

## UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO CARBONOSO NA PELOTIZAÇÃO\*

Rodrigo Boyer<sup>1</sup>  
Rossano Augusto Pilon Nunes<sup>1</sup>  
Raquel Teixeira Pereira<sup>2</sup>  
Josiane Lira Batista Haagensen<sup>3</sup>  
Denísio Miranda Custódio<sup>4</sup>  
Felipe Viana Pimenta<sup>5</sup>  
Marcela Lessa de Freitas<sup>6</sup>  
Ana Carolina de Oliveira de Dieguez<sup>7</sup>  
Fábio Dummer Silva<sup>8</sup>

### Resumo

O combustível sólido utilizado nas Usinas de Pelotização em Tubarão é o antracito, que possui carbono fixo em torno de 72% em sua composição. Nesse trabalho serão apresentados os resultados dos testes em escala piloto e em escala industrial de um combustível alternativo ao antracito, denominado Pó de Balão de Alto-Forno. Todo o trabalho foi desenvolvido utilizando amostras provenientes da Arcelor Mittal Tubarão por ser uma grande fonte geradora e pela proximidade à Vale/SA, reduzindo significativamente o custo de transporte do material. O teste industrial realizado na 8ª Usina de Pelotização da Vale/SA demonstrou viabilidade técnica em substituir parcialmente o antracito por Pó de Balão de Alto-Forno. Observou-se um impacto na variabilidade dos resultados de carbono fixo da polpa, especialmente no início do teste, atingindo patamares muito elevados e comprometendo a qualidade física das pelotas. Variação essa que pode ser explicada por alguns distúrbios operacionais e, principalmente, pela baixa previsibilidade da qualidade do Pó de Balão de Alto-Forno e falta de um sistema adequado para manuseio e dosagem do material.

**Palavras-chave:** Pelotização; Antracito, Pó de Balão de Alto-Forno.

### USE OF CARBONOUS RESIDUE IN PELLETIZING

#### Abstract

In the Tubarão Pelletizing Plants, anthracite is used as solid fuel, which has fixed carbon content of 72%. This paper will present the pilot scale results and industrial scale tests of an alternative fuel to anthracite, named Blast Furnace Dust. All the work was developed using samples from Arcelor Mittal Tubarão, due to it has a large source of production and is near to Vale/SA, which reduces significantly the cost for the material's transportation. There was an impact on the variability in fixed carbon results of the slurry, mainly at the beginning of the test, reaching very high levels and put on risk the pellets physical's quality. This variation can be explained by some operational disturbances and, mainly, by the low predictability of Blast Furnace Dust quality and lack of an adequate system for material preparation and dosage.

**Keywords:** Pelletizing; Anthracite; Blast Furnance Dust.

<sup>1</sup> Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processo, Gerência de Engenharia de Processos e Sustentabilidade da Pelotização, VALE S/A, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheira de Produção, Analista Operacional, Gerência da Garantia da Qualidade, Controle de Produção e Insumos da Pelotização, VALE S/A, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheira de Produção, Engenheira, Gerência da Garantia da Qualidade, Controle de Produção e Insumos da Pelotização, VALE S/A, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Operação, Planta de Pelotização 8, VALE S/A, Vitória, ES, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheiro Metalurgista, Marketing de Minério de Ferro, VALE S/A, Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.

<sup>6</sup> Engenheira de Produção, Estagiária, Unidade Técnica, VALE S/A, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>7</sup> Especialista em Desenvolvimento de Coprodutos, Gerência de Coprodutos, Arcelor Mittal Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>8</sup> Pós-Graduado em Engenharia de Produção, Executivo de Matérias Primas, Gerência Técnica de Produção de Gusa, Arcelor Mittal Tubarão, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A adição de insumos na pelletização tem por objetivo melhorar o controle das características químicas, físicas e metalúrgicas, além de possibilitar a otimização da produção e redução do consumo de combustível na etapa de queima [1].

Na Unidade de Tubarão da Vale/SA o principal combustível sólido utilizado é o antracito, que possui elevada taxa de carbono fixo e baixo preço em unidade de energia. O presente trabalho apresenta resultados em escala piloto e industrial de um combustível sólido alternativo ao antracito, denominado Pó de Balão de Alto-Forno (PBAF).

O pó de balão é um resíduo sólido da limpeza dos gases gerados no alto-forno (Figura 1), composto principalmente, por finos de carvão e minério de ferro. Estes finos são arrastados durante o processo de passagem dos gases pela carga do Alto-Forno [2].

