

# CARACTERIZAÇÃO DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL PRODUZIDOS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL PARA USO EM BRIQUETES AUTORREDUTORES <sup>1</sup>

*Pedro Jorge Walburga Keglevich de Buzin* <sup>2</sup>

*Maurício Covceвич Bagatini* <sup>3</sup>

*Ivo André Homrich Schneider* <sup>4</sup>

*Antonio Cezar Faria Vilela* <sup>5</sup>

*Eduardo Osório* <sup>6</sup>

## **Resumo**

A produção e o processamento do carvão vegetal no estado do Rio Grande do Sul gera como principal resíduo uma fração de baixa granulometria constituída de finos de carvão vegetal. No presente trabalho traça-se um perfil do modelo de produção deste carvão nos principais municípios produtores do estado, bem como da geração de finos, e é feita uma avaliação de seu uso na reciclagem de rejeitos siderúrgicos. Análises de caracterização destes finos e ensaios realizados em laboratório com briquetes confeccionados com este resíduo e carepas, demonstraram a potencialidade de utilização dos finos de carvão vegetal como agente de redução carbotérmica de óxidos de ferro contidos em briquetes autorredutores.

**Palavras-chave:** Finos carvão vegetal; Briquetes autorredutores.

## **CHARACTERIZATION OF CHARCOAL FINES PRODUCED IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL FOR USE IN SELF-REDUCING BRIQUETTES**

### **Abstract**

The production and processing of charcoal in the state of Rio Grande do Sul generate as main waste a fraction of low granulometry consisting of charcoal fines. In this paper a profile of the production model of this charcoal in main producing towns for the state is traced, as well as the generation of fines, and an evaluation of its use is carried out on recycling siderurgical wastes. Characterization analysis of these fines and laboratory tests with briquettes made of this residue and iron oxides, demonstrate the potential use of charcoal fines as a reduction agent of iron oxides inside self-reducing briquettes.

**Key words:** Charcoal fines; Self-reducing briquettes.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Eng.º Quim., Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGEM; LEAMET; UFRGS, (Porto Alegre-RS)*

<sup>3</sup> *Eng.º Metal., MsC, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGEM; LASID; UFRGS, (Porto Alegre-RS)*

<sup>4</sup> *Dr., professor, Laboratório de Estudos Ambientais para Metalurgia, LEAMET; Depto. de Metalurgia, UFRGS, (Porto Alegre-RS)*

<sup>5</sup> *Dr.-Ing., professor, Laboratório de Siderurgia, LASID; Depto. de Metalurgia, UFRGS, (Porto Alegre-RS)*

<sup>6</sup> *Dr., professor, do Programa de Pós-Graduação em Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGEM; UFRGS, (Porto Alegre-RS)*

## 1 INTRODUÇÃO

A produção e o processamento do carvão vegetal no Estado do Rio Grande do Sul geram quantidades expressivas de finos que tem pouca aplicação. Na sua maior parte os finos gerados são simplesmente removidos dos locais de processamento e distribuídos sobre o solo das proximidades por não apresentarem mercado consumidor sustentável.

O incremento da produção siderúrgica nos últimos anos levou a um aumento proporcional na geração dos resíduos decorrentes desta atividade. O custo da destinação adequada, aliado à questão do valor agregado em vista do seu conteúdo metálico está levando à pesquisa e implementação de novas formas de recuperação destes resíduos siderúrgicos, inclusive gerando novos co-produtos para o mercado.

A briquetagem <sup>(1)</sup> é um processo de aglomeração de partículas, mediante a utilização de pressão e de aglutinantes, como forma de manter o aglomerado unido uma vez cessada a pressão de formação do elemento constituído, denominado briquete. Este processamento é de interesse para o presente caso, uma vez que permite o estabelecimento e manutenção de algumas das condições necessárias à realização das reações de redução dos óxidos de ferro das carepas.

O estado de fina divisão do agente de redução empregado no briquete favorece a utilização de fontes alternativas de carbono, tais como aproveitamento de subprodutos ou resíduos, bem como carvão proveniente de biomassa.

