

## SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE ANTRACITO POR CARVÕES VEGETAIS NA PELOTA CRUA DE MINÉRIO DE FERRO\*

Gustavo Eduardo Praes<sup>1</sup>  
Leandro Rocha Lemos<sup>2</sup>  
Roberto Parreiras Tavares<sup>3</sup>  
José Dimas de Arruda<sup>4</sup>  
Caio Cardoso Ferreira Victor<sup>5</sup>

### Resumo

Este trabalho foi patrocinado pela Samarco Mineração, interessada em desenvolver tecnologias alternativas, para a substituição parcial de finos de carvão mineral antracito por carvões vegetais. Realizaram-se testes de queima de pelotas de minério de ferro com o objetivo de substituir o carbono equivalente do carvão mineral, parcialmente, por quantidade equivalente de carbono fixo do carvão vegetal, especificado para cada teste, em função do teor de voláteis. Assim, mantendo o teor de carbono fixo da pelota crua em 1,0% em massa, em base seca, da mistura (minério de ferro, bentonita, calcário e carvão). Foram comparadas as pelotas padrões (produzidas exclusivamente com o carvão mineral) com as pelotas produzidas com a mistura de carvão mineral e o carvão vegetal de eucalipto. A comparação restringiu-se às propriedades físicas das pelotas consideradas mais relevantes pela Samarco Mineração S.A., isto é: resistência à compressão, tamboramento (% em massa retido em 6,3mm) e a abrasão (% em massa passante em 0,5mm). Os resultados obtidos mostram que quando comparados ao padrão do teste, houve sucesso em substituir pelos menos 10,0% do carvão mineral por carvão vegetal de eucalipto repirolizado (teor de voláteis de 11,14%), e de forma similar 7,5% em massa do mesmo carvão, sendo substituído por carvão vegetal de eucalipto (teor de voláteis de 25,98%).

**Palavras-chave:** Finos de Carvão Mineral Antracito; Carvão Vegetal de Eucalipto; CO<sub>2</sub>; Forno de Grelha Móvel.

### PARTIAL REPLACEMENT OF ANTHRACITE BY CHARCOAL IN GREEN IRON ORE PELLETS

#### Abstract

This work was sponsored by Samarco Mineração, interested in alternative and biofuel energy, for the partial replacement of anthracite coal fines. Tests were carried out to burn iron pellets with the same amount of the fixed carbon content as when using only the mineral coal fines. In those tests coal should be replaced, partially, for a same amount of charcoal, according its specified volatile content. Thus, the carbon content is maintained at the 1.0% by mass of the dry basis of the mixture (iron ore, bentonite, lime and coal) were compared with the pellets produced with the mineral coal mixture and the eucalyptus charcoal. The comparison was restricted to the physical properties of the pellets considered more relevant by Samarco Mineração S.A.: compressive strength, tumble index (retained at 6.3mm) and abrasion (passing through at 0.5mm). The results obtained show that when compared to the test standard, there was success in replacing at least 10.0% of charcoal with repirolized eucalyptus charcoal (volatile in 11.14%), and similarly 7.5% of the same charcoal, being replaced by eucalyptus charcoal (volatile content of 25.98%).

**Keywords:** Anthracite Fines in Bulk; Eucalyptus Charcoal; CO<sub>2</sub>; Travelling Grate Indurating Machine.

\* 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.

- <sup>1</sup> *Engenheiro Químico, Mestre Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, pela Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. Email: gustavopraes@yahoo.com.br*
- <sup>2</sup> *Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. Email: leandrorocha@demet.ufmg.br*
- <sup>3</sup> *Professor Titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. Email: rtavares@demet.ufmg.br*
- <sup>4</sup> *Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. Email: jdimasarrudaem@yahoo.com.br*
- <sup>5</sup> *Graduando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. Email: caiovictor2102@gmail.com*