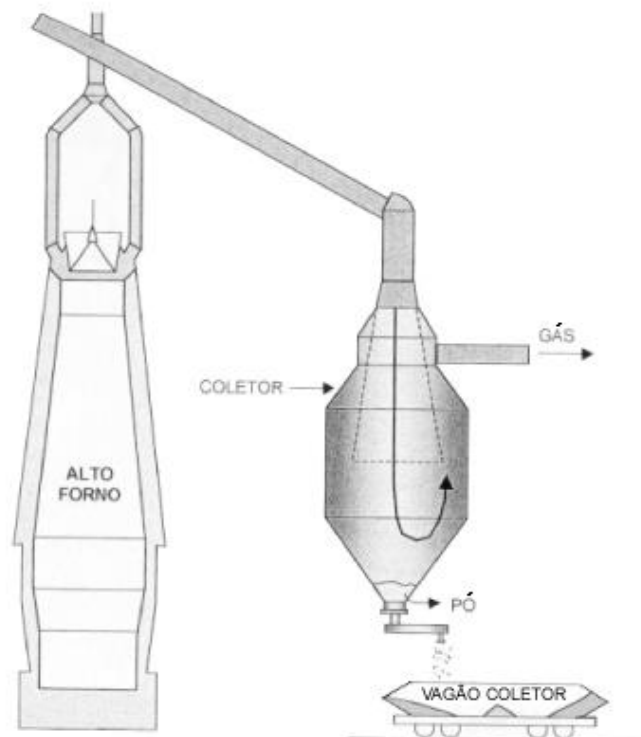


Figura 1. Esquema do coletor de pó de balão para limpeza do gás do topo do alto-forno

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

O trabalho foi desenvolvido utilizando amostras de pó de balão da Arcelor Mittal Tubarão (AMT), essas amostras foram caracterizadas quimicamente na origem, tanto na estocagem no pátio da AMT, como também, durante sua geração nos Altos-Fornos.

Como pode-se observar na Figura (Figura 2), as amostras tiveram grande variabilidade em sua composição química.

	Material	Id	Al2O3%	CaO%	FeT%	PPC%	SiO2%	Cinzas%	Matéria Volátil%	C Total%	C Fixo%
Pátio 2A	Pó do Balão A01	2102806	2,83	2,56	25,10	56,10	6,33	44,23	4,70	70,70	51,06
	Pó do Balão A02	2102810	2,77	3,42	25,30	55,50	8,21	51,28	5,25	52,00	43,46
	Pó do Balão A03	2102811	2,55	2,68	22,80	52,70	6,72	51,43	4,70	60,00	43,87
	Pó do Balão A04	2102812	2,57	2,62	31,80	44,20	7,77	59,15	4,37	49,70	36,48
	Pó do Balão A05	2102816	2,71	2,54	28,40	50,30	6,88	51,98	4,97	63,40	43,04
	Pó do Balão A06	2102822	2,64	3,19	24,00	52,80	6,89	47,55	5,36	55,80	47,09
	Pó do Balão A07	2102823	1,22	1,24	34,10	43,30	3,68	53,14	6,01	52,60	40,85
	Pó do Balão A08	2102825	2,79	3,10	20,90	58,30	6,36	48,71	5,90	63,50	45,38
	Média			2,47	2,61	27,36	50,70	6,64	51,25	5,05	57,74
Desvio Padrão			0,53	0,66	4,54	5,46	1,35	4,39	0,58	7,19	4,29
AF01	Pó do Balão A09	2102827	1,97	2,35	29,70	48,70	6,77	52,61	5,92	56,30	41,47
	Pó do Balão A10	2102829	2,50	2,91	25,60	48,30	7,63	51,77	6,05	51,00	42,18
	Pó do Balão A11	2102831	2,20	2,75	25,20	56,10	6,75	47,74	5,22	62,20	47,03
	Pó do Balão A12	2102833	2,74	2,18	24,70	56,10	5,94	49,48	6,07	60,50	44,45
	Pó do Balão A13	2102837	2,07	2,73	29,40	45,90	7,20	53,43	6,73	71,10	39,84
	Média			2,30	2,58	26,92	51,02	6,86	51,01	6,00	60,22
Desvio Padrão			0,32	0,31	2,42	4,76	0,63	2,35	0,54	7,46	2,80

Figura 2. Análises das amostras coletadas no pátio de estocagem e no coletor do AF01

Na Usina Piloto da Vale foram realizados testes em pot grate para análise do comportamento na etapa de filtragem e na etapa de queima. Para o teste industrial, com duração prevista de dois dias, a oitava usina de pelletização de Tubarão mostrou-se como sendo a mais adequada, devido sua proximidade com a Arcelor Mittal, além de questões particulares ao teste. O *Voice of Customer* (VOC) e o plano para mitigação dos riscos durante a realização dos testes podem ser vistos nas figuras abaixo (Figura 3 e 4).

