

BRIQUETE COMBUSTÍVEL NO PROCESSO DE ENDURECIMENTO DA PELOTA – TESTE INDUSTRIAL*

Danielle Raidan Daniel¹
Rodrigo Boyer Fernandes²
Rossano Augusto Pilon Nunes³
Leticia Stéffane Santos Silva⁴
Davi Fernandes de Carvalho⁵

Resumo

O processo de queima ou endurecimento de pelotas cruas nos fornos de pelletização requer o consumo de combustíveis líquidos ou gasosos (normalmente óleo mineral ou gás natural) de origem fóssil, contribuindo como fonte de emissão de gases de efeito estufa (GEE), além do elevado custo. Com objetivo de atender o compromisso de Descarbonização com foco na redução das emissões diretas de CO_{2eq} das operações, uma iniciativa em desenvolvimento consiste na aplicação de briquete combustível oriundo de biomassa, tal como carvão vegetal de eucalipto, sobre o leito de pelotas cruas nos fornos de pelletização promovendo uma grande liberação de calor no interior do forno e conseqüentemente, a redução do consumo de combustível fóssil dos queimadores que são responsáveis pelo controle de temperatura dos gases de queima. Em um teste industrial realizado em uma planta de pelletização da Vale S.A. observou-se que o briquete combustível reduziu a vazão de gás natural no processo de queima, sem prejuízos à qualidade da pelota queimada.

Palavras-chave: Briquete combustível; Forno de pelletização; Descarbonização; Teste industrial.

FUEL BRIQUETTE FOR INDURATION PROCESS PELLETIZING – INDUSTRIAL TEST

Abstract

The process of firing or indurating of green pellets in pelletizing furnaces requires the consumption of liquid or gaseous fuels (normally mineral oil or natural gas) of fossil origin, contributing as a source of greenhouse gas (GHG) emissions, in addition to the high cost. In order to pledge the Decarbonization commitment with a focus on reducing direct CO_{2eq} emissions from our operations, an initiative under development consists of applying fuel briquettes from biomass, such as eucalyptus charcoal, on the bed of green pellets in the pelletizing process, promoting a large release of heat inside the furnace and consequently, reducing the consumption of fossil fuel from the burners that are responsible for controlling the temperature of the process gases. In an industrial test carried out at a Vale S.A. pelletizing plant, it was observed that the fuel briquette reduced the flow of natural gas in the burning process, without compromising the quality of the iron ore pellet.

Keywords: Charcoal briquettes; Pelletizing furnace; Decarbonization; Industrial test.

¹ Engenheira Metalúrgica, Engenheira Master, Vale S.A, Nova Lima, MG, Brasil.

² Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro Especialista, Vale S.A, Vitória, ES, Brasil.

³ Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro Especialista, Vale S.A, Vitória, ES, Brasil.

⁴ Engenheira de Minas, Engenheira Sênior, Vale S.A, Vitória, ES, Brasil.

⁵ Engenheiro Químico, Estagiário, Vale S.A, Nova Lima, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O processo de endurecimento ou processo de queima das pelotas cruas ou verdes, o qual é realizado no forno de pelotização é um tratamento térmico cuidadoso e bem balanceado que consiste em conferir resistência física e mecânica às pelotas, de maneira apropriada para as operações de manuseio e transporte até o cliente, ou seja, estocagem no pátio, carregamento, transporte e descarga do navio, e para que suportem as pressões e os choques térmicos dentro dos reatores de redução para os quais se destinam as pelotas de minério de ferro, durante sua transformação em ferro-gusa (alto-forno) ou ferrosponja (redução direta), segundo FONSECA [1] e CAMPOS [1].

A Figura 1 apresenta o desenho esquemático típico de um forno de endurecimento do tipo grelha móvel.