Portanto, o objetivo deste trabalho é caracterizar e verificar o potencial de utilização dos finos gerados no processamento de carvão vegetal da principal região produtora do estado do Rio Grande do Sul visando seu uso como agente de redução de óxidos de ferro contidos em briquetes autorredutores.

### 1.1 O Carvão Vegetal no Estado do Rio Grande do Sul

Diferentemente dos estados onde a maior demanda de carvão vegetal é direcionada à produção de ferro-gusa ou de outras aplicações metalúrgicas, no Rio Grande do Sul o mercado de carvão vegetal é focado principalmente na utilização do produto no preparo de alimentos, em especial do tradicional churrasco.

A produção de carvão vegetal no estado ainda se vale de processos tradicionais, com a utilização de fornos de alvenaria e tem como sua fonte principal de matéria-prima o florestamento de eucalipto (*eucalyptus spp.*) e de acácia negra (*Acácia mearnsii De Wild*). Na Figura 1 é apresentada uma foto de um forno característico da região.



Figura 1 – Forno de carbonização típico

Geograficamente, a produção de carvão vegetal concentra-se nas regiões do Vale do Caí, Vale do Taquari e no Baixo Jacuí.<sup>(2)</sup> Os municípios destas regiões têm um perfil fundiário composto em sua maioria de pequenas propriedades rurais. A produção de carvão geralmente emprega mão de obra familiar e por esta razão, os fornos de carvão encontram-se amplamente distribuídos nas localidades.

O processo de fabricação de carvão emprega fornos com capacidade normal de cerca de 8 m<sup>3</sup> a 10 m<sup>3</sup>. Existem fornos com capacidades maiores, porém são em menor número e geralmente estão sendo construídos por adaptação do produtor à Portaria SEMA 024/07, que, em princípio, limita a capacidade instalada em dois fornos por produtor. Esta Portaria complementa a de nº 03/95, que dispõe sobre os critérios e procedimentos para a localização e o licenciamento dos fornos de carvão vegetal no estado, editada em função da poluição atmosférica gerada pela atividade.

Os sistemas de produção variam um pouco conforme a região e o produtor. Em Brochier, que é o município de maior produção, é usual que grandes atacadistas comprem a lenha e a fornecerem aos produtores individuais, para que estes efetuem a tarefa de carbonizar a madeira nos seus fornos. Estes atacadistas remuneram a atividade de carbonização. Posteriormente, um caminhão vai recolher os sacos que contém o carvão bruto e os conduz a uma instalação central de beneficiamento.

O processamento do carvão acabado é bastante simples. Consta de um peneiramento para a retirada dos finos e eventualmente de pedaços de madeira não carbonizados. Na sequência, o carvão peneirado é embalado em sacos de 3 kg, 4 kg e 5 kg na maioria. Ocasionalmente e em carvões de menor qualidade, são feitas embalagens de 10 kg, que são encaminhadas a consumidores diversos, em especial forjarias. Este é o produto final.

O carvão vegetal é bastante friável, portanto durante as etapas de produção, estocagem, peneiramento e transporte, acabam sendo gerados finos em quantidade variável, em função do processamento e de fatores relacionados à matéria-prima empregada. Os finos retirados por peneiramento do carvão variam em percentual, sendo cerca de 8% a 10% da massa total produzida. Quanto à granulometria, os finos selecionados situam-se na fração menor de 10 mm, que é a malha de peneira utilizada pela maioria dos produtores. A retirada dos finos muitas vezes é executada diretamente após a retirada do carvão dos fornos, sendo remetido aos atacadistas o material já pré-processado.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia seguida para atingir os objetivos do presente trabalho se divide, essencialmente, em duas etapas: amostragem e caracterização dos finos de carvão vegetal e ensaios preliminares de redução.