Voice of Customer (VOC)	Cliente	KPI	Direção do indicador	Value	Unit
Não ter obstrução na gaiola do britador de carvão	Manutenção	Número de obstruções por turno	↓	0	N° de obstruções
Geração de material fugitivo	Operação	Emissão visível	↓	0	N° de emissões visíveis
Manter produtividade	Operação	Produtividade de grelha	→	29,5	t/m².dia
Pelotas produzidas destinadas a AMT	Marketing Técnico	Produção de pelotas	↑	100	%
Não haver variação dos gases de chaminé	Operação	Concentração de pó	→	< 30	mg/Nm³
Não haver variação dos gases de chaminé	Operação	Concentração de NOx e SOx	→	< 600 / < 500	mg/Nm³

Figura 3. Requisitos definidos pelo VOC para o teste industrial

Tipo do Risco	Classificação	Descrição do Risco	Impacto	Probabilidade	Impacto	Probabilidade	I x P	Grau do Risco	Estratégia de gerenciamento do risco					Verificação da Eficácia	
									Resposta	Responsável pelo Risco	Ação / Descrição	Prazo	Status	Ação foi eficaz?	Se não, o que será feito?
Ameaça	Técnico	Obstrução do circuito desde a peneira até o britador de carvão	Muito Alto	Médio	70%	50%	35%	ALTO	Mitigar	Rodrigo Boyer	Realizar teste com pequena quantidade de pó de balão para verificar performance do circuito. Não realizar o teste em período chuvoso	04/01/2019	22/01/2019	Sim	
Ameaça	Técnico	Variação do CF do pó de balão	Alto	Alto	50%	70%	35%	ALTO	Mitigar	Josiane Batista	Solicitar análise prévia (representativa) à AMT	07/01/2019	07/01/2019	Sim	
Ameaça	Ambiental	Emissão fugitiva	Alto	Médio	50%	50%	25%	MÉDIO	Mitigar	Josiane Batista	Solicitar umectação por parte da AMT. Na usina ficará dentro da rotina atual de umectação do pátio.	07/01/2019	22/01/2019	Sim	
Ameaça	Técnico	Variação na dosagem	Alto	Médio	50%	50%	25%	MÉDIO	Mitigar	Rodrigo Boyer	Elaborar plano especial de amostragem. Verificar necessidade de ajuste na balança devido à diferença de densidade. Checar calibração da balança antes do teste	04/01/2019	04/01/2019	Sim	
Ameaça	Técnico	Interferência na integridade do sistema de pesagem	Médio	Médio	30%	50%	15%	MÉDIO	Mitigar	Gabriel Goggi	Monitorar os parâmetros da balança e programar ajustes na comporta do silo	08/01/2019	12/02/2019	Sim	
Ameaça	Técnico	Piora da qualidade física	Médio	Médio	30%	50%	15%	MÉDIO	Aceitação Passiva	Josiane Batista	Informar a AMT	08/01/2019	08/01/2019	Sim	
Ameaça	Fornecimento	Direcionamento da pelota de teste para outros clientes	Alto	Médio	50%	50%	25%	MÉDIO	Mitigar	Josiane Batista	programação para recuperação e liberação de área no PP para empilhamento	08/01/2019	08/01/2019	Sim	

Figura 4. Mapa de risco para o teste industrial

Usando um caminhão de 9t de PBAF, um pré-teste foi realizado para averiguar o comportamento quanto às condições ambientais durante o manuseio do material, este apresentou durante o descarregamento e retomada com pá mecânica (Figura

5) boas condições de manuseio. Não foram observadas ocorrências de obstrução do circuito, desde a tremonha de carregamento no pátio de insumos até a balança dosadora e britador. Em análise visual foi possível constatar que o material era seco e sua produção recente.



**Figura 5.** Descarregamento do caminhão e carregamento com pá mecânica

Para o teste industrial foi solicitado à AMT melhorias quanto a umidificação do material e envio apenas de material oriundo do pátio de estocagem, além disso foi solicitado uma amostragem (Tabela 1) durante o carregamento, com o intuito de realizar o balanço de massa para a mistura de antracito + PBAF.

**Tabela 1.** Resultados das amostragens durante o carregamento do Pó de Balão na Arcelor Mittal

Amostra	C. Fixo (%)	Cinzas(%)	Material Volátil (%)	Umidade (%)
Amostra 1	36,0	57,0	6,9	20,1
Amostra 2	34,0	59,4	6,6	20,7
Amostra 3	40,9	52,3	6,8	19,2
Amostra 4	31,3	61,5	7,2	11,9
Amostra 5	33,3	58,0	8,7	3,4
Amostra 6	35,0	57,5	7,5	9,9
Amostra 7	51,7	41,3	7,0	34,4
Amostra 8	44,8	47,9	7,3	20,7
MÉDIA	38,4	54,4	7,2	17,5

Com base na média calculada do carbono fixo das amostragens feitas pela AMT foi realizado um balanço de massa e formada uma pilha homogeneizada com as proporções calculadas de antracito e PBAF.

## 2.2 Testes em Usina Piloto - Resultados e Discussões

Os parâmetros para o teste na Usina Piloto foram os mesmos da Usina 8 de Tubarão.

A amostra coletada e enviada para Usina Piloto da Vale em Tubarão para realização dos testes em pot grate, e o comparativo com o antracito utilizado na Vale Tubarão apresentou características de acordo com a tabela (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resultados do comparativo das características do Pó de Balão e antracito

Análise	Pó de Balão	Antracito
Carbono Fixo	46,53%	73,87%
Cinzas	49,02%	17,30%
Voláteis	4,49%	8,82%
PCI	3.779cal/g	6.400cal/g

É possível observar a diferença entre os dois combustíveis sólidos, destacando-se o elevado teor de cinzas, substâncias compostas de material inorgânico e que possuem relação inversa com o poder calorífico. O carbono fixo, tem relação direta com o poder calorífico, e um teor menor deste implica em um menor tempo de residência dentro do aparelho de queima [3], devido a isso, seriam necessários 1,5t de PBAF para cada 1,0t de antracito.