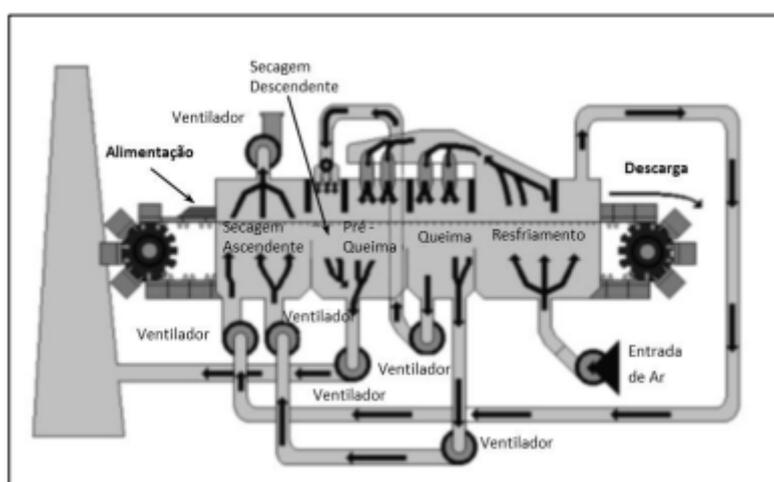


Figura 1. Fluxograma do forno de endurecimento do tipo grelha móvel (Fonte: Matos, 2007).

A energia térmica utilizada no forno de endurecimento responde pela maior parcela do custo total da pelota, independentemente do tipo de combustível utilizado, seja gás natural ou óleo mineral. Uma alternativa para possibilitar a redução do custo da pelota é a utilização de carbono misturado às pelotas verdes como fonte adicional de calor no processamento de minérios de hematita. Segundo HUERTA [2] e GORDON [2] os fornos com a tecnologia *Straight Grate* são capazes de processar maiores quantidades de carbono sólido misturado com as pelotas verdes, portanto, essa tecnologia é utilizada em todas as usinas de pelotização do Brasil em função do alto custo do gás natural que é a principal fonte desses fornos. Ocorreram inúmeros trabalhos de maximização do carbono da pelota verde principalmente na utilização de CVP (Coque verde de petróleo) e Antracito chegando a atingir um ponto ótimo de utilização. A utilização acima desse ponto aumenta a porosidade da pelota e conseqüentemente diminui a sua resistência à compressão, sendo assim um impeditivo para o aumento de carbono na pelota verde. A Figura 2 mostra os testes realizados por HUNTER, relatados por MEYER (1980) [3], mostrando o efeito da adição de carbono na resistência a compressão da pelota onde é possível notar 0,5% de carbono fixo na pelota verde de hematita, a compressão decresce. Já GOLMAKANI [4] relaciona o percentual de antracito com a porosidade da pelota, demonstrado na Figura 3.

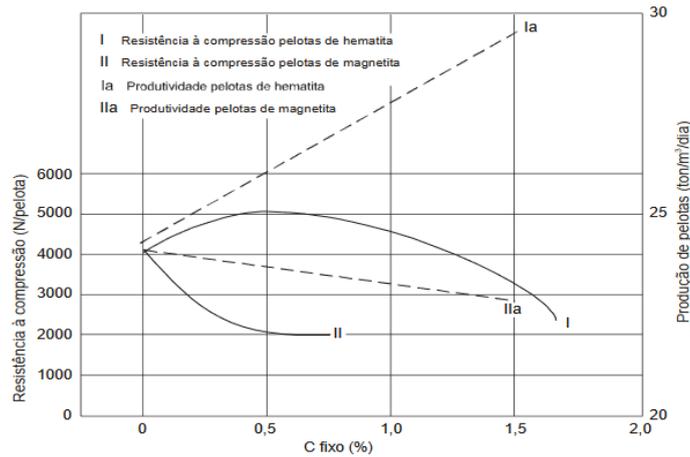


Figura 2. Relação entre adição de carbono, resistência a compressão e produtividade da grelha (Fonte: Meyer, K. 1980)

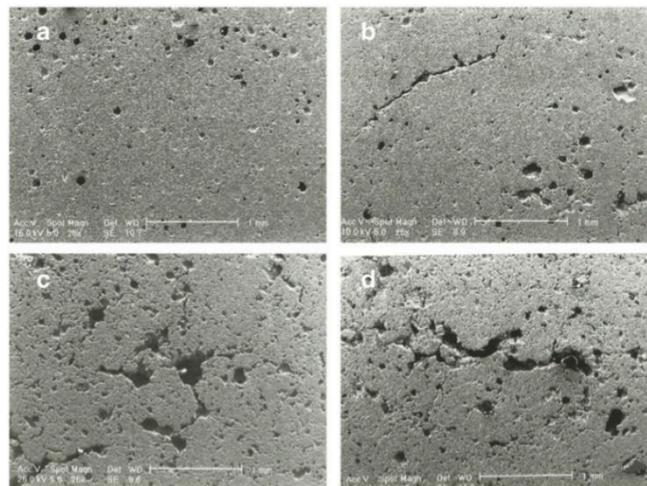
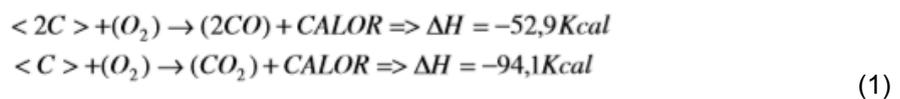


