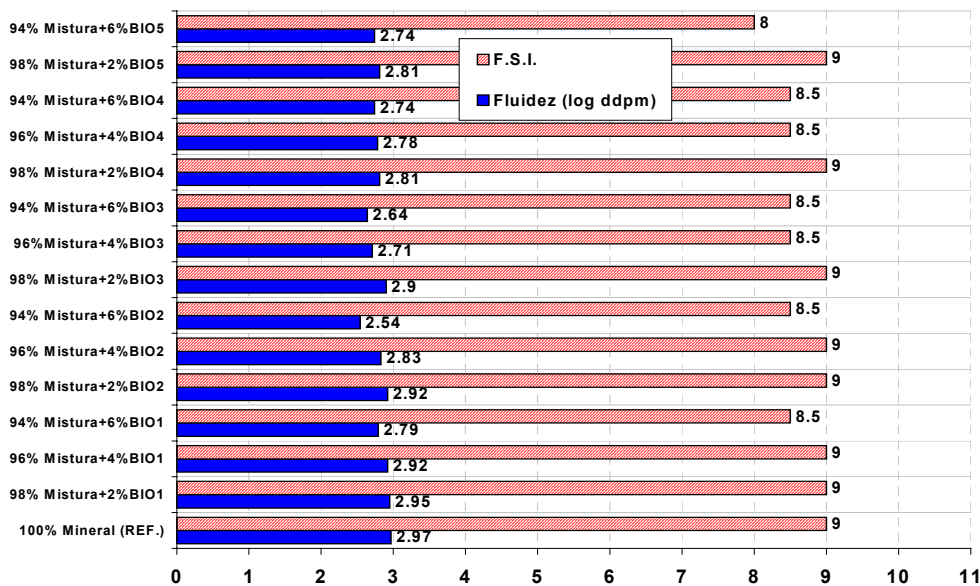
## 4 RESULTADOS OBTIDOS E COMENTÁRIOS

### 4.1 Resultados Obtidos na Caracterização das Misturas Aplicadas na Produção de Coque (Escala Piloto)

As Figuras 8 e 9 mostram os resultados obtidos na caracterização da qualidade das misturas utilizadas nos testes realizados no forno piloto de coqueificação. O efeito da adição da biomassa BIO4 e BIO5 em percentuais de até 6,0% provocou a alteração significativa no teor de cinzas das misturas, fato esse já esperado devido a composição das cinzas desse material ser praticamente 100% de SiO<sub>2</sub>.



**Figura 8 –** Características de matéria volátil e cinzas do carvão mineral (referência) e das misturas de carvão mineral com biomassas.

