

1. Introdução

A busca por novos métodos para a produção de aço, visando à redução de emissões de CO e consumo de energia, tem gerado várias pesquisas no mundo. O Japão, em especial, vem pesquisando uma nova técnica, a qual consiste em produzir coque de alto-forno com elevada reatividade, através de aglomerados de coque e ferro, os quais são chamados de Ferro-Coque. Esses estudos apontam que o uso de tais aglomerados pode melhorar a eficiência de redução nos altos-fornos, levando a uma redução global do consumo de combustível para a produção de ferro gusa.

2. Objetivos

Descrever a produção dos aglomerados de ferro-coque e identificar as propriedades mais relevantes dos carvões minerais na qualidade dos briquetes gerados.

3. Materiais e Métodos

3.1. Misturas e o processo de briquetagem

Para a produção dos aglomerados (briquetes), foram utilizados 3 carvões minerais: MR, ZF e QS (Tabela 1). Os carvões foram misturados com minério de ferro, ligante (melaço e CaO) e carvão vegetal (Tabela 2), sendo os briquetes produzidos em uma briquetadeira de rolos laboratorial (Figura 1).

	MV	Cz	Cfixo	C	H	N	S	O	Fmax	Rr TV	Vit	Ine	Lip
	% (base seca)								ddpm	%	Vol % imm		
MR	32,7	3,3	64,0	82,52	4,92	1,35	0,57	7,34	8	0,82	68,9	27,5	3,6
ZF	23,4	7,3	69,3	82,6	4,38	1,31	0,52	3,88	93	1,14	64,5	33,0	2,5
QS	18,9	11,6	69,5	79,29	4,33	1,89	2,35	0,53	24	1,35	70,6	29,4	0,0
CV	22,4	4,3	73,4	78,96	2,7	0,64	0,03	13,4					

Tabela 1 – Propriedades dos carvões utilizados.

Misturas	Minério de ferro			Carvão			Ligante		
	Fe Total	O redutível	Ganga	VM	CF	Cinza	CaO	Melaço	H ₂ O
BMR	18,3	7,5	1,3	20,2	40,9	2,1	2,4	2,4	4,8
BZF	18,3	7,5	1,3	14,8	44,1	4,5	2,4	2,4	4,8
BQS	18,3	7,5	1,3	12,1	44,2	7,0	2,4	2,4	4,8
Total		27,1%			63,3%				9,6%

Tabela 2 – Composição das misturas para a briquetagem.

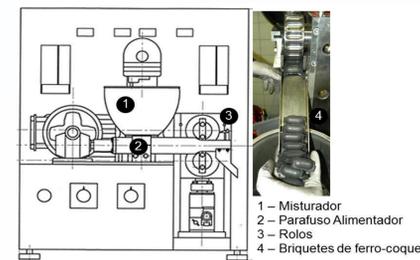


Figura 1 – Briquetadeira de rolos utilizada na fabricação dos briquetes.

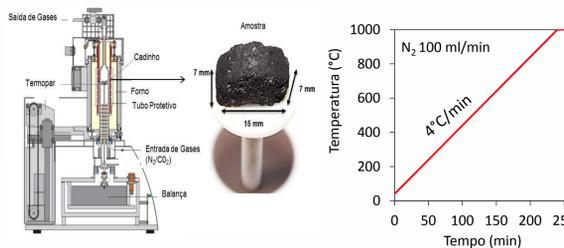


Figura 2 – Termobalança e perfil térmico do teste de carbonização.

3.2. Carbonização dos briquetes em termobalança e forno laboratorial

Para se conhecer o comportamento dos briquetes durante os processos de carbonização, foi feito o aquecimento, em atmosfera inerte, de um pedaço de briquete em termobalança (Figura 2).

Uma carga de 20 briquetes foi colocada na retorta metálica, sendo posteriormente adicionada ao forno elétrico laboratorial (Figura 3). O aquecimento da carga foi feito em atmosfera inerte de N₂, seguindo o perfil térmico da Figura 4. Os briquetes foram produzidos a partir de três temperaturas finais: 400 (etapa pré-plástica), 600 (semi-coque) e 1000°C (coque).