Figura 3. Micrografia de pelotas com % de antracito (a) 0% (b) 0,78% (c) 0,88% (d) 0,95% (Fonte: Golmakani, M. H. 2014)

A utilização de combustível sólido reduz o gradiente de temperatura entre o topo e o fundo do leito possibilitando redução do consumo de combustível gasoso e produtividade.

Dentro dessa linha de análise, pode-se mapear uma nova tecnologia a partir da utilização de briquete combustível no leito de pelotas verdes para o forno tipo *Straight Grate*. Baseado nos fenômenos da sinterização podemos admitir que a utilização de briquete combustível no leito de pelotas poderá contribuir como uma fonte adicional de calor, pois em torno de 800°C (varia em função da reatividade do combustível) iniciam-se as reações de combustão do carbono contido no combustível. Devido ao grande volume de ar que atravessa o leito de pelotas, sua combustão ocorre com excesso de O₂ predominando as seguintes reações exotérmicas, Equação 1:



A queima do briquete combustível, além de grande liberação de calor pode contribuir com uma atmosfera redutora. Segundo BHAGAT [5], a presença de CO no gás de exaustão pode ser explicada pelo fato de que o fluxo de ar rápido no leito carrega o monóxido de carbono produzido na superfície do combustível queimando para a zona fria do leito tão rapidamente que a oxidação pelo oxigênio atmosférico não pode ser concluída.

Um ponto de atenção passa a ser a quantidade de matéria volátil do briquete combustível pois os voláteis se decompõem a temperaturas baixas sendo parcialmente oxidados quando em contato com o ar de processo nas temperaturas da região de pré-queima, esse fato foi mencionado por CHENG [6], que relata que a qualidade do sinter é altamente dependente da taxa de sinterização a uma temperatura acima de 1100°C sendo assim a matéria volátil não é útil para o processo de sinterização.

A presença de matéria volátil contida no briquete combustível também interfere significativamente na reatividade do mesmo que passa a ser maior e as reações de reoxidação dos hidrocarbonetos da matéria volátil passam a ser significativas para o processo na região de pré-queima pois ocorrem na temperatura de trabalho dessa região. Segundo HOBBS [7] a desvolatilização aumenta a porosidade do carvão, o aumento do tamanho dos macro poros ocasiona a elevação da reatividade do carvão. Com isso, podemos assumir que a reatividade do briquete combustível pode variar em função da granulometria, teor de carbono fixo e características metamórficas dos componentes do mesmo.

Conhecer a reatividade do briquete combustível é de suma importância pois interfere diretamente na velocidade das reações e na temperatura do leito, um combustível muito reativo pode ocasionar um violento desprendimento de calor elevando a temperatura do ambiente de 500 até 1400°C mudando completamente a curva de pré-queima da pelota podendo assim influenciar negativamente na sua qualidade.

Preferencialmente, o briquete combustível (30) é adicionado sobre o leito de pelotas verdes (20), conforme mostrado nas Figuras 4 e 5. Nessa configuração, a energia liberada pela queima do briquete combustível é arrastada pelo fluxo de ar para todo o leito de pelotas (ver Figura 5) sem ocasionar uma intensa sinterização das pelotas da camada superior do leito, próxima ao briquete combustível. Conforme mostrado na figura 4, as pelotas verdes são acomodadas em um recipiente conhecido como carro grelha (40) que efetua a transporte das mesmas a uma determinada velocidade através das diversas zonas de processo do forno de pelotização. Preferencialmente, uma camada de forramento (50) constituída de pelotas queimadas é depositada sobre a superfície do carro grelha para proteção do mesmo contra as altas temperaturas do processo de queima.