### **2.1 Amostragem e Caracterização dos Finos de Carvão Vegetal**

Executou-se uma pesquisa setorial da atividade produtiva de carvão vegetal na principal região produtora do estado do Rio Grande do Sul, em banco de dados oficiais e através de pesquisa em campo. Amostras de finos de carvão vegetal foram coletadas de produtores, nos municípios de Brochier (A), Pareci Novo (B), Triunfo (C), Paverama (D) e Montenegro (E). Não foi possível determinar as espécies florestais que deram origem às amostras de finos de carvão, sendo mais provável que sejam uma mistura de material procedente de eucalipto e de acácia negra. Na

Figura 2 encontra-se delimitada no mapa do estado do RS a principal região produtora de carvão vegetal.



**Figura 2** – Mapa do RS indicando a principal região produtora.

Após as etapas de preparação (homogeneização, quarteamento e moagem), as amostras foram submetidas a uma série de análises de caracterização, conforme descrito a seguir:

- análise granulométrica: indica a distribuição por tamanho de partículas de uma determinada quantidade de material. Para isso utilizou-se a técnica de peneiramento com a seguinte distribuição de malhas: 8; 6,35; 4,75; 2,0; 0,84; 0,425; 0,35; 0,25; 0,149 e 0,074mm;
- análise Imediata: consiste na determinação dos teores de umidade, cinzas, matéria volátil e carbono fixo, sendo os resultados expressos em base seca (NBR 8112);
- enxofre total: combustão da amostra com detecção por infravermelho utilizando instrumental da LECO Corporation, modelo SC – 132;
- testes de reatividade ao CO<sub>2</sub>: Os testes de combustão e de reatividade ao CO<sub>2</sub> foram realizados numa termobalança Netzsch STA 409C. O equipamento, que consiste basicamente de um forno resistivo acoplado a uma balança analítica, com entrada superior e saída inferior para o fluxo gasoso, está detalhado num trabalho anterior.<sup>(3)</sup> A amostra é colocada num cadinho sustentado por um termopar conectado ao braço da balança, o que permite registrar a variação da massa em função da temperatura da amostra e do tempo de ensaio.

Esse equipamento nos permite estudar reações gás-sólido em que o acompanhamento da reação se dá através da variação de peso do sólido (o que caracteriza uma análise termogravimétrica).

Os testes de reatividade foram realizados na isoterma de 1.050°C durante 1h, numa vazão de 50ml/min de CO<sub>2</sub>.

A reatividade foi determinada através da equação da taxa,  $R = 1/m_0 (dm/dt)$ , onde R é a taxa de reação,  $m_0$  é a massa inicial desvolatilizada e m é a massa no instante de tempo t, em base seca e isenta de cinzas (bsic). A conversão ou percentual de fração convertida em gás pode ser expressa por  $X = (m_0 - m) / (m_0 - m_c)$ , onde X é a conversão,  $m_0$  é a massa inicial desvolatilizada,  $m_c$  é a massa das cinzas (bs) obtida no ensaio de TGA e m é a massa no instante de tempo em que a conversão é avaliada.

- Análise química do teor de fósforo das cinzas: a técnica utilizada foi a Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma (ICP).

## **2.2 Ensaios Preliminares de Redução**

Ensaios exploratórios de redução foram executados através da confecção de briquetes autorredutores utilizando-se finos de carvão vegetal procedentes do município de Brochier (amostra A) e de carepa proveniente de usina siderúrgica, ambos previamente cominuídos e acrescidos de agentes ligantes.

Optou-se num primeiro momento na utilização dos finos provenientes do município de Brochier em razão de ser a localidade que concentra a maior produção<sup>(4)</sup> e teor de cinzas inferior às demais amostras.

Os ensaios foram realizados em forno de mufla, mediante a utilização de um cadinho de grafita revestido internamente com massa refratária. Nesses ensaios, os briquetes foram carregados no cadinho previamente aquecido a 1200°C e mantidos nessa temperatura nos tempos de 10 minutos, 15 minutos, 20 minutos e 30 minutos. Os ensaios foram efetuados sob pressão e atmosfera ambiente.

