

EFEITO DO PONTO DE ADIÇÃO DO COMBUSTÍVEL NO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO¹

Thiago Pinto Silva²
Renata Cristina Alves Elias³
Beatriz Fausta Gandra⁴

Resumo

A introdução do misturador intensivo na sinterização industrial da Usiminas permite a utilização de *pellet feed*, diminuindo o teor de sílica no sinter. Entretanto, nesta condição operacional, existe a possibilidade do aprisionamento do combustível nas partículas micro pelletizadas e quase partículas. Este fato pode diminuir a eficiência da combustão, refletindo num menor rendimento e resistência física do sinter. Neste contexto, foi investigado, em escala piloto, o efeito da alteração do ponto de adição do combustível sólido na etapa de aglomeração a frio, comparando a adição do combustível ao final desta etapa, no tambor, com aquela feita junto à mistura de minérios, no início da aglomeração a frio (misturador intensivo). Os resultados mostraram significativa elevação da resistência do sinter com a adição do combustível ao final da etapa de aglomeração a frio, mantendo a produtividade e o rendimento.

Palavras-chave: Sinterização; Misturador intensivo; Combustível; *Pellet feed*.

THE SOLID FUEL ADDITION POINT EFFECT IN THE SINTERING PROCESS

Abstract

The introduction of intensive mixer at Usiminas's Sinter Plant allows the use of pellet feed, decreasing the sinter's silica content. However, in this kind of operation, solid fuel could be trapping in the quasi-particles and micro-pellets. This fact could disfavor the combustion efficiency, reflecting negatively on sinter's yield and mechanical resistance. In this context, it was evaluated in a pilot scale, the effect of changing the solid fuel addition point in the mixture, comparing the fuel addition at the end of cold agglomeration step (at final time of drum agglomerator) with that made in the ore's blending step (at initial time intensive mixer) from Usiminas's Sinter Pilot Plant. The results showed a significant change in the sinter's mechanical resistance, maintaining productivity and yield.

Key words: Sinter plant; Intensive mixer; Fuel; Pellet feed.

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheiro Metalurgista, Centro de Tecnologia Usiminas, Membro da ABM, Ipatinga, MG, Brasil.

³ Engenheira Química M.Sc., Centro de Tecnologia Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

⁴ Engenheira Metalurgista M.Sc., Centro de Tecnologia Usiminas, Membro da ABM, Ipatinga, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A instalação do misturador intensivo na sinterização da Usiminas permite o uso de *pellet feed*, visando a redução do teor de sílica no sinter. O misturador foi adquirido para homogeneizar a mistura a sinterizar e por isso foi instalado antes do tambor, que por sua vez tem a função de aglomerar. Contudo, a função do misturador pode ser alterada de homogeneizador para aglomerador por meio da combinação do tempo de residência com a rotação dos agitadores. O limite entre essas duas funções parece ser dependente também da capacidade de aglomeração a frio dos minérios. Na Figura 1 é mostrado o novo *layout* da Planta de Sinterização 1 e 2 da Usiminas – Usina de Ipatinga.