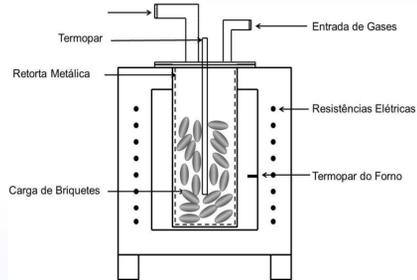


Figura 3 – Forno elétrico e retorta para carbonização dos briquetes.

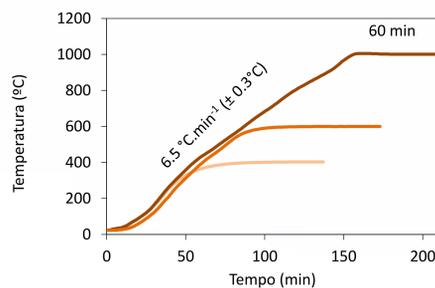


Figura 4 – Perfil térmico de aquecimento

3.3. Avaliação dos briquetes

3.3.1. Análise Estrutural

A morfologia dos briquetes, antes e após a carbonização, foi avaliada via microscopia ótica e eletrônica de varredura.

3.3.2. Resistência Mecânica

Os briquetes antes e após a carbonização, foram submetidos a teste de resistência mecânica em uma máquina de ensaio universal e em tambor do Tipo-I, utilizando uma carga de 10 briquetes (antes e após carbonização em 1000°C) e medindo o índice I10.

4. Resultados

As curvas e picos de perda de massa e taxa de perda de massa observadas (Figura 5 e Figura 6) durante a carbonização revelam 6 diferentes etapas:

1. Perda de umidade
2. Perda do ligante orgânico
3. Perda dos voláteis do carvão
4. Redução dos óxidos Fe₂O₃/Fe₃O₄ → FeO
5. Redução do óxido FeO → Fe⁰
6. Briquete de Ferro-Coque

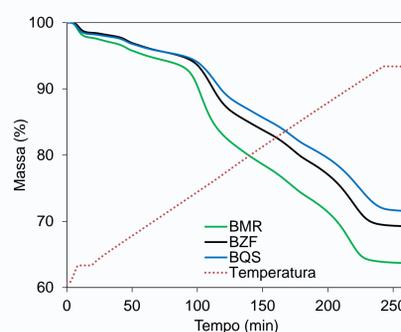


Figura 5 - Perda de massa durante a carbonização dos briquetes em termobalança.

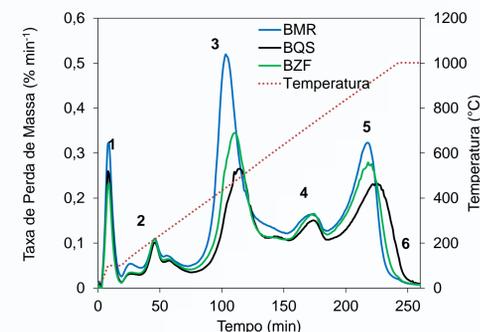


Figura 6 - Taxa de perda de massa durante a carbonização dos briquetes em termobalança.

O aumento da temperatura de carbonização produziu briquetes com estruturas mais coesas (Figura 7). O grau de coesão dos briquetes foi melhor para amostras produzidas com carvões de alta fluidez (Figura 8).