## 1 INTRODUÇÃO

Devido às emissões de CO<sub>2</sub> durante o processo de pelletização de minério de ferro, desenvolveram-se pesquisas tecnológicas no Brasil para o uso de biomassa na pelletização de minério de ferro. Os possíveis ganhos com o uso de carvão vegetal são:

- Redução das emissões de CO<sub>2</sub> por tonelada de pelotas produzidas;
- Aumento da concorrência em relação ao carvão mineral antracito na indústria de pelletização de minério de ferro, em função do desenvolvimento técnico de um combustível alternativo a esse;
- O carvão vegetal pode representar um ganho em termos de licença social (SBC, 2013) para a mineração de ferro, em especial a pelletização, em função de possível distribuição de renda, geração de empregos, substituição de importações de carvão mineral por produção local e desenvolvimento tecnológico. Em Minas Gerais, para a produção de 8.732.920m<sup>3</sup> de carvão vegetal destinados à siderurgia, foram gerados 60.840 empregos (SINDIFER, 2014). Além disso, há oportunidade de um aumento de renda do produtor rural, em função do elevado retorno financeiro do plantio de eucalipto para produção de carvão vegetal, quando comparado às demais alternativas agrícolas[1,2];
- O plantio de eucalipto em grande escala, através de fomento agrícola, recupera áreas degradadas, traz o benefício ambiental das florestas e diminui a pressão por derrubada de matas nativas e abertura de novas áreas para atividades agrícolas [3].

Em busca destes benefícios, este estudo tem como foco abordar exclusivamente a substituição parcial de carvão mineral (finos de antracito, com teor de voláteis entre 10,17% e 12,30%) na pelota crua por diferentes carvões vegetais de eucalipto com diferentes teores de voláteis (entre 9,37% e 25,98%). Os resultados deste estudo foram, exclusivamente, uma avaliação das propriedades físicas (resistência à compressão, degradação mecânica, ensaios de tamboramento/abrasão) das pelotas após a queima pela mistura dos dois combustíveis: finos de carvão mineral antracito e carvão vegetal de eucalipto.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e métodos

Para o estudo da adição de carvão vegetal de eucalipto na pelota crua, foi separada uma amostra de *pellet feed* da Samarco Mineração S.A. Além deste, foram coletados os aditivos: calcário, bentonita, finos de carvão mineral antracito e o carvão vegetal de eucalipto. O *pellet feed*, a bentonita e o calcário foram utilizados nos testes de laboratório conforme coletados, isto é, não foram submetidos nem a moagem e secagem. Os finos de carvão mineral antracito foram submetidos à secagem e a moagem. O carvão vegetal teve metade da amostra submetida à repirólise no laboratório de pesquisa e, posteriormente todas as amostras de carvão

vegetal foram submetidas à moagem. Por fim, os insumos estavam prontos para a mistura, pelletamento e testes de queima.

Para a caracterização das amostras de *pellet feed*, calcário, bentonita, finos de carvão mineral antracito, carvão vegetal e pelotas queimadas realizaram-se análises químicas, para determinação dos elementos químicos, e físicas (determinação da faixa granulométrica e umidade).

O Fe total foi determinado através de análise química via úmida, o enxofre e o carbono foram determinados via espectroscopia do infravermelho (LECO). O PCI (Poder Calorífico Inferior) foi determinado através do calorímetro da marca Perkin Elmer. Os demais elementos e óxidos foram determinados utilizando a espectroscopia de emissão atômica (ICP – Plasma de acoplamento indutivo) da marca CIROS. As análises termogravimétricas dos combustíveis foram realizadas no analisador termogravimétrico da NavasInstruments.

A Figura 1 apresenta um fluxograma da metodologia do processamento do minério até a obtenção da pelota queimada. É apresentado o fluxo simplificado do processo de pelletização de minério de ferro juntamente com os ensaios laboratoriais e procedimentos necessários, para que a produção de pelotas em laboratório ocorresse da forma adequada. Primeiramente, foram feitas análises químicas com as matérias-primas, seguidos de balanços de massa, estabelecendo dosagens para cada teste. Posteriormente foi realizada a mistura, o pelletamento e a queima das pelotas. As pelotas foram submetidas à análise química e aos ensaios físicos (normas: ISO3271:2007 -Tamboramento e Índice de Abrasão [4]; e ISO4700:2007 - Resistência à Compressão [5]).