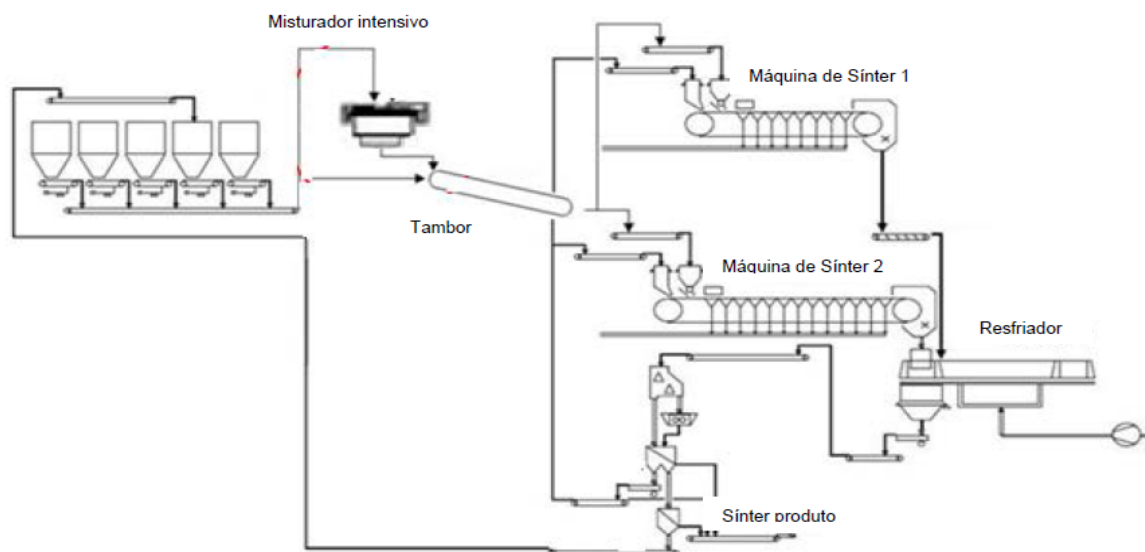


Figura 1. Desenho esquemático do *layout* da Planta de Sinterização 1 e 2 da Usiminas - Usina de Ipatinga.

Com a participação de um minério extremamente fino e uso do misturador intensivo no processo, a função do combustível sólido passa a ser fundamental na formação da matriz de escória no sinter. No entanto, o combustível sólido presente na mistura de minério de ferro com alta capacidade de aglomeração a frio pode ser aprisionado nas quase partículas e micro pelotas, influenciando negativamente a sua eficiência, gerando maior quantidade de retorno (redução do rendimento) e reduzindo a resistência física do sinter.

Duas possibilidades de aprisionamento do combustível podem ser consideradas (Figura 2). A primeira se dá pela formação da micro pelota com o combustível sólido concentrado na região central (Figura 2a). A segunda, pelo posicionamento do combustível na quase partícula (Figura 2b), na qual aquele mais próximo da partícula nucleante tende a ser indesejável.

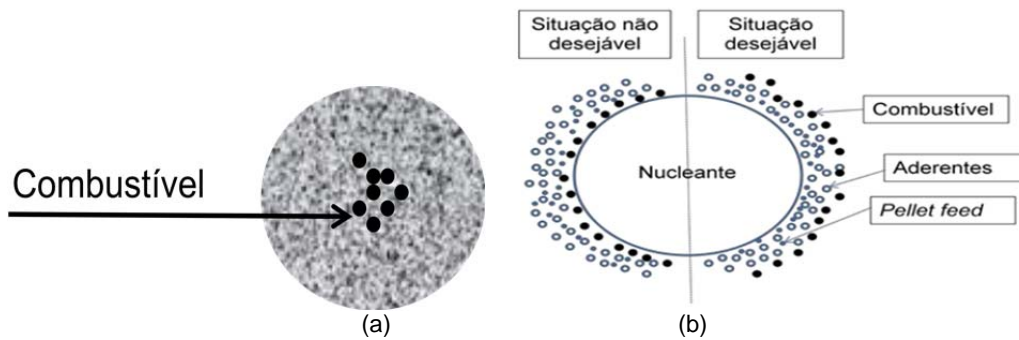


Figura 2. Desenho esquemático do eventual aprisionamento do combustível na micro pelota (a) e quase partícula (b).

Neste cenário, uma das formas de se evitar tais condições para o combustível é a alteração do seu ponto de adição no processo de sinterização, visando posicioná-lo na região externa da quase partícula. Em sinterizações convencionais o combustível é adicionado junto com as demais matérias-primas antes de entrar na etapa de aglomeração a frio. Na Figura 3 pode-se notar que na etapa de aglomeração a frio da Usiminas, o combustível é adicionado junto com as demais matérias-primas no misturador intensivo.