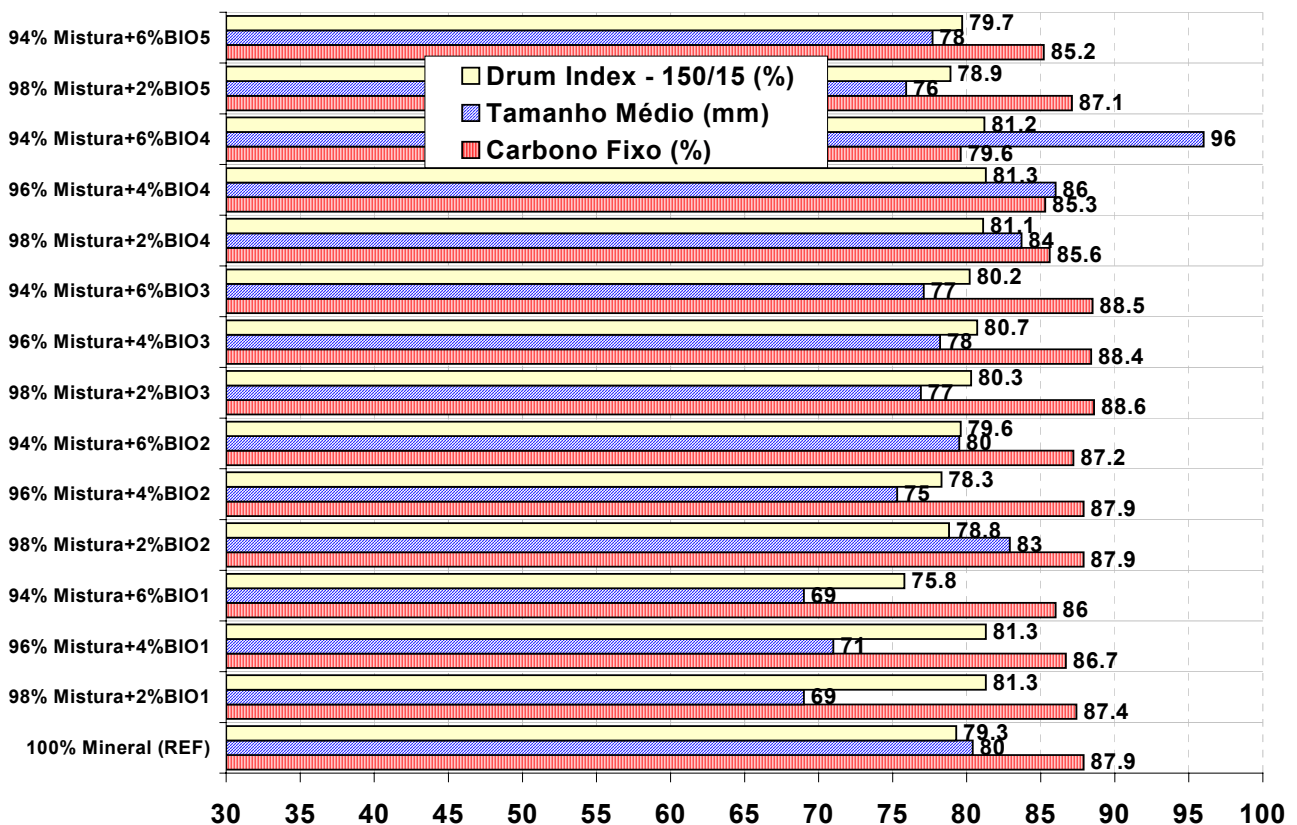


**Figura 9 -** Características de fluidez e F.S.I do carvão (referência) e misturas de carvão mineral com biomassas.

Os resultados obtidos na caracterização do coque produzido no forno piloto mostraram uma significativa alteração no tamanho médio com a adição da casca de arroz calcinada no carvão mineral, fato esse ocorrido devido ao efeito aglomerante do óxido de silício no processo de coqueificação, efeito esse também benéfico para a manutenção da Resistência Mecânica a Frio do coque (D.I.), pois o aumento do tamanho médio do coque não reduziu esse parâmetro de qualidade.

Foi constatado o efeito negativo da casca de soja no D.I. do coque, ou seja, a adição de 6,0% dessa biomassa produziu uma redução de 3,5 %. A reatividade do coque foi fortemente influenciada pelo carvão de casca de coco, onde a adição de 6,0% desse material resultou na elevação de 7,0 %. Esse tipo de material por ser muito reativo inviabiliza a sua aplicação nas misturas utilizadas na produção de coque. Quanto ao teor de cinzas exceto para a casca de arroz, é possível reduzir o nível de cinzas nas demais biomassas, através de um controle mais rigoroso no manuseio desses materiais nas cooperativas agrícolas. O comportamento em relação ao teor de enxofre ocorreu conforme esperado, ou seja, houve a redução em todos os coques produzidos.

As Figuras 10 e 11 abaixo mostram as características de qualidade dos coques produzidos no forno piloto com as respectivas misturas com o carvão mineral médio volátil e as biomassas.



**Figura 10**– Características de *Drum Index*, Tamanho Médio e Carbono Fixo do coque, com 100% de carvão mineral (REF) e com *blend* de carvão com biomassas.