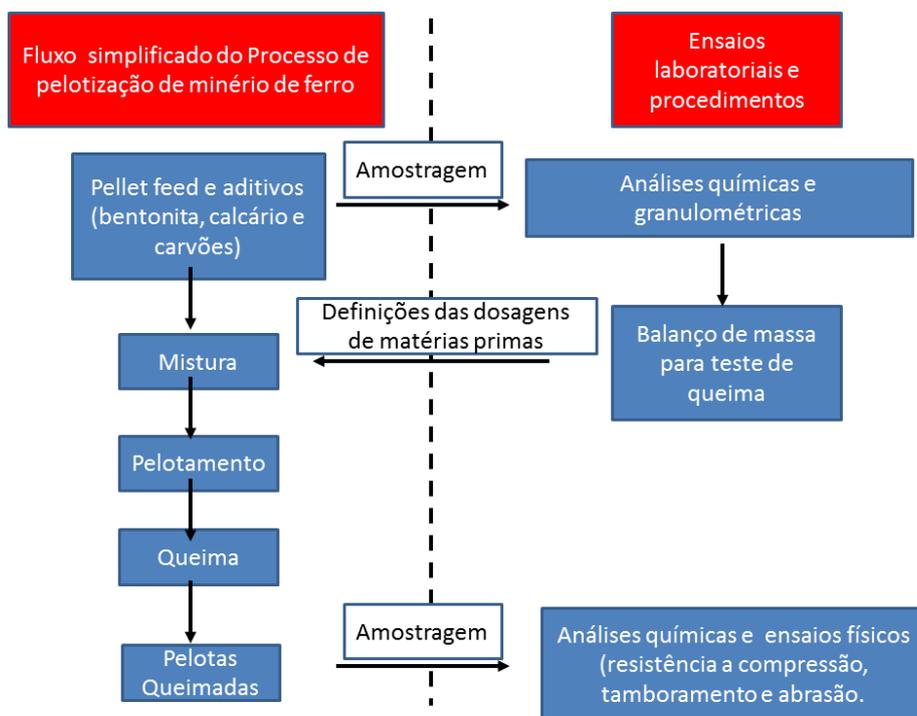


Figura 1. Metodologia simplificada dos testes de queima.

Foram realizados balanços de massa para a produção de pelotas de alto-forno, para os sete testes de misturas diferentes. O resultado de cada balanço determinou qual deveria ser a porcentagem de massa de cada insumo para cada teste de queima. Os balanços de massa determinavam atingimento das seguintes metas:

- A dosagem de calcário deveria obter um percentual de 0,85% de CaO na pelota queimada;
- A dosagem de carbono fixo nos testes de 1 a 7 deveria atingir 10 kg por tonelada da soma de todos os componentes da mistura em base seca;
- O aglomerante foi a bentonita, utilizando 5,0 kg/t de pelotas em base seca na alimentação.

As misturas de *pellet feed* com os aditivos foram preparadas em um misturador Eirich modelo R-08W. Opelotamento foi realizado em um disco piloto. A Samarco Mineração S.A. possui um sistema de *potgrate* piloto que simula o forno de pelletização de acordo com o perfil térmico desejado.

## 2.2 Resultados e discussões

O *pellet feed* utilizado nas misturas foi um material típico da operação da mineradora. A sua composição química é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Parâmetros químicos do *pellet feed* utilizado nas misturas

% H <sub>2</sub> O	% Fe total	% FeO	% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% CaO	% MgO	% P	PPC (%)	Basic. Binária*
10,6	66,25	1,63	1,38	0,33	0,1	0,08	0,049	3,28	0,07

\*A basicidade binária: %CaO/%SiO<sub>2</sub>.