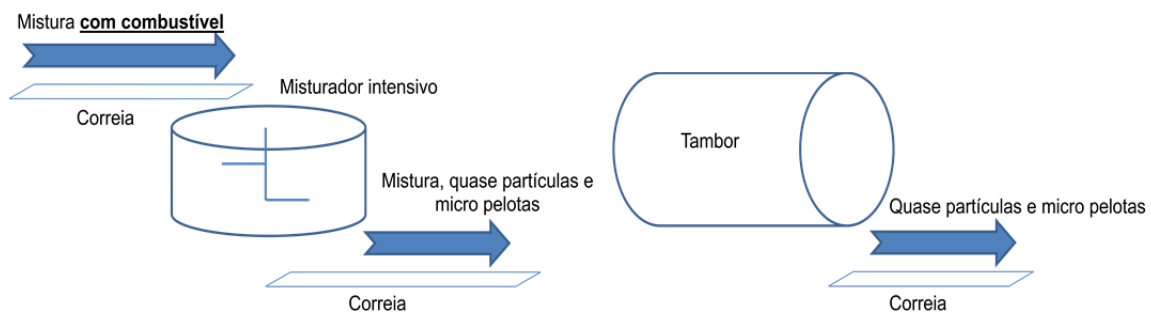


Figura 3. Desenho esquemático do fluxo da matéria-prima na etapa de aglomeração a frio da Usiminas.

Segundo Efimov et al.⁽¹⁾ a adição de combustível no fim de processo de aglomeração a frio melhorou os indicadores de produção (redução do combustível e aumento da produtividade) e de qualidade do sinter, em escala piloto. Assim, o presente estudo se propôs a investigar o efeito da alteração do ponto de adição do combustível em sinterização piloto utilizando a rota mostrada na Figura 4 e comparando-a à situação na qual o combustível foi adicionado junto com as matérias-primas.

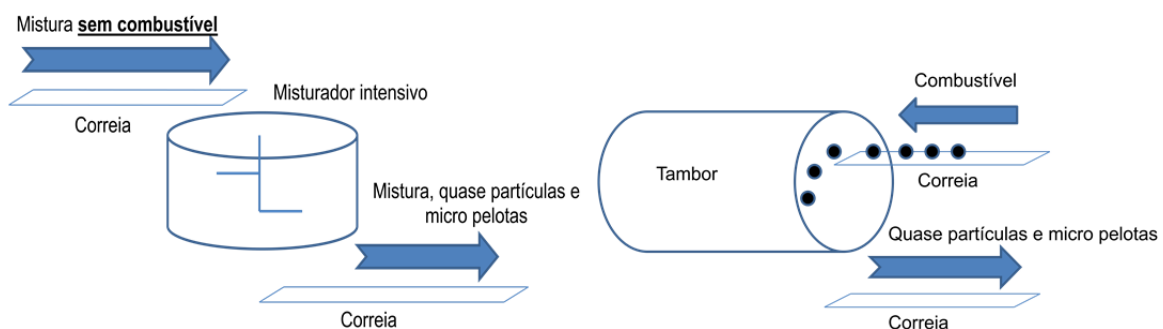


Figura 4. Desenho esquemático do fluxo proposto da matéria-prima na etapa de aglomeração a frio na Usiminas, com adição do combustível na saída do tambor.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Testes na Máquina Piloto de Sinterização da Usiminas foram realizados para avaliar o efeito do ponto de adição do combustível ao final da etapa de aglomeração a frio. As características da panela e do processo são apresentadas na Tabela 1. O processo iniciou pela homogeneização da mistura no misturador intensivo, com posterior aglomeração no tambor e, finalmente, o carregamento na panela piloto de sinterização. O sínter produzido foi submetido ao impacto, por meio de duas quedas de uma altura de 2 m, e a abrasão, com 5 voltas em um tambor, visando simular a degradação do sínter industrial da Usina de Ipatinga. O sínter degradado foi classificado em peneiras (5 mm e 10 mm), sendo a faixa maior que 5 mm considerada como sínter produto.