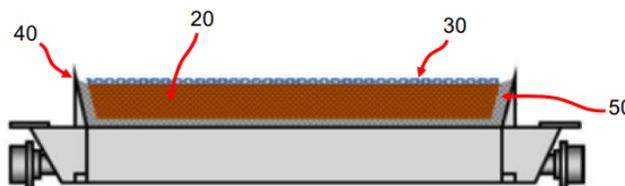


Figura 4. Carro grelha

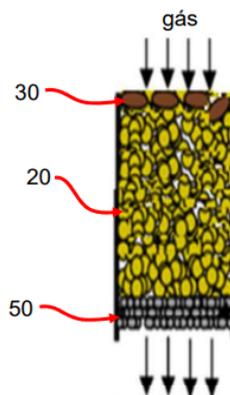


Figura 5. Fluxo gás sobre o leito de pelotas

Assim, conforme exposto acima, a tecnologia em desenvolvimento provê um processo de produção de pelotas queimadas em um forno de pelletização que reduz consideravelmente o gradiente de temperaturas no leito de pelotas durante o processo de queima das mesmas. Além disso, favorece a redução das emissões de gás de efeito estufa quando do uso de briquete de biomassa, fazendo com que o processo de produção de pelotas queimadas em um forno de pelletização seja consideravelmente mais sustentável do que os processos convencionais do estado da técnica.

1.1 A Descarbonização na Vale S.A. [8]

A Vale tem como meta, a redução de 33% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) de Escopos 1 e 2 até 2030 alinhada ao objetivo do Acordo de Paris de limitar o aquecimento global em menos de 2°C. Esse compromisso tem como base as emissões de 2017, que totalizaram 12,2 MtCO₂eq, e foi estabelecido conforme metodologia pautada em ciência.

O *roadmap* de descarbonização incorpora iniciativas de energia renovável para atender a 100% do consumo de eletricidade da Vale a partir de fontes renováveis no Brasil até 2025 e nos demais países até 2030, o que levará a zerar as metas de emissões de Escopo 2. Em 2022, foi atingido 99,95% de renovabilidade no consumo elétrico no Brasil e 86,67% nas operações globais – um marco relevante em relação aos compromissos de descarbonização.

O compromisso em zerar as emissões líquidas de Escopos 1 e 2 (*net zero*) até 2050. Para atingir esse objetivo, apoia-se na redução absoluta de emissões por meio da descarbonização das operações e na neutralização de emissões residuais por meio de iniciativas que removam carbono da atmosfera e créditos de carbono de alta qualidade, alinhados às melhores práticas internacionais.

Em 2020, a Vale se tornou a primeira mineradora do mundo a definir uma meta quantitativa para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Escopo 3, isto é, aquelas relacionadas à própria cadeia de valor. Essas emissões representam 98% do total das emissões do inventário, e sua redução tem relação direta com a parceria entre a empresa e os clientes.

Compromisso também em reduzir as emissões líquidas desse escopo em 15% até 2035, em relação aos níveis de 2018, meta que também foi definida de acordo com metodologia baseada na ciência e alinhada com o cenário de limitar o aumento de temperatura a 2°C. Esta meta será revisada em 2025 e a cada cinco anos, para adaptá-la à evolução tecnológica e às políticas climáticas.

1.2 Patente Verde

Esse trabalho alinhado ao desafio de encontrar soluções inovadoras e sustentáveis, recebeu a Patente Verde pelo número BR102021004299-0, dada a sua comprovação em testes industriais realizados com a utilização do briquete combustível.

1.3 Teste industrial em uma planta de pelotização

Em março do presente ano, um teste de curta duração foi realizado em uma planta de pelotização da Vale S.A., no complexo de Tubarão, no estado do Espírito Santo. O objetivo foi avaliar a performance do sistema implementado com maior capacidade de dosagem quando comparado aos testes anteriores.