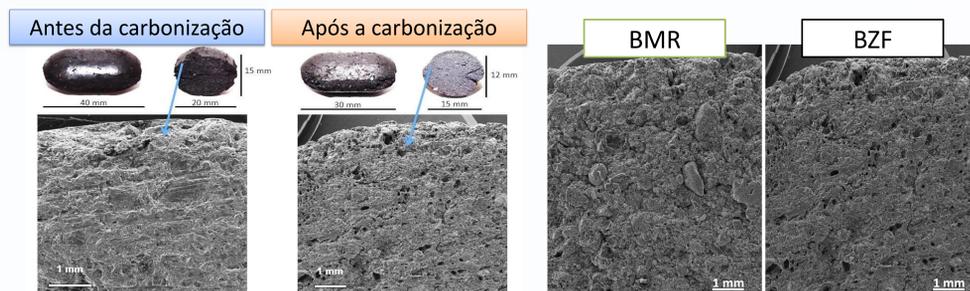


Figura 7 - Aparência externa e interna dos briquetes a) antes (esquerda) e após (direita) a carbonização em temperatura de 1000°C.

Figura 8 – Diferenças visualizadas no grau de coesão da matriz, entre carvões com diferentes fluidez.

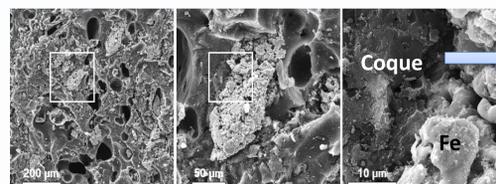
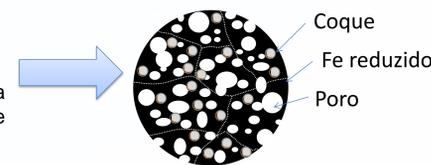


Figura 9 - Micrografias obtidas em MEV para a amostra BZF-1000°C, mostrando a interação do ferro formado e da matriz de coque após a carbonização.

No briquete produzido com o carvão de mais alta fluidez (ZF), o coque formado atuou como ligante para as partículas de ferro reduzido (Figura 9).



A carga de ruptura dos briquetes não carbonizados e carbonizados em T = 400°C foi semelhante (Figura 10). Com o aumento da temperatura (600 e 1000°C), houve aumento da resistência devido a transformação plástica dos carvões, segunda desvolatilização e aumento da organização estrutural.

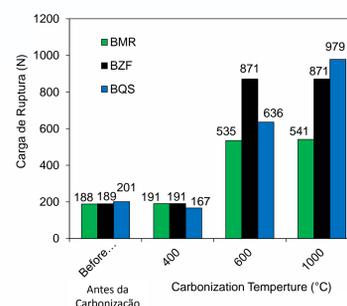


Figura 10 - Resistência à compressão dos briquetes de Ferro-Coque.

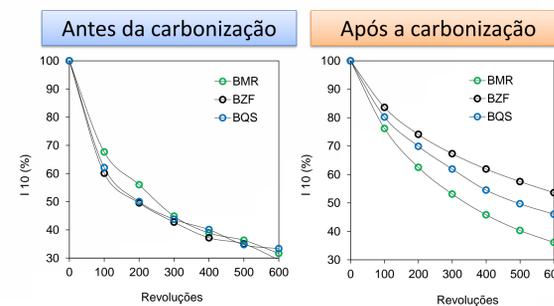


Figura 11 - Resistência ao tamboramento dos briquetes de Ferro-Coque, a) não carbonizados; b) carbonizados em 1000°C.

Os briquetes antes da carbonização apresentaram resistência semelhante a tamboramento (Figura 11a). Após a carbonização em 1000°C houve aumento da resistência mecânica dos briquetes com diferenças importantes com relação ao tipo de carvão utilizado. Carvões de maior fluidez produziram briquetes mais resistentes ao tamboramento.

5. Conclusões

- O estudo demonstrou que foi possível produzir briquetes de ferro-coque em laboratório;
- As características morfológicas revelaram diferenças importantes entre os diferentes briquetes testados;
- O grau de coesão dos briquetes foi melhor para as amostras produzidas com carvões de mais alta fluidez;
- A resistência mecânica dos briquetes mostrou uma dependência importante, com a temperatura e tipo de carvão utilizado. A resistência dos briquetes de Ferro-Coque foi mais alta para amostras produzidas com carvões de mais alta fluidez.