Tabela 1. Parâmetros da panela e do processo de sinterização piloto

Altura da camada	500 mm
Diâmetro da panela	300 mm
Relação ar/COG (<i>Coke Oven Gas</i>)	5,2
Altura do <i>bedding</i>	20 mm
Massa do <i>bedding</i>	3 kg
Tempo de ignição	1 min
Depressão durante ignição	600 mmH ₂ O
Depressão durante a queima	1.100 mmH ₂ O
Tempo de residência (misturador intensivo)	2 min
Rotação do agitador (misturador intensivo)	120 RPM
Diâmetro do agitador (misturador intensivo)	350 mm
Velocidade tangencial na ponta do agitador (misturador intensivo)	6,3 m/s
Tempo de residência (tambor)	8 min
Rotação do tambor	14 RPM
Adição da água	100% no misturador intensivo
Umidade ótima	8%

Uma mistura com 80 kg de matérias-primas cuja proporção e tipo são apresentados na Tabela 2 foi utilizada para fabricar dois tipos de sínter. O primeiro sínter (considerado como referência - Sínter I) foi fabricado com a adição do combustível junto com as demais matérias-primas na etapa inicial da aglomeração a frio no misturador intensivo, e o segundo sínter (Sínter II), a partir da adição do combustível ao final desta etapa no tempo 6 min do tambor.

No sínter referência foi adicionado 3,3% de combustível da mistura parcial para atingir o rendimento de 76,5% (23,5% de retorno), sendo este valor de combustível mantido para o Sínter II.

Tabela 2. Proporção de matérias-primas

Matérias-primas	Proporção (%)	
	Minério de ferro	Mistura total
<i>Sinter feed</i>	75	37,08
<i>Pellet feed</i> (concentrado)	25	12,36
Calcário	-	4,76
Dolomita	-	4,52
Cal	-	2,93
Minério de manganês	-	2,72
Pó do alto-forno	-	0,33
Rejeito industrial	-	0,65
Degradado (sinter < 5 mm)	-	5,22
Carepa	-	0,65
Pó da sinterização	-	1,98
Coque	-	1,65
Antracito	-	1,65
Retorno (sinter < 5 mm)	-	23,50
Total	100	100

Dois tipos de minérios *sinter feed* e *pellet feed* (concentrado) foram adicionados nesta mistura. A composição granulométrica e química destes minérios é apresentada nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Os combustíveis sólidos foram compostos pelo coque e antracito, cuja composição granulométrica e química é apresentada nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. O peneiramento foi realizado a seco. As técnicas para análise química foram via úmida (Fe_T e FeO), espectrometria de fluorescência de raios-x (SiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , MnO , TiO_2 , CaO e MgO), gravimetria por calcinação (perda por calcinação - PPC, cinza e matéria volátil - MV) e combustão com detecção por infravermelho (carbono).

Tabela 3. Distribuição granulométrica dos minérios de ferro

Faixa (mm)	<i>Sinter feed</i>		<i>Pellet feed</i> (concentrado)	
	Retido (%)			
	Simplex	Acumulado	Simplex	Acumulado
> 6,35	5,16	5,16	2,38	2,38
3,36	16,60	21,76	8,61	10,99
1,00	26,37	48,13	10,99	21,98
0,710	6,57	54,70	1,53	23,51
0,500	5,67	60,37	1,35	24,86
0,300	9,78	70,15	2,15	27,01
0,250	7,18	77,33	1,39	28,40
0,150	9,42	86,75	2,95	31,35
0,104	5,54	92,29	3,85	35,20
0,074	3,01	95,30	6,52	41,72
0,063	2,70	98,00	6,66	48,38
0,045	1,00	99,00	10,88	59,26
< 0,045	1,00	100	40,74	100
Tamanho médio (mm)	1,66		0,91	

Vale reassaltar que o *pellet feed* apresentou partículas grosseiras para a sua classificação, contudo apresentou 40,74% de partículas abaixo de 45 μm , sendo considerado então como concentrado.