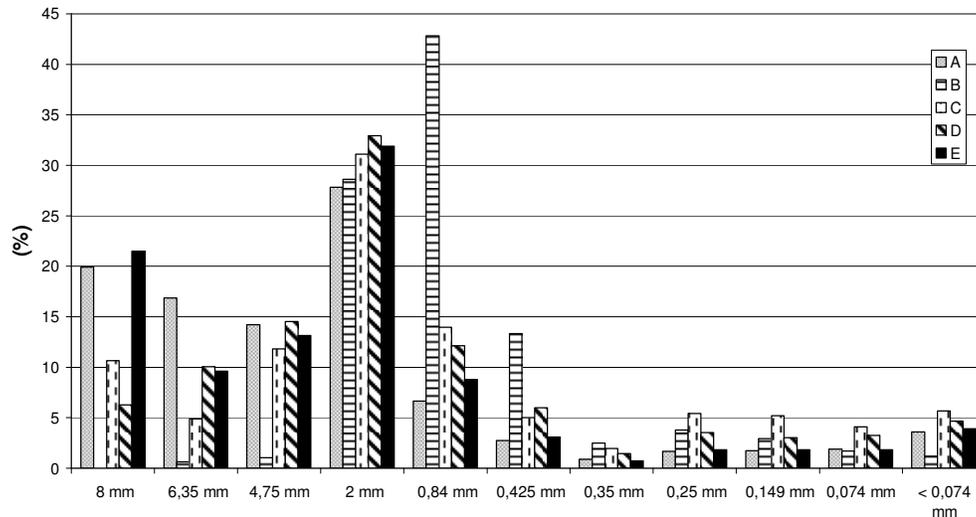
Após o término do tempo determinado para cada ensaio, o material remanescente foi submetido a resfriamento rápido em atmosfera de nitrogênio. Posteriormente, foram executadas análises químicas via úmida para obter-se o grau de metalização dos briquetes submetidos aos testes de redução.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

São apresentados a seguir os resultados obtidos através das análises de caracterização dos finos de carvão vegetal em estudo e os resultados referentes aos ensaios exploratórios de autorredução do briquete confeccionado com finos de carvão vegetal e carepa. Ao final deste item, tem-se ainda uma análise reflexiva da potencialidade de uso dos finos de carvão vegetal gerados no interior do RS bem como dados que informam a capacidade de fornecimento desta matéria-prima alternativa para o setor siderúrgico.

### **3.1 Caracterização dos Finos de Carvão Vegetal**

Na Figura 3 encontram-se os resultados da análise granulométrica das amostras de finos de carvão vegetal. Observar-se, nas amostras analisadas, um maior percentual em massa na faixa de 0,84 mm a 4,75 mm, bem como baixos percentuais nas faixas de granulometria mais finas.



**Figura 3** – Análise granulométrica dos finos de carvão vegetal.

Apesar de as amostras de finos de carvão vegetal apresentarem frações nas faixas de granulometria mais fina, a aplicação deste resíduo como agente de redução carbotérmica em briquetes autorredutores terá sua cinética favorecida mediante uma operação prévia de ajuste de granulometria (moagem).

Na Tabela 1 encontram-se os resultados da análise imediata das amostras de finos de carvão vegetal. Verifica-se teores de umidade entre 5% e 6% em média e uma relativa proximidade nos teores de matéria volátil e cinza nas amostras A, B, D e E. A amostra C apresentou teor de cinzas mais elevado que as demais e a consequente diminuição do teor de carbono fixo.

No caso da amostra C, a diminuição do carbono fixo e o maior percentual de cinzas implicam no uso de maior quantidade carvão como agente de redução nos briquetes autorredutores, para um mesmo efeito. Nesta situação, estes briquetes tem ainda diminuído o teor metálico e aumentado o de impurezas a serem escorificadas, implicando num maior consumo de escorificantes e de energia.

As diferenças observadas principalmente no teor de cinzas se devem mais à falta de um processamento padronizado da operação de carbonização e de manuseio dos carvões gerados do que em função da matéria-prima empregada.