A tabela abaixo (Tabela 3) apresenta o comparativo da análise química das cinzas das amostras.

**Tabela 3.** Comparação Química das Cinzas do PBAFxAntracito

<b>Análise</b>	<b>Pó de Balão (%)</b>	<b>Antracito (%)</b>
Fe	38,95	8,85
SiO <sub>2</sub>	11,63	57,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,00	21,69
P	0,06	0,21
Mn	0,17	0,05
CaO	3,24	2,30
MgO	1,14	0,82
TiO <sub>2</sub>	0,18	1,18
Na <sub>2</sub> O	0,06	0,86
K <sub>2</sub> O	0,373	2,218
S	0,26	1,22
Zn	0,138	*0,007
Cr	0,007	*0,016
Ni	0,0007	*0,0101

\*Valores típicos

Pode-se observar que o teor de contaminantes do PBAF é consideravelmente inferior ao antracito, principalmente os álcalis, que são elementos que geram instabilidades na operação do Alto-Forno. A exceção foi apenas o ZN que apresentou valor superior ao antracito.

Considerando o volume diário gerado de PABF pela Arcelor Mittal, os testes foram realizados substituindo 50% do antracito dosado na mistura a pelotar. Devido a impossibilidade de reproduzir em escala piloto o processo de moagem em circuito aberto da Usina 8 de Tubarão, foi coletada uma amostra de polpa moída com dosagem reduzida de antracito, para a realização dos testes com PBAF. Os resultados da análise desta polpa podem ser verificados na tabela (Tabela 4).

**Tabela 4.** Análise da polpa coletada na descarga do moinho da Usina 8

<b>Análise</b>	<b>Polpa Moída</b>
Calculo Fe	65,19%
SiO <sub>2</sub>	1,70%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,26%
P	0,02%
Mn	0,07%
CaO	2,00%
MgO	0,06%
TiO <sub>2</sub>	0,06%
Carbono Fixo	0,78%
Superfície Específica	1.575cm <sup>2</sup> /g
-0,045mm	74,80%

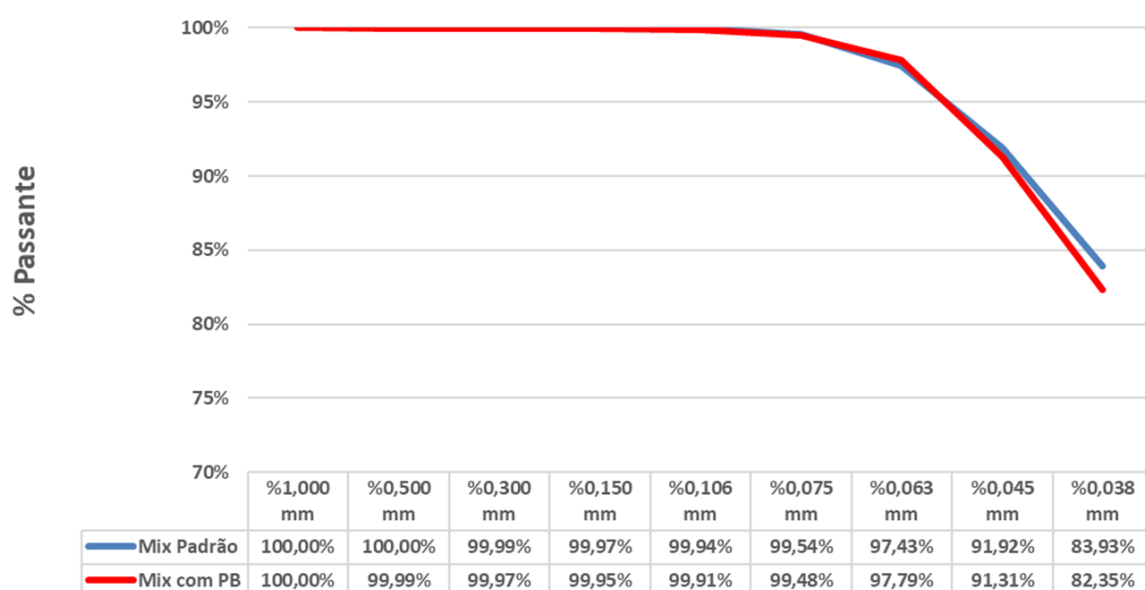


Para análise do comportamento na Homogeneização, adicionou-se combustível na polpa, afim de se atingir 1,30% de carbono fixo. O procedimento de teste consistiu na adição de água até obtenção de uma polpa com 70% de sólidos. Essa polpa foi agitada por 20 minutos utilizando um bastão e ar comprimido, e posteriormente avaliada visualmente. A amostra de referência, de antracito moído, e a amostra de teste apresentaram o mesmo comportamento, não havendo formação de espuma ou qualquer outro tipo de material sobrenadante conforme figura (Figura 6).