Tabela 4. Composição química dos minérios de ferro

Tipo	% em peso						
	Fe _T	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	PPC	CaO	MgO
<i>Sinter feed</i>	63,4	0,8	5,37	1,70	2,12	0,04	0,06
<i>Pellet feed (Concentrado)</i>	65,2	0,7	4,15	0,92	1,55	0,01	0,01

Tabela 5. Distribuição granulométrica dos combustíveis sólidos, retido acumulado, %

Malha (mm)	> 9,52	6,35	3,36	1,00	0,71	0,50	0,30	0,25	0,15	0,104	0,074	< 0,045
Coque	0,48	1,33	5,29	34,13	45,19	55,45	69,28	75,25	82,47	88,05	91,56	100
Antracito	0,12	0,24	5,82	43,31	55,71	66,92	78,76	85,40	92,27	95,25	96,98	100

Tabela 6. Composição química dos combustíveis sólidos

Tipo	% em peso		
	C fixo	MV	Cinza
Coque	85,1	2,50	10,94
Antracito	73,7	12,3	15,16

A resistência mecânica do sinter foi avaliada por meio do teste de queda (*Shatter Test*), conforme JIS M 8711.

Para avaliar a posição do combustível nos agregados (quase partícula e micro pelota) utilizou-se o microscópio óptico. Coletou-se amostra com 1 kg de mistura antes do carregamento na panela de sinterização. Após quarteamento, 500 g desta amostra foram levados à estufa com temperatura em 80°C durante o tempo necessário para atingir a umidade de 3%. Esta mistura foi classificada em peneiras com malhas de 4,76 mm, 2,83 mm, 1,00 mm, 0,50 mm e 0,25 mm, originando a distribuição granulométrica dos agregados. Estas faixas foram desagregadas com água e secas em estufa a 105°C durante 60 min. Com as amostras secas, procedeu-se à classificação das partículas não aglomeradas com as mesmas peneiras usadas anteriormente, originando a distribuição granulométrica das partículas primárias.

Procedeu-se da mesma maneira com a outra parte da amostra quarteada, até a classificação dos agregados. A partir dessa etapa as frações > 4,76 mm, 4,76 mm ~ 2,83 mm e 2,83 mm ~ 1,00 mm foram preparadas para análise no microscópio óptico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5 são mostrados os resultados do *pot test* e da resistência mecânica do sinter. A produtividade e a velocidade da frente de queima (FFS – *Flame Front Speed*) não foram influenciadas significativamente pela alteração do local de adição do combustível (Figura 5a). Todavia, o *shatter index* apresentou expressiva elevação (Figura 5b). O rendimento não apresentou elevação suficiente para aumentar significativamente a produtividade.

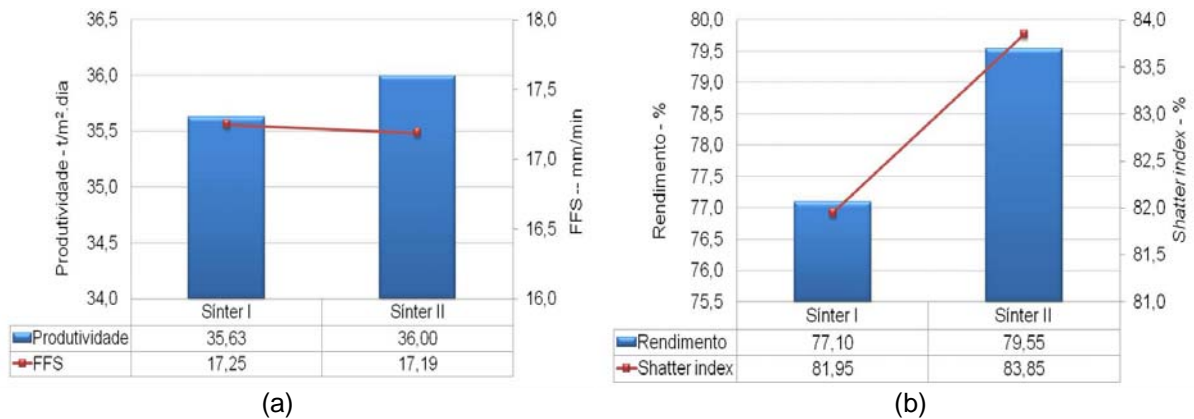


Figura 5. Influência da alteração do ponto de adição do combustível na produtividade e velocidade da frente de queima - FFS (a) e no rendimento e *shatter index* (b).