O teste industrial ocorreu por meio de bateladas, com dosagens intermitentes de briquetes sobre o leito de pelotas, nos carros grelha do forno de pelotização. As bateladas de teste seguem detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1. Bateladas de teste

Batelada	Nº carros grelha	Dosagem
1	4	8,8kg/t pelota
2	4	8,8kg/t pelota
3	5	8,8kg/t pelota
4	13	8,8kg/t pelota
5	24	9,4 kg/t pelota
6	44	10,2 kg/t pelota
7	50	6,8 kg/t pelota

A dosagem de briquetes por tonelada de pelota variou de 6,8kg kg/t a 10,2kg/t em função das condições operacionais da usina.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Matérias e Métodos

Durante as bateladas de teste, foram coletadas amostras de pelotas queimadas para avaliação dos parâmetros de qualidade química e física.

Além das análises laboratoriais, os registros de imagens por endoscopia possibilitaram a avaliação do comportamento do briquete ao longo das etapas do forno, tais como secagem ascendente, secagem descendente, queima e resfriamento.

Os dados de processo, com destaque para a vazão de gás natural, foram obtidos a partir do software PI system.

2.2 Resultados

2.2.1 Análises Laboratoriais

2.2.1.1 Análises químicas

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises químicas das amostras coletadas durante o teste, referente a produção que recebeu a adição dos briquetes. Não foram observadas alterações relevantes na qualidade da pelota, como por exemplo, incremento de SiO₂ em função das cinzas escorificadas sobre o leito das pelotas.

Tabela 2. Resultados das análises químicas

Parâmetro (%)	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03
Fe	65,73%	66,07%	65,95%
SiO ₂	2,45%	2,27%	2,38%
Al ₂ O ₃	0,52%	0,45%	0,47%
P	0,03%	0,03%	0,03%
Mn	0,09%	0,09%	0,09%
CaO	2,41%	2,40%	2,47%
MgO	0,05%	0,08%	0,10%
TiO ₂	0,07%	0,11%	0,07%

2.2.2.2 Ensaios físicos

Das amostras coletadas, apenas a amostra 03 apresentou resultado de qualidade acima do limite inferior de especificação no parâmetro de compressão, conforme Tabela 3. No entanto, a perda de qualidade não pode ser atribuída ao teste com adição dos briquetes, visto que a usina performou durante todo o dia com desvios nesse quesito por problemas operacionais.

Tabela 3. Ensaios físicos

Parâmetro	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03
Abrasão (%)	4,40%	3,87%	5,53%
Trincas (%)	20,00%	21,00%	17,00%
Compressão (daN)	275	259	296

O gráfico mostrado na Figura 6 apresenta os resultados da produção durante todo o dia.

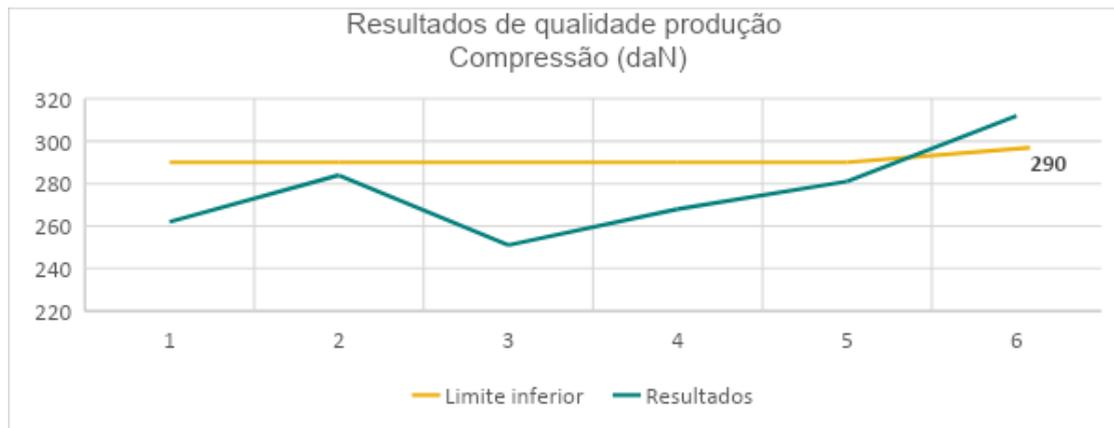


Figura 6. Resultados compressão da produção no dia da coleta das amostras

2.2.2 Endoscopia

Nas imagens obtidas a partir da endoscopia, na Figura 7, foi possível visualizar a distribuição dos briquetes sobre o leito de pelotas na etapa de secagem ascendente, favorecendo uma distribuição uniforme de calor em toda a camada.