**Figura 6.** Experimento de simulação da homogeneização da polpa

Foram realizados teste de curva granulométrica (Figura 7) e *leaf test* de duas misturas moídas no moinho de bancada da Usina Piloto, afim de averiguar o comportamento do PBAF na Filtragem. O comportamento das duas misturas, sendo um o mix padrão da Usina 8 apenas com antracito a outra utilizando antracito mais PBAF, foi correspondente, não indicando formação de micro finos, que impactam negativamente no processo de filtragem.



**Figura 7.** Curvas granulométricas das misturas moídas em moinho de bancada

O leaf teste, realizado conforme condições operacionais do processo de filtragem da Usina 8 (Tabela 5), também não indicaram decréscimo de performance na mistura com adição de PBAF, como pode-se observar na tabela (Tabela 6).

**Tabela 5.** Condições operacionais utilizadas no *leaf test*

Parâmetro	Condição Operacional
Densidade da polpa	2,2kg/L
Rotação dos discos	0,8rpm
Pressão de vácuo	0,8kgf/cm <sup>2</sup>
Tempo de formação da torta	19s
Tempo de secagem	32s

**Tabela 6.** Resultados do leaf test das misturas moídas em moinho de bancada

Parâmetro	Mix com Antracito	Mix com PBAF
Área Superficial Específica (cm <sup>2</sup> /g)	1.990	1.990
Sólidos no filtrado (%)	0,61	0,52
Umidade (%)	11,2	10,9
Produtividade (t/m <sup>2</sup> /h)	1,60	1,85

Para analisar o comportamento no processo de queima, amostras contendo dosagem de bentonita e complementação do carbono fixo, até 1,30%, com antracito nas amostras de referência, e PBAF nas amostras de teste. A temperatura e as pressões no pot grate foram utilizadas compatíveis com o praticado na Usina 8. Os resultados podem ser verificados na tabela (Tabela 7).

**Tabela 7.** Resultados das queimas realizadas em Usina Piloto para comparação de antracito x PBAF

Análise	0,78% Carbono Fixo + 0,79% Antracito	0,78% Carbono Fixo + 1,23%PBAF	0,78% Carbono Fixo + 1,23% PBAF
Calculo Fe	66,84%	66,78%	66,73%
SiO <sub>2</sub>	1,93%	1,90%	1,91%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,34%	0,33%	0,34%
P	0,02%	0,02%	0,02%
Mn	0,07%	0,07%	0,07%
CaO	1,97%	2,00%	1,95%
MgO	0,07%	0,08%	0,08%
TiO <sub>2</sub>	0,08%	0,07%	0,06%
b2	1,02	1,05	1,02
Abrasão	5,85%	9,71%	4,73%
Compressão	273daN/p	273daN/p	315daN/p,
Topo		293	
Fundo		230	

Devido à elevada dosagem de PBAF, necessária para compensar o seu baixo teor de carbono fixo e seu elevado teor de cinzas, pôde-se observar nas análises químicas uma redução do teor de ferro.

O resultado do primeiro teste utilizando PBAF apresentou uma quantidade considerável de pelotas mal queimadas na camada inferior do leito de pelotas, o que resultou numa grande diferença de compressão em relação às pelotas coletadas no meio/topo do leito, em comparação com o pot grate referência, que usa apenas antracito como combustível sólido. Essa diferença pode ser explicada por alguma variação aleatória no pelotamento, o que pode ser comprovado pelos resultados das análises de pelota crua, conforme tabela (Tabela 8).

**Tabela 8.** Resultados análises das pelotas cruas produzidas no disco da Usina Piloto

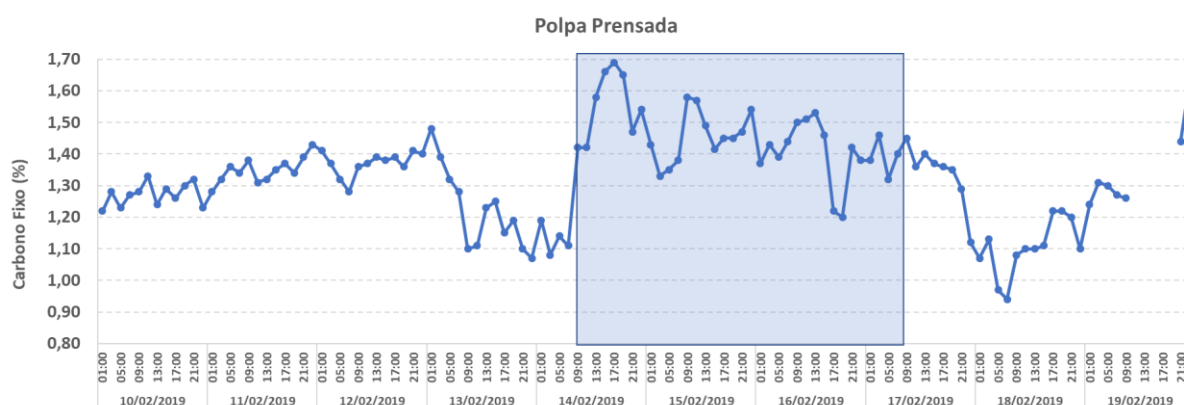
Análise	0,78% Carbono Fixo + 0,79% Antracito	0,78% Carbono Fixo + 1,23%PBAF	0,78% Carbono Fixo + 1,23% PBAF
Umidade	7,94%	8,73%	8,51%
Nº de quedas	5,73	6,13	4,27
Resistência Pelota Crua	1,60kgf/p	1,18kgf/p	1,23kgf/p
Resistência Pelota Seca	4,62kgf/p	3,41kgf/p	5,33kgf/p