Na Figura 6 são mostradas as curvas de temperatura em função do tempo durante o processo de queima dos dois tipos de sinteres, na qual se nota similaridade.

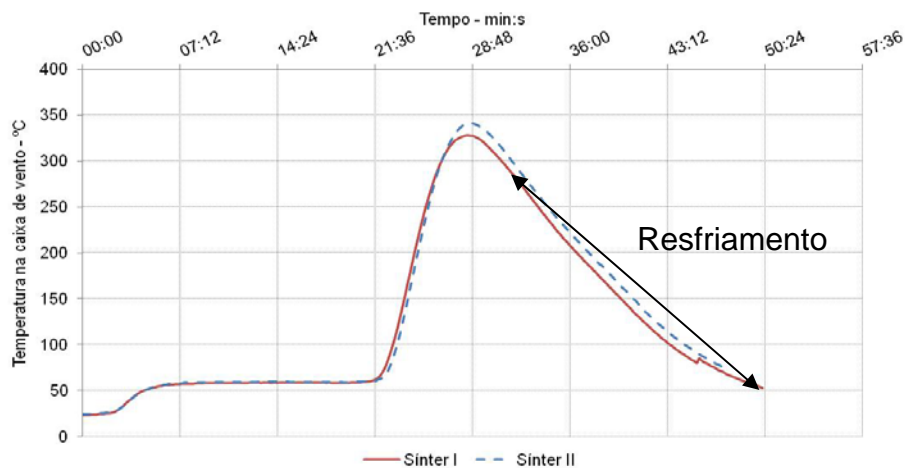


Figura 6. Perfil térmico do processo de fabricação dos Sínteres I e II.

A composição química dos sinteres é apresentada na Tabela 7. Foi observada ligeira elevação do teor de FeO no Sinter II.

Tabela 7. Composição química dos sinteres

Sínter	Fe _T	FeO	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	IB*
I	55,60	3,50	10,90	5,34	1,51	1,43	2,04
II	55,40	4,20	10,90	5,34	1,52	1,43	2,04

*IB: índice de basicidade (CaO/SiO₂)

As distribuições granulométricas dos agregados (A) e das partículas primárias (PP) são mostradas na Figura 7. É possível notar a similaridade entre as distribuições dos dois tipos na mistura I (Sinter I) e II (Sinter II), mostrando que não houve influência da alteração do ponto de adição do combustível, respaldando o tempo de sinterização similar obtido pelos dois tipos de sinteres (Figura 6).