**Tabela 1 – Análise imediata dos carvões A, B, C, D e E.**

Amostras	U (%)	MV <sub>bs</sub> (%)	Cz <sub>bs</sub> (%)	Cfixo <sub>bs</sub> (%)
<b>A</b>	6,35	19,66	9,65	70,70
<b>B</b>	5,73	18,61	10,94	70,45
<b>C</b>	5,91	14,33	25,03	60,63
<b>D</b>	4,77	19,81	12,77	67,41
<b>E</b>	5,05	18,87	14,19	66,94

U = umidade; MV<sub>bs</sub> = matéria volátil em base seca; Cz<sub>bs</sub> = cinzas em base seca; Cfixo<sub>bs</sub> = carbono fixo em base seca

Na Tabela 2 observam-se os teores de enxofre presentes nos finos de carvão e de fósforo contido nas cinzas. Fósforo e enxofre são elementos deletéreos na maioria das ligas de aço empregadas. Com relação ao teor de enxofre verificado nas amostras, os valores obtidos se mostraram satisfatórios para o emprego como agente redutor em processos de fabricação de ferro e aço. Com relação ao fósforo, as amostras A e D foram respectivamente a mais pobre e a mais rica entre os finos

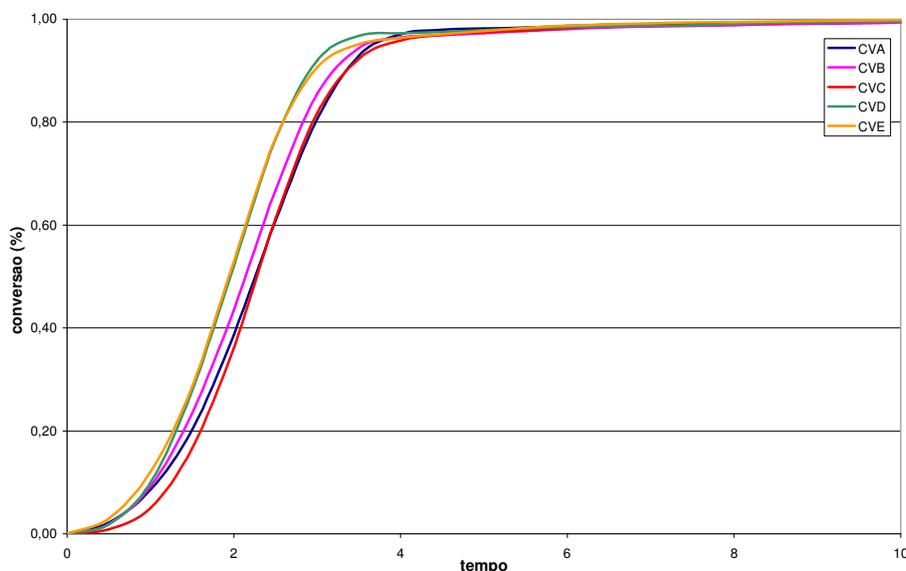
de carvão vegetal analisados. Entretanto, estes valores são aceitáveis para uso siderúrgico, considerando a origem desta fonte de carbono.

**Tabela 2** - Análise dos elementos fósforo nas cinzas e enxofre nas amostras dos carvões

Amostra	S(%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
A	0,059	0,5
B	0,062	0,92
C	0,174	0,85
D	0,076	1,80
E	0,084	1,28

A seguir estão os resultados de reatividade ao CO<sub>2</sub> das amostras de finos de carvão vegetal. A Figura 4 mostra as curvas de conversão em função do tempo de reação enquanto a Tabela 3 apresenta a reatividade máxima ao CO<sub>2</sub> e os tempos de conversão (tempo máximo de conversão e o tempo de 50% de conversão).

A Figura 4 evidencia o comportamento similar das amostras com relação ao ensaio de reatividade ao CO<sub>2</sub>. Observa-se que os valores de reatividade (Tabela 3) das amostras encontram-se bastante próximos entre si, mesmo para a amostra C, que apresentou certa distinção com relação às demais devido ao seu elevado teor de cinzas. As pequenas diferenças verificadas com relação aos valores de reatividade máxima e aos tempos de conversão são irrelevantes, já que estas variações estão dentro do erro experimental da análise.