As dosagens dos insumos efetivamente utilizadas nos testes estão apresentadas na Tabela 2:

**Tabela 2.** Dosagens dos insumos nas misturas para a produção de pelotas verdes (base seca)

Teste	Finos de Carvão Mineral antracítico (kg)	Carvão Vegetal de Eucalipto (kg)	Carvão Vegetal repirolisado (kg)	Bentonita (kg)	Calcário (kg)	<i>Pellet feed</i> (kg)	Total (kg)
1*	1,86	-	-	0,67	1,81	129,31	133,65
2	1,74	0,13	-	0,67	1,81	129,23	133,58
3	1,72	-	0,13	0,67	1,82	129,35	133,69
4	1,67	0,18	-	0,67	1,82	129,33	133,67
5	1,68	-	0,17	0,67	1,81	128,77	133,10
6	1,19	0,65	-	0,67	1,81	128,7	133,1

						8	0
7	1,19	-	0,64	0,66	1,78	126,6 8	130,9 5

A Tabela 2 apresenta a aplicação efetiva da metodologia (Porcentagem dos insumos programada para cada mistura - peso seco). Em especial, estas dosagens de insumos precisavam atingir os valores alvo de processo, isto é, 10 kg carbono fixo/tde mistura seca, 0,85% em massa de CaO na pelota crua seca e 5,0 kg de bentonita/tde mistura seca.

O primeiro teste da Tabela 2 é o padrão. Este teste produziu o produto regularmente comercializado pela Samarco, por isto as propriedades (físicas e metalúrgicas) alcançadas pelas pelotas queimadas neste teste 1 são relevantes. O teste 1, como mostrado na Tabela 2, foi produzido apenas com finos de carvão mineral antracito, que visa ser parcialmente substituído neste estudo.

A análise imediata, poder calorífico e teor de enxofre dos carvões coletados após a moagem são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Análise imediata, poder calorífico e teor de enxofre. % em massa

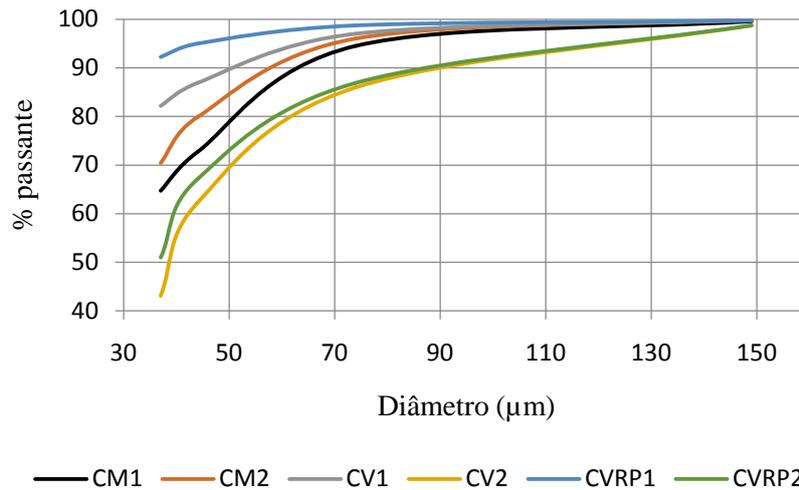
Carvão (Teste)	Carbono fixo (%)	Voláteis (%)	Cinzas (%)	Poder calorífico inferior (cal/g)	S (%)
CM1 (1 a 5)*	72,08	10,17	17,75	6676	0,89
CM2 (6 a 7)*	70,03	12,30	17,67	6564	0,90
<b>Média CMs</b>	<b>71,06</b>	<b>11,24</b>	<b>17,71</b>	<b>6620</b>	<b>0,90</b>
CV1 (2 e 4)**	72,81	25,98	1,21	7052	0,03
CV2 (6)**	77,88	20,32	1,80	7312	0,03
<b>Média CVs</b>	<b>75,35</b>	<b>23,15</b>	<b>1,51</b>	<b>7182</b>	<b>0,03</b>
CVRP 1 (3 e 5)***	86,93	11,14	1,93	7801	0,03
CVRP 2 (7)***	86,79	9,37	3,84	7721	0,12
<b>Média CVRPs</b>	<b>86,86</b>	<b>10,26</b>	<b>2,89</b>	<b>7761</b>	<b>0,08</b>

\*Finos de carvão mineral (CM1 e CM2), utilizados nos testes de 1 a 7.