Como o PBAF não apresentou aspectos adversos no pelotamento, assim como na homogeneização e na filtragem, ficou estabelecido com a equipe de produção a realização de teste industrial afim de validar os resultados obtidos em escala piloto.

### 2.3 Testes Industriais - Resultados e Discussões

O período destacado em azul nas figuras, corresponde ao período em que o PBAF foi processado na usina.

A análise química da polpa prensada mostrou uma elevação repentina do percentual de carbono fixo, conforme figura (Figura 8).



**Figura 8.** Comportamento do carbono fixo na polpa prensada

O aumento observado pode ter sido ocasionado por: efeito de correções cumulativas realizadas no dia anterior, devido a resultados bem abaixo da meta de 1,28%; a alta variabilidade da composição do PBAF; necessidade de esvaziar um dos tanques homogeneizadores devido a uma manutenção em um moinho, sendo este também explicação para o último ponto, pois é comum ocorrerem elevações no carbono fixo



quando tanques homogeneizadores são esvaziados em virtude da grande quantidade de partículas de antracito sobrenadante no topo dos tanques.

A constância do carbono fixo elevado durante o teste, sugere um erro no balanço de massa, ou seja, a mistura de antracito+PBAF ficou com baixa proporção de PBAF. Esse erro foi evidenciado pela duração do teste, que ocorreu em 3 dias, ao invés dos 2 dias programados.

A resistência à compressão da pelota queimada foi afetada negativamente pela instabilidade do carbono fixo, principalmente no início do teste, conforme figura (Figura 9). Porém, conforme estabilização do processo a qualidade foi retornando ao padrão. Quanto a abrasão, pode-se observar na figura (Figura 10), que não houveram alterações nos resultados.