**Figura 4** - Curvas de reatividade ao CO<sub>2</sub> das amostras de finos de carvão vegetal.

É importante salientar também, com relação a reatividade máxima, que os valores obtidos com os finos de carvão vegetal em estudo são superiores àqueles normalmente encontrados em carvões minerais. Dessa forma, é possível afirmar que os finos de carvão vegetal são agentes redutores mais adequados quando se almeja atingir uma elevada cinética de redução, como é o caso dos briquetes autorredutores.

**Tabela 3** - Resultados dos testes de reatividade ao CO a 1.050 ° C por TGA

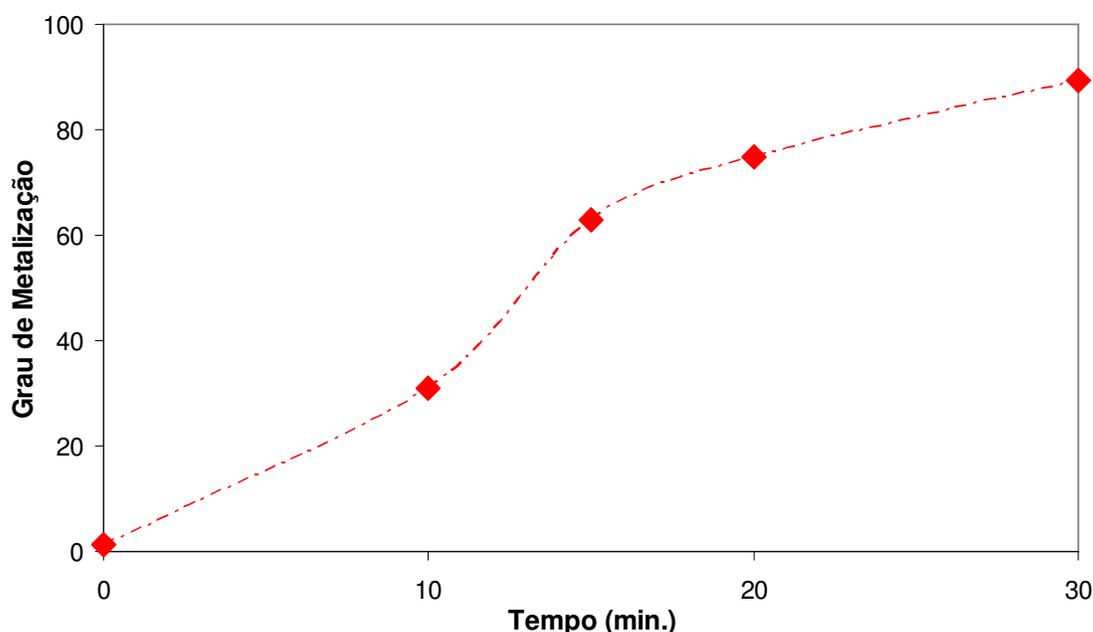
Amostra	$R_{\text{máx}}$ bsic ( $\text{min}^{-1}$ )	$t_{\text{máx}}$ (min)	$t_{\text{C50\%}}$ (min)
A	0,405	2,5	2,3
B	0,414	2,5	2,1
C	0,442	2,5	2,3
D	0,422	2,5	2,0
E	0,442	2,0	1,9

### 3.2 Ensaio Preliminares de Redução

A curva representativa dos ensaios exploratórios de redução está apresentada na Figura 5. Os ensaios de redução produziram resultados satisfatórios num primeiro momento, atingindo um máximo de 89,2% de taxa de conversão de ferro oxidado em metálico em 30 minutos na temperatura de 1.200°C.

Note-se que mesmo sem o ajuste da qualidade dos materiais constituintes obteve-se um grau de metalização dos briquetes ensaiados próximo a 90%.

A despeito da redução obtida, busca-se na sequência deste trabalho a obtenção de briquetes com tempos menores de redução, que é uma das características da tecnologia da autorredução.