\*\* Carvão vegetal (CV1 e CV2), utilizados nos testes 2, 4 e 6.

\*\*\* Carvão vegetal repirolisado (CVRP1 e CVRP2) utilizado nos testes 3, 5 e 7.

A distribuição granulométrica dos seis carvões utilizados nas misturas para queima é apresentada na Figura 2.



**Figura 2.** Distribuição granulométrica dos carvões utilizados nas sete misturas.

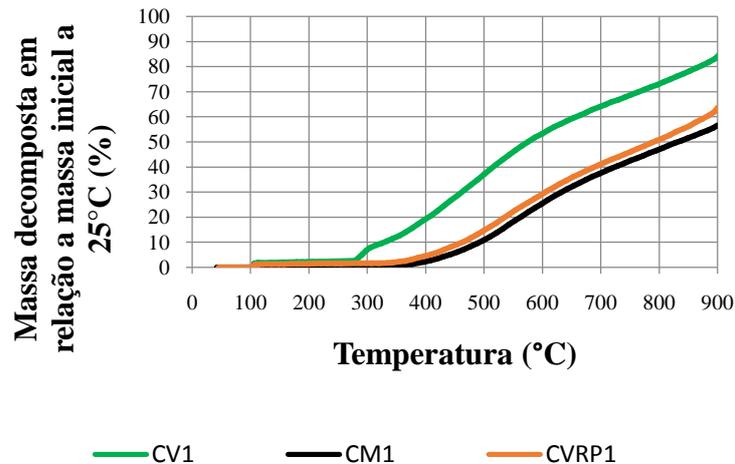
Tomando-se como referência a fração passante em 44 µm, os valores encontrados para os seis carvões, CVRP1, CV1, CM2, CM1, CVRP2, CV2 foram, 95,0%, 86,9%, 79,9%, 72,7%, 67,1% e 62,3% respectivamente. Como serão apresentados nos resultados físicos das pelotas queimadas, as pelotas produzidas com carvão vegetal e carvão vegetal repirolisado, com passante em 44µm maior que 86,9%, apresentaram os melhores resultados. Isto está relacionado à hipótese de melhor distribuição térmica dentro da pelota, conforme apresentado pelo estudo de Tôrres et al. [2]. Nesse estudo, carvão de biomassa (resíduo pirolisado de curtume de couro) com granulometria passante de 88,8% em 44µm melhorou o processo de queima de pelotas, em função de uma melhor distribuição de energia.

Em relação aos percentuais dosados dos carvões, a Tabela 4 mostra o percentual efetivo da carga energética (contribuição térmica) para cada combustível aplicado em cada um dos sete testes. Trata-se da distribuição da contribuição energética de dentro da pelota.

**Tabela 4.** Participação percentual da contribuição energética exclusiva das misturas para a realização dos testes de queima

Teste	CM (%)	CV (%)	CVRP (%)
1	100,0	-	-
2	92,4	7,6	-
3	91,8	-	8,2
4	89,3	10,7	-
5	89,3	-	10,7
6	61,8	38,2	-
7	61,3	-	38,7

Em relação à curva termogravimétrica, foi identificado um comportamento distinto entre carvão vegetal (CV), os finos de carvão mineral antracito (CM) e o carvão vegetal repirolisado (CVRP), utilizados nos testes de um a sete. Este comportamento é mostrado na Figura 3.