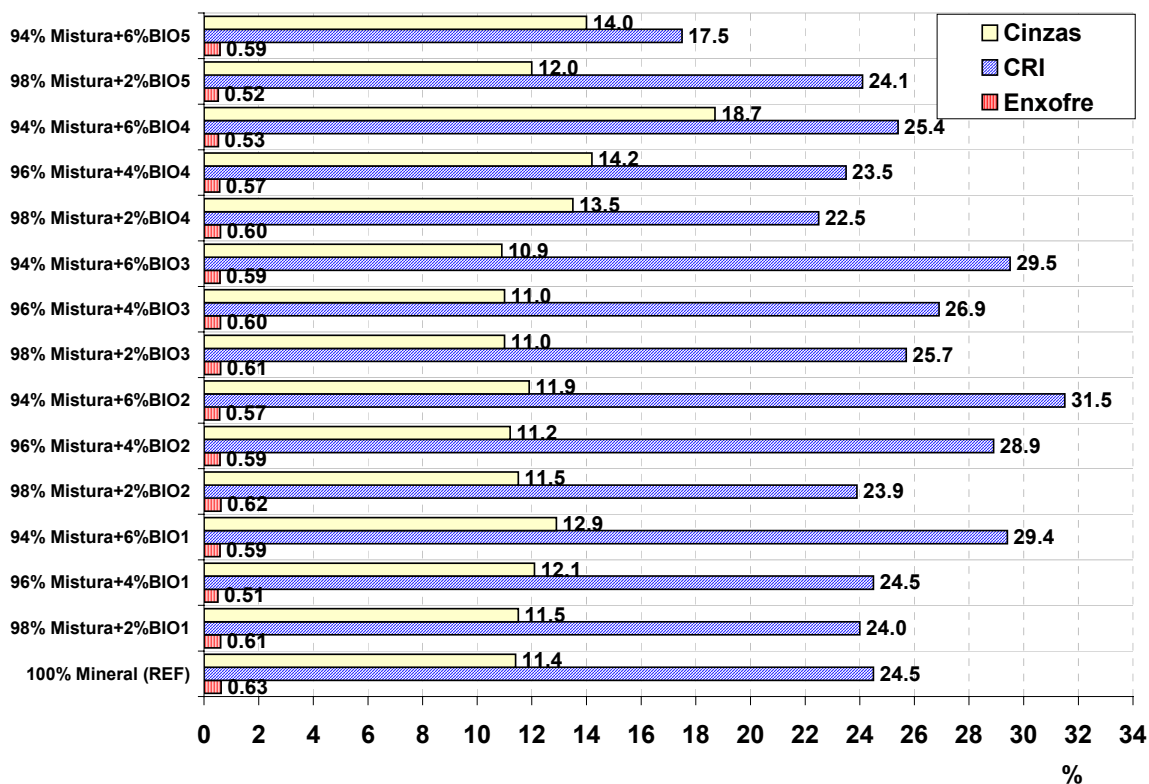


Figura 11 Características de cinzas, CRI e enxofre de coque, com 100% de carvão mineral (REF) e com *blend* de carvão mineral com biomassas.

#### 4.2 Resultados Obtidos nos Testes Realizados em Escala Industrial (Bateria n.1)

A elevação do Tamanho Médio do coque obtido no forno piloto sem a diminuição da Resistência Mecânica a Frio com a utilização da mistura de carvão e casca de arroz calcinada foi o principal motivo para a realização do teste em escala industrial. Primeiramente foi produzido o coque referência nos fornos da bateria n.1, utilizando 100 % do carvão médio volátil (mesmo carvão utilizado na produção do coque referência no forno piloto). Após a produção e a caracterização desse coque, foram preparadas no pátio de estocagem 155 toneladas da mistura composta por 94% do carvão médio volátil e 6% de casca de arroz calcinada. A tabela 2 mostra os dados relativos aos fornos enforçados na Bateria n.1.

Tabela 2 – Condições operacionais dos fornos com a mistura do carvão e biomassa

Número do forno	Peso (t.)	Tcoqueificação (hs)	Temperatura (°C)
45	17,1	17:43	1300
50	17,2	17:40	1324
55	16,7	17:33	1330
60	16,9	17:33	1313
65	16,5	17:25	1323
70	17,4	17:24	1325
75	17,6	17:21	1439
02	17,9	17:21	1318
07	17,9	17:56	1344

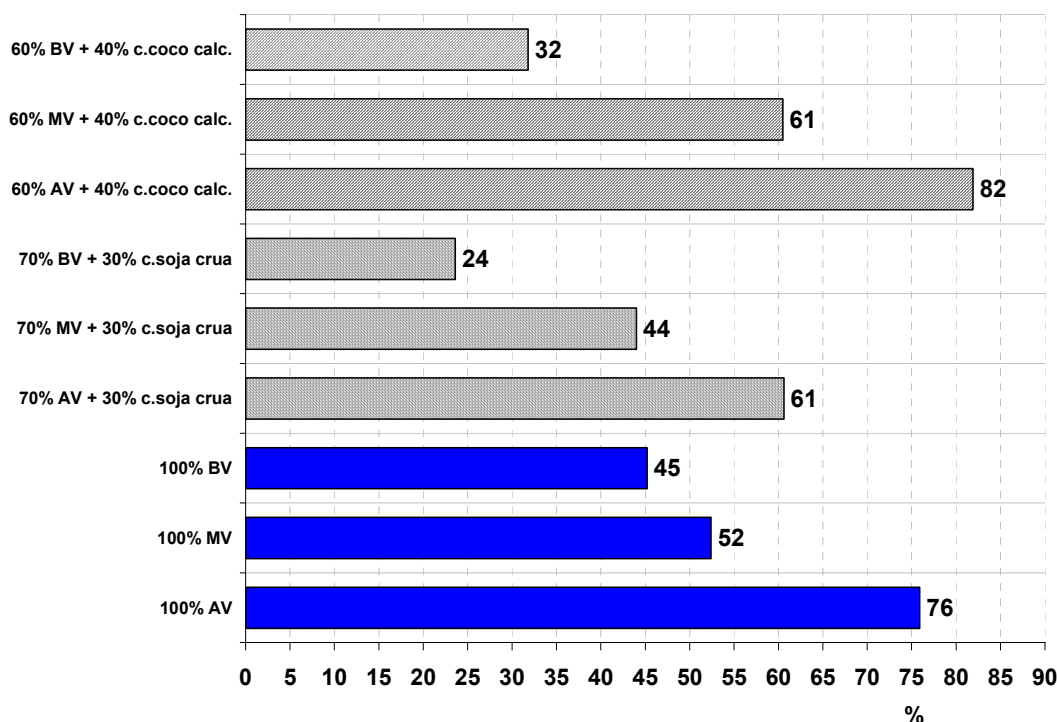
Os coques produzidos nos fornos indicados na Tabela 2 foram descarregados na rampa de coque, onde foram coletadas varias amostras e enviadas ao laboratório para a caracterização da qualidade. Os resultados mostraram uma melhora significativa no tamanho médio e no teor de enxofre do coque, fato esse verificado nos testes em escala piloto. Quanto ao teor de cinzas, já era esperado uma elevação significativa devido a presença predominante do SiO na casca de arroz. A Tabela 3 mostra o comparativo da qualidade entre o coque referência e o coque produzido com a participação da biomassa.