Figura 7. Distribuição de briquetes sobre o leito de pelotas cruas.

Já na secagem descendente, observou-se o início de combustão dos briquetes, conforme Figura 8.



Figura 8. Briquetes em início de combustão na secagem descendente.

Na etapa de queima, foi possível identificar a presença de briquete incandescente, mostrado na Figura 9.



Figura 9. Briquetes incandescente na etapa de queima.

2.2.3 Vazão de gás natural

Foi possível obter os resultados relacionados à vazão de gás natural. Esses dados foram extraídos por meio do software PI System e os gráficos foram gerados no Excel. Os impactos positivos desse projeto podem ser visualizados nas Figuras 10 a 14 apresentadas abaixo, com destaque para os momentos de maior ajuste na vazão de gás.

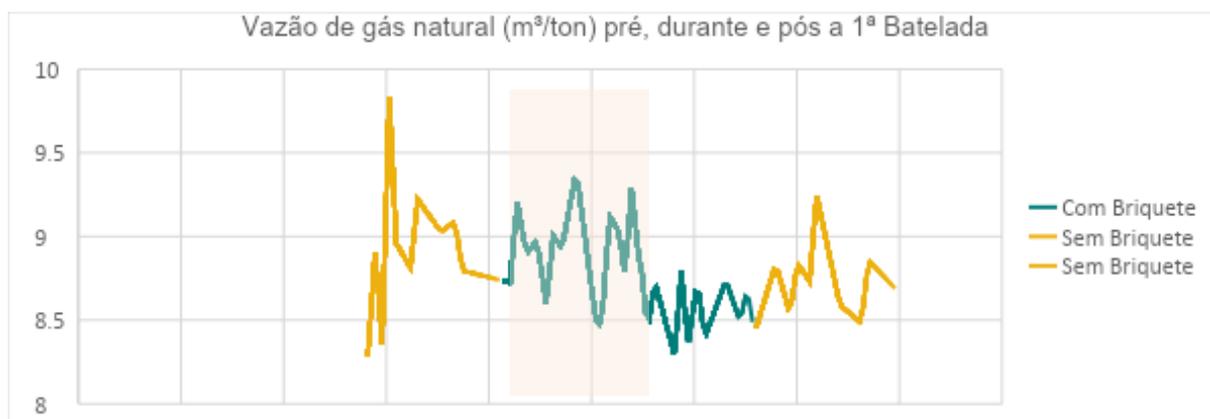


Figura 10. Vazão de gás natural na primeira batelada.