**Figura 3.** Curva termogravimétrica percentual dos carvões utilizados nos testes de 1 a 5.

O primeiro combustível a se decompor a uma temperatura mais baixa é o CV1, seguido pelo CVRP1 e por último o CM1, em temperaturas iniciais de decomposição de 279°C, 355°C e 365°C respectivamente. Nota-se que para um mesmo percentual de massa decomposto, entre 200° e 900°C, a decomposição térmica de uma mesma quantidade de massa do CV1 em relação ao CM1 ocorre em uma temperatura de aproximadamente 150 a 200°C menor. A decomposição térmica do CVRP1 ocorre em temperatura mais próxima ao do CM1, sendo que entre 200° e 900°C a decomposição de uma mesma quantidade de massa do CVRP1 em relação ao CM1 ocorre em temperatura aproximadamente 40°C menor. Estas diferenças de temperatura para uma mesma perda de massa mantem-se, aproximadamente, as mesmas na faixa de temperatura entre 300 – 900°C.

No processo padrão, utilizando apenas finos de carvão mineral antracito (teste 1), não há combustão na secagem do forno de grelha móvel, ocorrendo apenas perda de água nesta condição. Com o uso de CV1 a queima ocorreu na região de secagem com temperatura em torno de 279°C, antecipando-se a pré-queima, conforme alguns perfis térmicos propostos para fornos de endurecimento de pelotas de grelha móvel, de acordo com Outotec [6], Meyer [7] e Umadevi [8].

Desta forma, analisando as perdas de massa com a temperatura da Figura 3 com o perfil térmico típico de um forno de pelletização de grelha móvel [8] verifica-se que a 400°C, que corresponde ao final da secagem em um forno, o CM1 perderia 2,2% em relação à massa inicial. Nas mesmas condições os CVRP1 e CV1 perderiam 4,5% e 19,0%, respectivamente. Esta diferença significativa da perda de peso em uma mesma temperatura está relacionada ao maior teor de voláteis contidos no CV1(25,98%) quando comparado aos teores de voláteis dos CM1(10,17%) e CVRP1(11,14%).

Segundo Basu [9], a decomposição térmica de um combustível orgânico sólido libera gases combustíveis como CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CO, que junto ao oxigênio (comburente) formam uma mistura ideal para queima em temperaturas entre 300°C e 400°C [10], isto é, a presença de calor, gases combustíveis e excesso de oxigênio

(ar de secagem atmosférico em temperaturas superiores a 350°C), formam uma condição satisfatória para combustão, indesejada na secagem do forno de grelha móvel.

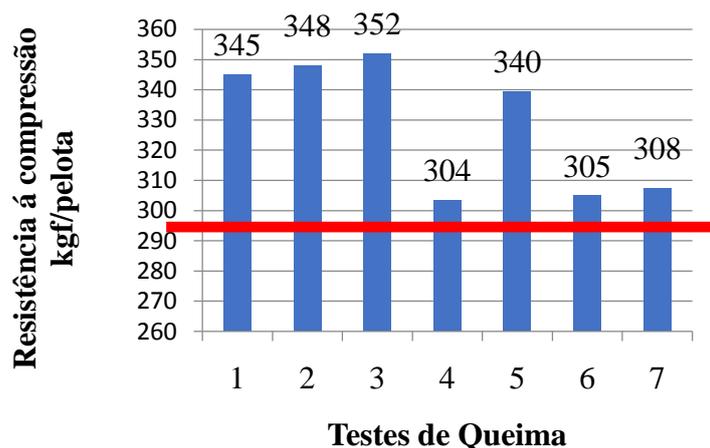
Nos testes 6 e 7, os finos de carvão mineral 2 (CM2), o carvão vegetal 2 (CV2) e o carvão vegetal repirolisado 2 (CVRP2) apresentaram comportamento semelhante ao da Figura 3.