**Tabela 3 – Comparativo da qualidade do coque produzido na bateria n.1.**

Itens de qualidade	Coque da Rampa produzido com 100% do carvão médio volátil)	Coque da Rampa produzido com 94% do carvão médio volátil e 6,0% de casca de arroz
Tamanho médio (mm)	69,5	83,0
D.I. (150-15) (%)	84,7	85,0
Reatividade (%)	21,0	21,0
Teor de Enxofre (%)	0,60	0,49
Teor de Cinzas (%)	9,5	15,3

### 4.3 Resultados Obtidos no Simulador de Queima de Carvão

Conforme pode ser observado na Figura 12, os resultados obtidos no simulador de queima de carvões e misturas indicaram uma eficiência de queima menor para as misturas de carvões com a participação da BIO1, cujos valores foram inferiores aos resultados obtidos nas misturas com a participação da BIO2.



**Figura 12 – Resultados da eficiência de queima das misturas com casca de coco calcinada, farelo de soja crua e carvões minerais (tipos AV, MV e BV).**

A maior eficiência de queima na amostra com a participação da BIO2 se deve a grande presença de vazios na estrutura desse material quando comparado com a amostra queimada da mistura com a participação da BIO1.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no estudo da substituição parcial do carvão mineral por biomassa permitiram as seguintes conclusões:

- Testes como carvões de coqueria – Entre os materiais testados a biomassa que apresentou melhor resultado na qualidade do coque foi a BIO1 (casca de farelos de soja crua), onde permaneceu praticamente inalterada a Resistência Mecânica a Frio e a Reatividade, para um percentual de utilização em até 4,0%. A mistura com a participação da BIO4 (palha de arroz calcinada) em 6,0% produziu uma elevação significativa no tamanho médio (+16 mm), mantendo a resistência mecânica a frio do coque inalterada. O efeito negativo da palha de arroz calcinada foi a elevação no teor de cinzas do coque. Os testes em escala industrial confirmaram os resultados obtidos em escala piloto principalmente em relação ao tamanho médio do coque que aumentou em 13,5 mm.
- Testes no simulador de queima de carvão – Testes com amostras BIO1 (farelo de soja crua) e BIO2 (casca de coco calcinada) apresentaram diferentes resultados, sendo que para a BIO2 os resultados da eficiência de queima foram mais elevados devido ao fato deste material apresentar uma estrutura mais porosa do que a amostra com a biomassa BIO1. Os testes em escala industrial com misturas de carvões de uso no PCI e as biomassas BIO1 e BIO2 serão realizados no mês de Junho de 2007 no alto forno n.3 da CSN.

## REFERÊNCIAS

- 1 ALMEIDA, S. C. A e CLUA, E. W.G. “ Perspectivas do uso da Biomassa para a Geração descentralizada de energia no Mercosul”. Trabalho submetido ao Premio Mercosul de Ciência e Tecnologia, 2006.
- 2 RALPH P. OVEREND “Research and Development of Biomass Feedstocks for Non-Energy Multiple Uses” National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado 80401- USA.
- 3 SHIREY, G; AKERS, D; MARONDE CARL “ Production of a Composite Fuel From Coal and Biomass” Energy International Agency – Fev. 2003.
- 4 JOÃO ANTONIO MOREIRA PATUSCO “Matriz energética, energia na siderurgia visão presente e futura”. XXXVI Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas. VII Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 15/09/2006- Ouro Preto – MG.