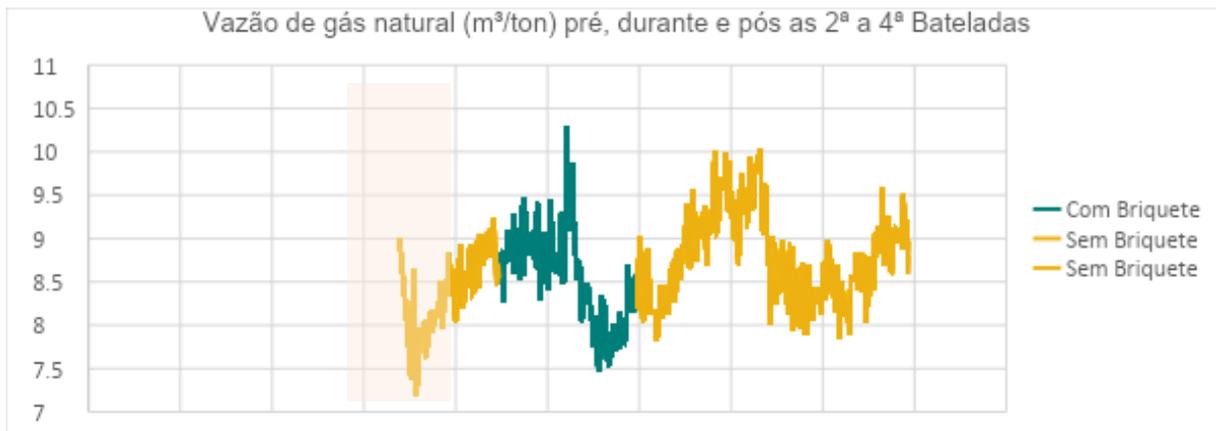


Figura 11. Vazão de gás natural nas 2ª, 3ª e 4ª bateladas

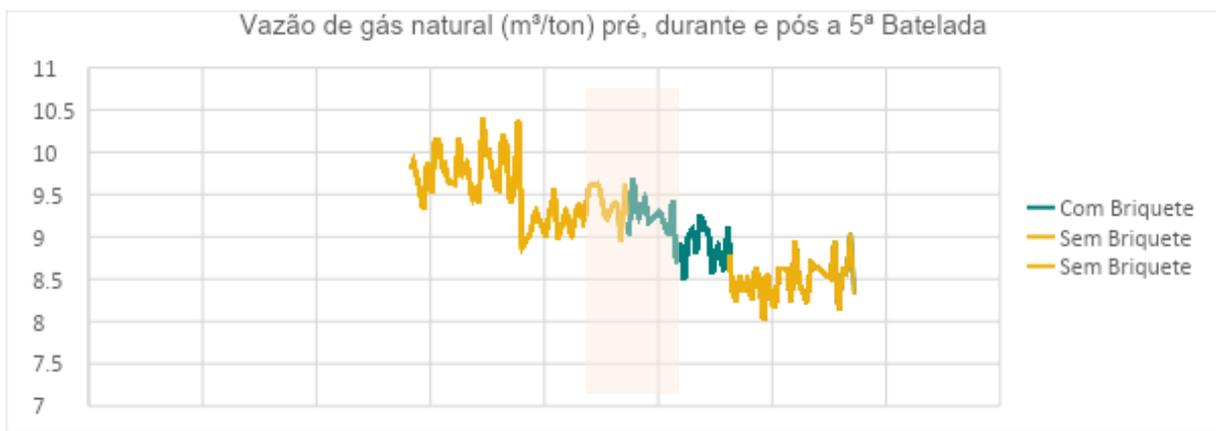


Figura 12. Vazão de gás natural na 5ª batelada

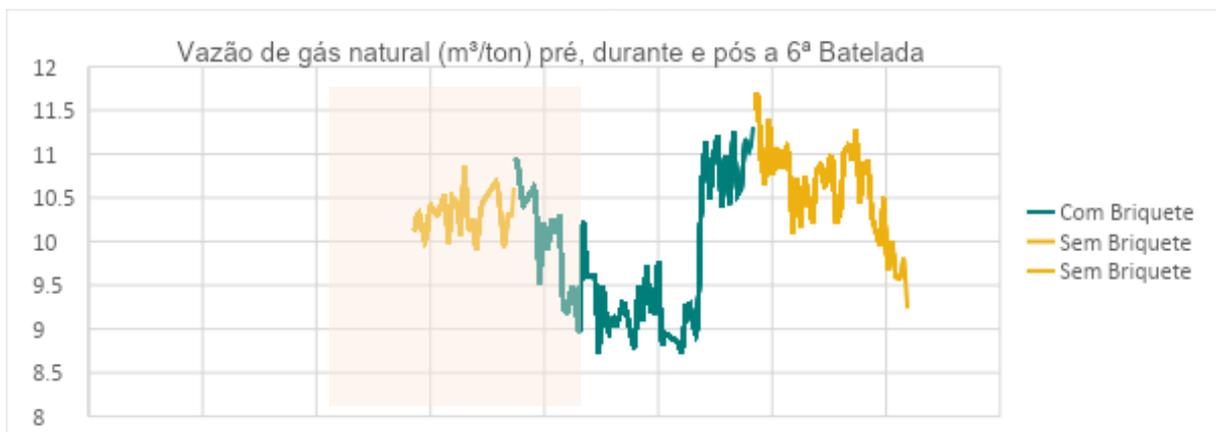


Figura 13. Vazão de gás natural na 6ª batelada

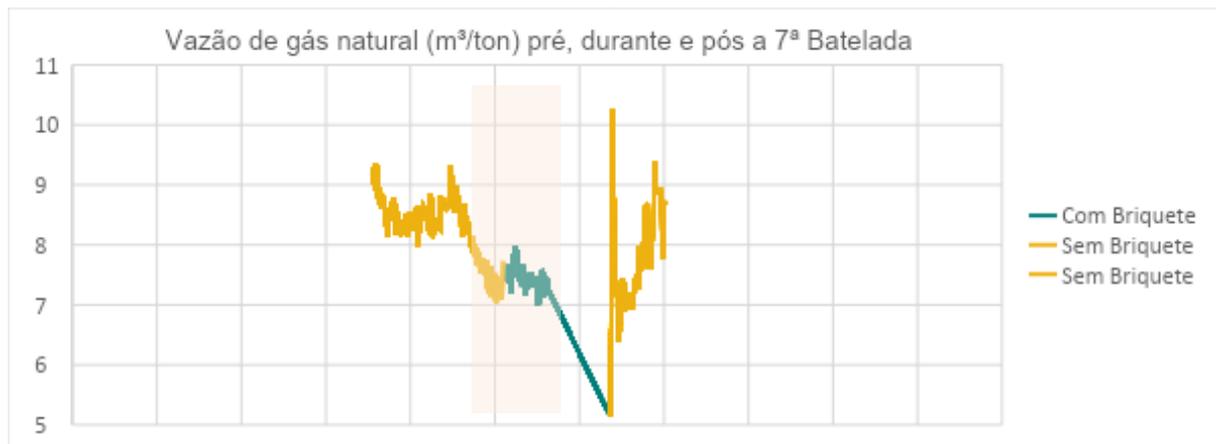


Figura 14. Vazão de gás natural na 7ª batelada

Nas bateladas realizadas, observou-se que, em geral, os resultados estavam de acordo com as expectativas. Houve uma redução na vazão de gás natural necessária para promover a queima das pelotas no forno.

Em alguns momentos, pode-se notar uma permanência de consumo reduzido de gás natural após a batelada, o que pode ser atribuído ao melhor aproveitamento térmico do calor gerado pelo briquete.

3 CONCLUSÃO

Posto isso, conclui-se que, o teste industrial por batelada realizado em março, confirmou que existe uma diferença de consumo de gás natural no processo durante as dosagens de briquetes.

As variações de dosagens precisam ser mais bem exploradas para identificação do consumo ideal de briquetes no forno, de modo a não faltar energia para a completa queima da pelota, mas também, não haver excesso de energia que possa trazer prejuízos à qualidade da pelota e elevação do custo de produção.

As imagens por endoscopia demonstram que ainda há um desafio para a formulação do briquete de biocarbono visando o aumento da temperatura para o início de combustão, de modo que o calor gerado seja melhor aproveitado no processo, isto é, após a etapa de secagem descendente.