Os resultados das análises das pelotas após a queima são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Análises químicas das amostras coletadas de pelotas queimadas para os testes de 1 a 7

Substâncias	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7
FeT (%)	66,98	67,22	67,2	67,12	67,23	67,23	67,24
SiO <sub>2</sub> (%)	2,10	2,04	2,08	2,14	2,05	2,01	2,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,56	0,58	0,55	0,56	0,56	0,53	0,53
CaO (%)	0,96	0,89	0,87	0,93	0,88	0,9	0,88
MgO (%)	0,12	0,1	0,12	0,1	0,12	0,11	0,12
P (%)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Mn (%)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
TiO <sub>2</sub> (%)	0,058	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Basicidade	0,46	0,44	0,42	0,44	0,43	0,45	0,44

A Figura 4. apresenta a resistência média à compressão em kgf/pelota obtida em amostras dos sete testes de queima. A linha vermelha representa a resistência à compressão média mínima (300kgf/pelota) exigida na produção total de pelotas.



**Figura 4.** Resistência à compressão média das amostras de pelotas queimadas dos sete testes de queima.

Considerando apenas os valores apresentados na Figura 4, e comparando estes com os da literatura, pode-se afirmar que se obtiveram bons resultados de resistências à compressão nos sete testes de queima. Estes foram melhores que os apresentados na literatura Vale [11], Dahlstedt et al. [12], Umadevi [13] e Geerdes

[14], sendo os valores mínimos de 250 kgf/pelota, 219 kgf/pelota, 260 kgf/pelota e 150 kgf/pelota, respectivamente. Geerdes [14] menciona a especificação mínima requerida para a utilização de pelotas em alto-forno.

A Figura 5 apresenta os resultados médios de abrasão para as amostras provenientes dos sete testes de queimas.

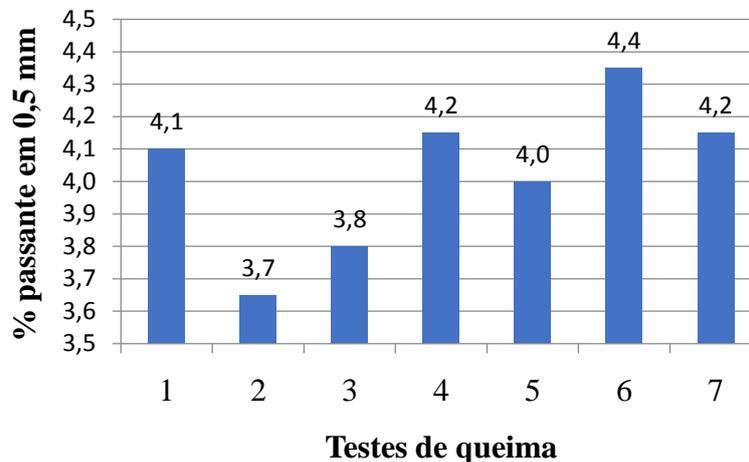


Figura 5. Resultados médios de abrasão para os sete testes de queima.

Os resultados de tamboramento não mostraram variação significativa. Os valores para os testes 1, 2, 3, 5 e 7 foram respectivamente, 95%, 95%, 95%, 94,8% e 94,8%, isto é, próximos e praticamente não diferiram. Os menores valores foram para os testes 4 e 6, em que ambos o valor foi igual a 94,6%.

### 3 CONCLUSÃO

A análise e discussão dos resultados deste estudo permitiram concluir que:

- Em função dos resultados encontrados neste estudo juntamente com os de Torres et al [2], conclui-se que as biomassas de carvão devem apresentar granulometria menor que 87,0% para a malha de 44 $\mu$ m. Desta forma ocorre uma melhor distribuição de energia na pelota, melhorando a queima e as propriedades físicas das pelotas queimadas.
- Quanto maior o teor de voláteis de um combustível, mais rapidamente ocorre combustão, o que na pelletização de minério de ferro impacta negativamente, gerando gases de combustão na etapa de secagem.
- Os testes 1, 2, 3 e 5 foram os melhores. Os seus resultados em relação à resistência à compressão, tamboramento e índice de abrasão ficaram muito próximos e as variações entre estes não foram significativas. Logo, se conclui que a qualidade das pelotas obtidas é similar a do padrão, e é possível a utilização do CV em até 7,6% em substituição dos finos de carvão mineral antracito com contribuições térmicas. Da mesma forma, é possível uma substituição parcial com o CVRP até um limite de 10,7% em relação à carga térmica.