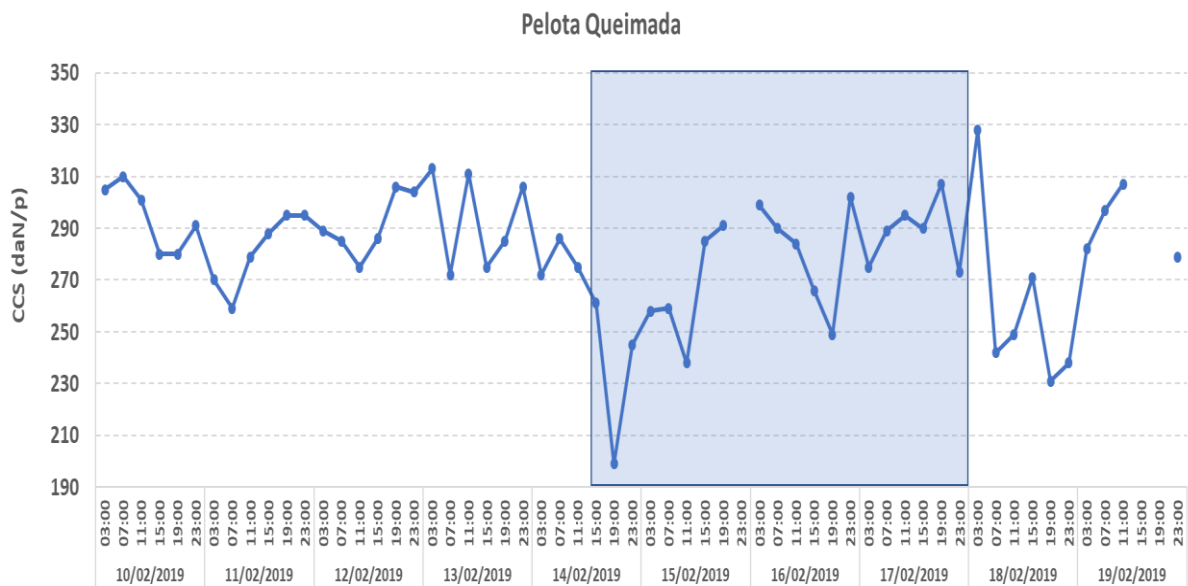


Figura 9. Resistência à compressão das pelotas queimadas

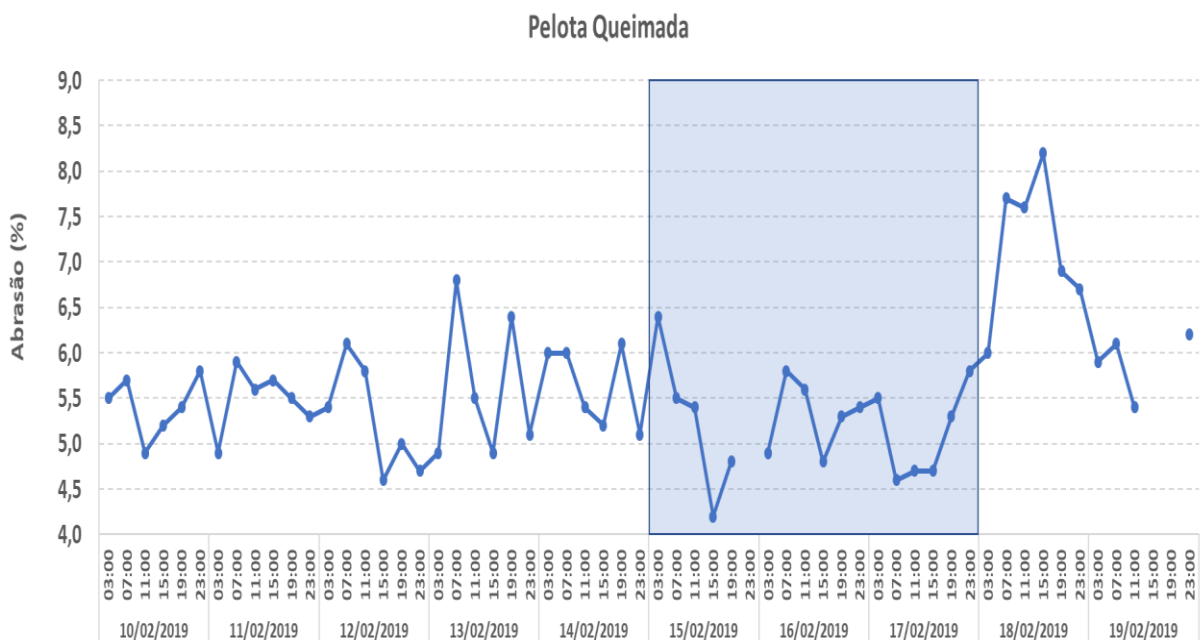


Figura 60. Abrasão das pelotas queimadas

As análises químicas da pelota queimada não apresentaram nenhuma tendência de alteração (Figura 11), com exceção da variação do teor de Zn (Figura 12).

Amostra	Resultados											
	Fe (%)	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	P (%)	Mn (%)	CaO (%)	MgO (%)	TiO2 (%)	PPC (%)	Na2O (%)	K2O (%)	S (%)
PESQ - Caracterização - USINA 8 - PQ-0300 - AF08 - Amostragem 14/02/2019 as 03:00 hs 0004694281	65,56	2,20	0,476	0,015	0,044	2,41	0,055	0,080	0,395	0,013	0,017	0,005
PESQ - Caracterização - USINA 8 - PQ-0700- AF08 - Amostragem 14/02/2019 as 07:00 hs 0004694326	65,77	2,20	0,477	0,018	0,044	2,38	0,055	0,079	0,350	0,013	0,017	0,005
PESQ - Caracterização - USINA 8 - PQ-1100-AF08 - Amostragem 14/02/2019 as 11:00 hs 0004694393	65,64	2,28	0,476	0,020	0,042	2,26	0,053	0,079	0,300	0,012	0,018	0,006
PESQ - Caracterização - USINA 8 - PQ-1500- AF08 - Amostragem 14/02/2019 as 15:00 hs 0004694523	65,62	2,24	0,478	0,019	0,044	2,36	0,054	0,079	0,410	0,016	0,019	0,005
PESQ - Caracterização - USINA 8 -PQ - 1900- AF08 - Amostragem 14/02/2019 as 19:00 hs 0004694563	65,63	2,18	0,476	0,017	0,044	2,39	0,054	0,079	0,350	0,013	0,017	0,008
PESQ - Caracterização - USINA 8 - PQ - 2300- AF08 - Amostragem 14/02/2019 as 23:00 hs 0004694628	65,71	2,24	0,498	0,022	0,043	2,45	0,055	0,081	0,240	0,013	0,019	0,007
PESQ - Caracterização - USINA 8 - PQ - 1500 - AF08 - Amostragem 15/02/2019 as 15:00 hs 0004694924	65,77	2,19	0,475	0,016	0,044	2,37	0,054	0,079	0,400	0,014	0,017	0,005