Os resultados de qualidade não apresentaram pontos de atenção relacionados ao teste, favorecendo a inclusão do briquete como combustível complementar no processo e potencial redução de CO₂eq emitido pelas operações da Vale como compromisso da Descarbonização.

REFERÊNCIAS

1. FONSECA, O. V.; CAMPOS, A. R. **Tratamento de minérios 6ª edição**. Capítulo 15 página 694 (2018).
2. HUERTA, M.; GORDON, Y. **Comparison of pelletizing Technologies**. In: 8th International Congress on Science and Technology of Ironmaking, 26 Set. 2018. 6p.
3. MEYER, K. **Pelletizing of Iron Ores**. Germany:Springer – Verlag Berlin Heidelberg, New York, 1980- pp. 138-139
4. GOLMAKANI, M. H.; LAGZIAN, Y.; GHANZANFARI, R. M.; SAIDI, A. **Simultaneous energy saving and production rate improvement in pelletizing process by solid fuel addition**. In: International Journal of Mineral Processing, 2015.

5. BHAGAT, R. P. **Fundamentals of Iron Ore Sintering.** In *Processing of Iron Ore*, 2007, pp. 132-149.
6. CHENG, Z.; YANG, J.; ZHOU, L; LIU, Y.; WANG, Q. **Characteristics of charcoal combustion and its effects on iron-ore sintering performance.** In *Applied Energy*, 2015, pp. 364-374.
7. HOBBS, M. L.; RADULOVIC, L. D.; SMOOT, L. D. **Combustion and gasification of coals in fixed-beds.** In *Prog. Energy Combust. Sci*, 1993, pp. 505-586.
8. **Estratégia e gestão para descarbonização.** Vale S.A. Disponível em: <https://vale.com/pt/esg/estrategia-e-gestao-para-descarbonizacao>. Acesso em: 14 de Maio de 2024.