- O teor de voláteis influenciou nas resistências dos testes 4 e 6, pois houve combustão na secagem.
- O uso de carvão vegetal e biomassa em determinadas dosagens pode substituir os finos de carvão mineral antracito, porém estes combustíveis tendem a piorar os valores do tamboramento e abrasão com o aumento das dosagens.
- Em termos gerais considerando uma produção anual de 30 milhões de toneladas de pelotas por ano na Samarco, é possível estimar uma redução das emissões de CO<sub>2</sub> em 4,5% e haveria um mercado potencial de 40.000t (quarenta mil toneladas) de carvão vegetal por ano.

## Agradecimentos

Agradeço à Samarco Mineração por todo apoio institucional e financeiro que foi fornecido (2015 e 2016) e à Universidade Federal de Minas Gerais pelo apoio institucional (2016 e 2017).

## REFERÊNCIAS

- 1 IPÊ Brasil Projetos. Estudo de viabilidade de matérias primas para produção energética na SAMARCO MINERAÇÃO S.A. Domingos Martins – Espírito Santo. 2014.
- 2 Tôrres, A.; Lange, L.; Melo, G.; Praes, G. Pyrolysis of chromium rich tanning industrial wastes and utilization of carbonized wastes in metallurgical process. Waste Management, 48, p. 448 – 456, 2016.
- 3 Silva, M. Aspectos Econômicos do Fomento Florestal. Reunião Técnica Sobre Fomento Florestal. Belo Horizonte, 2005.
- 4 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 3271:2007: Iron ores for blast furnace and direct reduction feedstocks – Determination of the tumble and abrasion indices, fourth edition, Geneva, Switzerland, Oct, 2007.
- 5 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 4700: Iron ore pellets for blast furnace and direct reduction feedstocks — Determination of the crushing strength, Third edition, Geneva, Switzerland, Sept, 2007.
- 6 Outotec. Pelletizing Technologies. OutotecOyj. Helsinki, Finland. May, 2007.
- 7 Meyer, K. Pelletizing of Iron Ores Springer – Verlag Berlin, Heidelberg, and Verlag StahleisenmbH, Dusseldorf, 37 – 221, 1980.
- 8 Umadevi, T; Lobo, N; Desai, S; Mahapatra, P; Sah, R; Prabhu, M. Optimization of Firing Temperature for Hematite Pellets. ISIJ International, Vol. 53 (2013), No. 9, pp. 1673 – 1682.
- 9 Basu, P. Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory. FirstEdition. Burlington, MA, EUA. Elsevier, 2010.
- 10 Turns, S. Introdução à Combustão Conceitos e Aplicações. 3º Edição, Porto Alegre, Mc Graw Hill, 2013.
- 11 VALE. Iron Ore Products, Booklet, 2009.
- 12 Dahlstedt, A, Hallin, M, Tottie, M. LKAB's Experimental Blast Furnace for Evaluation of Iron Ore Products. LKAB, Proceedings of Scanmet 1, 1999, p. 235 – 245.
- 13 Umadevi, T; Kumar, Prasana; Lobo, N; Prabhu, M; Mahapatra, P.C.; Ranjan, M. Influence of Pellet Basicity (CaO/SiO<sub>2</sub>) on Iron Ore Pellet Properties and Microstructure. ISIJ International, Vol. 51 (2011), No. 1, pp. 14-20.
- 14 Geerdes, M., Toxopeus, H., Vliet, C. Modern Blast Furnace Ironmaking an Introduction. 2º Edition, IOS Press BV, Amsterdam, 2009.