Figura 71. Análise química das pelotas

Amostra	Resultados						
	Cu (ppm)	Cr (ppm)	V (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)
PESQ - Caracterização - USINA 8 - PQ-0300 - AF08 - Amostragem 14/02/2019 as 03:00 hs 0004694281	9,18	173,98	48,22	10,21	19,02	<0,02	16,48
PESQ - Caracterização - USINA 8 - PQ-0700- AF08 - Amostragem 14/02/2019 as 07:00 hs 0004694326	9,86	184,36	47,92	16,62	31,08	<0,02	16,33
PESQ - Caracterização - USINA 8 - PQ-1100-AF08 - Amostragem 14/02/2019 as 11:00 hs 0004694393	6,36	161,68	47,89	6,16	15,81	<0,02	21,17
PESQ - Caracterização - USINA 8 - PQ-1500- AF08 - Amostragem 14/02/2019 as 15:00 hs 0004694523	7,46	171,23	48,27	5,95	24,80	<0,02	15,91
PESQ - Caracterização - USINA 8 -PQ - 1900- AF08 - Amostragem 14/02/2019 as 19:00 hs 0004694563	8,20	175,82	47,64	12,58	20,56	<0,02	18,32
PESQ - Caracterização - USINA 8 - PQ - 2300- AF08 - Amostragem 14/02/2019 as 23:00 hs 0004694628	8,16	167,47	48,42	9,70	15,83	<0,02	19,62
PESQ - Caracterização - USINA 8 - PQ - 1500 - AF08 - Amostragem 15/02/2019 as 15:00 hs 0004694924	7,67	166,83	49,00	6,18	19,32	<0,02	12,12

Figura 82. Análise química dos elementos traços das pelotas

No que diz respeito a produtividade de grelha, esta não foi impactada pelo PBAF, conforme figura (Figura 13). As perdas de produção do período foram devido a atraso em manutenção preventiva de peneira vibratória e redução de produção para manutenção corretiva no circuito de empilhamento de minério.

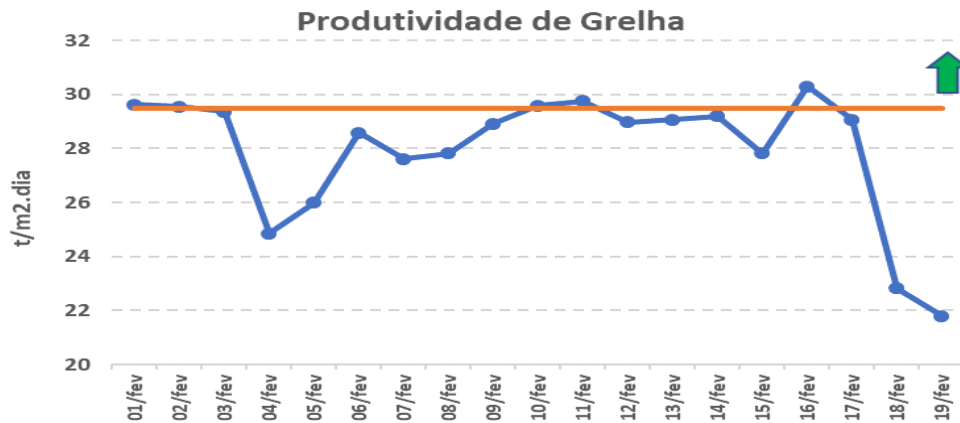


Figura 93. Produtividade de Grelha

### 3 CONCLUSÃO

Os resultados em Usina Piloto foram validados positivamente em escala industrial, demonstrando viabilidade técnica na substituição parcial do antracito pelo Pó de Balão de Alto-Forno.

Os pontos que requerem atenção são a alta variabilidade dos resultados de carbono fixo da polpa, o que compromete a qualidade física das pelotas. Essa variação ocorreu devido a alguns distúrbios operacionais, mas principalmente pela baixa previsibilidade da qualidade do PBAF, além da falta de um sistema adequado para manuseio e dosagem do material.

Apesar da indicação por balanços de massa de uma possível redução do %Fe na composição química das pelotas produzidas, esse efeito não foi percebido nas análises realizadas, que pode ser atribuída à baixa substituição do antracito pelo PBAF. Durante o teste essa substituição foi em torno de 30%, enquanto que todos os testes na Usina Piloto e os balanços de massa consideravam 50%.

Para o uso contínuo do Pó de Balão de Alto-Forno no processo produtivo, é necessário portanto, um estudo de alternativas para assegurar a previsibilidade da qualidade química do PBAF, assim como um sistema adequado de recebimento, estocagem e dosagem desse combustível sólido.

### 4 REFERÊNCIAS

- 1 Pereira PM. Influência do Antracito Adicionado à Mistura de Pelotização Sobre as Características Físicas das Pelotas Queimadas. [Tese]. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais; 2016;
- 2 Santos A, Araújo F, Souza E, Solé R. Análise da Viabilidade de Separação e Concentração de Finos de Carvão do Pó de Balão. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Anais do 47º Seminário de Redução de Minério e Matérias-Primas; 02-06 de outubro de 2017; São Paulo, Brazil.
- 3 Chaves AM, Vale AT, Melido RC, Zoch VP. Características Energéticas da Madeira e Carvão Vegetal de Clones de *Eucalyptus spp.* Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, 2013, v.9, n.17, p.533.