**Figura 5** – Gráfico ensaios de redução.

Com referência a uma estimativa do volume aproximado da geração destes finos de carvão vegetal, verificou-se através de pesquisa junto ao setor produtivo que nas regiões produtoras de carvão vegetal do Vale do Caí, Vale do Taquari e no Baixo Jacuí, no estado do Rio Grande do Sul, existem cerca de 3.000 fornos em atividade. A produção de carvão estimada é de 6.000 t/mês a 8.000 t/mês. A geração de finos de carvão vegetal decorrente pode atingir cerca de 500 t/mês a 800 t/mês.

Pelo fato do beneficiamento final e do empacotamento ser executado em instalações maiores ou centralizadas, existe a possibilidade da coleta dos finos, bem como um melhor controle sobre sua qualidade e granulometria.

Fatores logísticos também favorecem o aproveitamento dos finos de carvão vegetal, uma vez que os municípios produtores encontram-se próximos entre si, e em relação ao parque industrial, possível consumidor deste resíduo, existente na grande Porto Alegre (num entorno de até 100 km).

#### **4 CONCLUSÃO**

Os resultados demonstraram que os finos de carvão vegetal gerados no estado do Rio Grande do Sul possuem características que o habilitam ao uso potencial como elemento de redução carbotérmica em briquetes autorredutores, tanto em função das quantidades disponíveis, como por sua eficiência na redução de óxidos de ferro. Entretanto, para o uso destes finos tornam-se necessários estudos específicos conforme o processo siderúrgico que vá utilizá-los.

Finalmente, o uso e valorização deste resíduo de finos de carvão vegetal pode proporcionar uma renda extra à cadeia produtiva do carvão vegetal, com ganho social e ambiental associado.

#### **Agradecimentos**

Os autores Pedro Buzin e Maurício Bagatini agradecem ao CNPq e a CAPES pela concessão das respectivas bolsas de estudo.

#### **REFERÊNCIAS**

- 1 CARVALHO, A. E.; BRINK, V. Briquetagem – Comunicação técnica elaborada para a 4ª edição do livro Tratamento de Minérios, 2004, p 613-636.
- 2 ROHDE, G. M., Carvão vegetal no Estado do Rio Grande do Sul, In: Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul, disponível em <http://www.scp.rs.gov.br/atlas/default.asp>., acesso em 12 dez 2008.
- 3 GOMES, M.L.I.; OSÓRIO, E.; VILELA, A.C.F. Estudos preliminares da viabilidade técnica da utilização de carvões gaúchos para PCI. In: Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas, Vitória, 2002. Anais. ABM, 2002. v.1, p.209-217.
- 4 ENCARNAÇÃO, F. Redução do impacto ambiental na produção de carvão vegetal e obtenção de ácido pirolenhoso como alternativa para proteção de plantas. In: Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentavel, Porto Alegre, v.2, nº 4, out/dez. 2001 p. 20-23.
- 5 BRANCO, W. T., Sistemas de combustão para carvão vegetal pulverizado, In: Produção e utilização de carvão vegetal – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1982, p 220.
- 6 MATOS, M.: RIOS, C. A., Reatividade do carvão vegetal, In: Produção e utilização de carvão vegetal – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1982, p 93-111..
- 7 D'ABREU, J. C.: OLIVEIRA, L. F. R.; BENTES, M. A. G. Auto-redução de briquetes de resíduos siderúrgicos. In: XXX Seminário de redução de Mineiro de ferro, Belo Horizonte, 1999. Anais p 441-450
- 8 CUNHA, A. F.: MOL, M. P. G.: MARTINS, M. E.: ASSIS, P. S. Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos, Escola de Minas, Ouro Preto, jan/mar 2006 p 111-116
- 9 NASCIMENTO, R. C.: LENZ, G.: MARTINS, D.: TAKANO, C.: MOURÃO, M. B. The Carbonthermic reduction of self-reducing briquetes containing wastes from blast furnace and bof sludges. In: V Japan-Brazil Symposium on Dust Processing-Energy-Environment in Metallurgical Industries. Vitória, 2004, Anais p 507-516