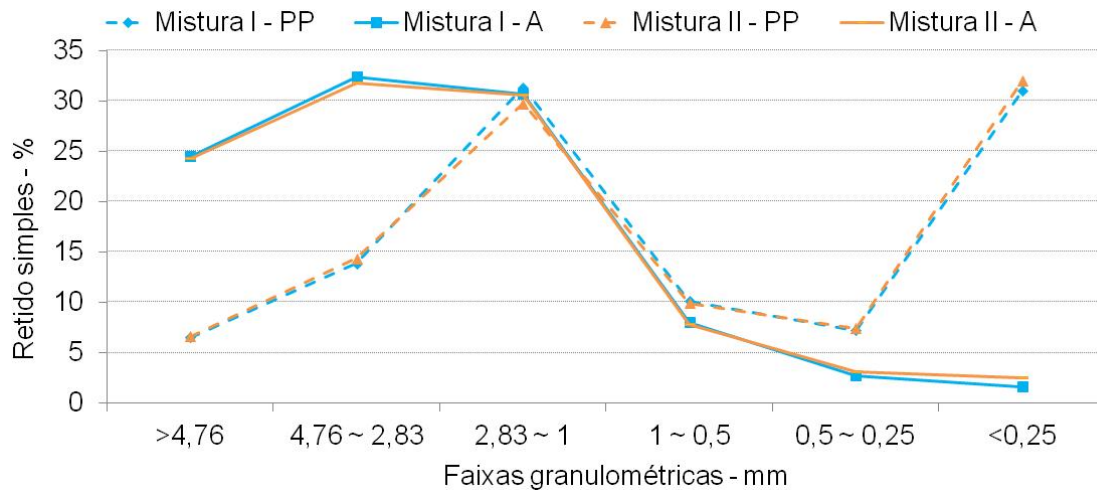


Figura 7. Distribuição granulométrica dos agregados (A) e partículas primárias (PP).

A elevação da resistência mecânica do Sínter II em relação ao Sínter I, Figura 5, pode ser explicada pela configuração do combustível na mistura à sinterizar. Na Figura 8 são mostradas configurações sugeridas para o combustível adicionado ao início (Figura 8a) e ao final da etapa de aglomeração a frio (Figura 8b). Na primeira situação o combustível pode ter participado como nucleante ou ter sido aprisionado em micro pelotas, não fornecendo calor no lugar apropriado - camada aderente. A situação desejável pode ter ocorrido para o Sínter II, conforme configuração mostrada na Figura 8b.

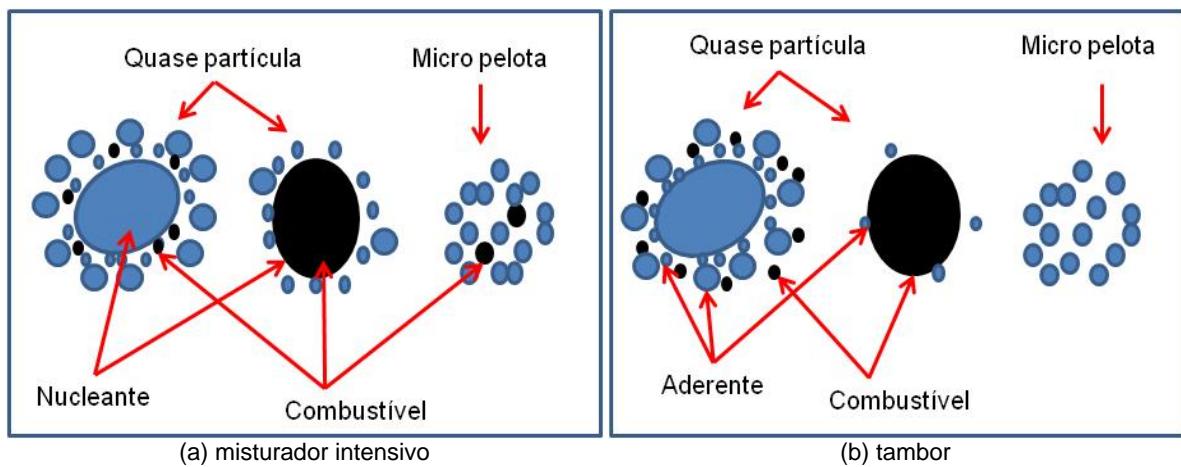


Figura 8. Possíveis configurações da posição do combustível, considerando seu ponto de adição.

As configurações sugeridas conforme Figura 8a foram confirmadas ao se investigar a posição dos combustíveis sólidos adicionados ao início da aglomeração a frio no microscópio óptico. O combustível apareceu como nucleante, aderente e na região central da micro pelota.

Na Figura 9 é mostrada uma quase partícula cujo combustível (círculos em destaque) localizou-se na camada aderente, alguns na interface com a partícula nucleante e outros distantes.

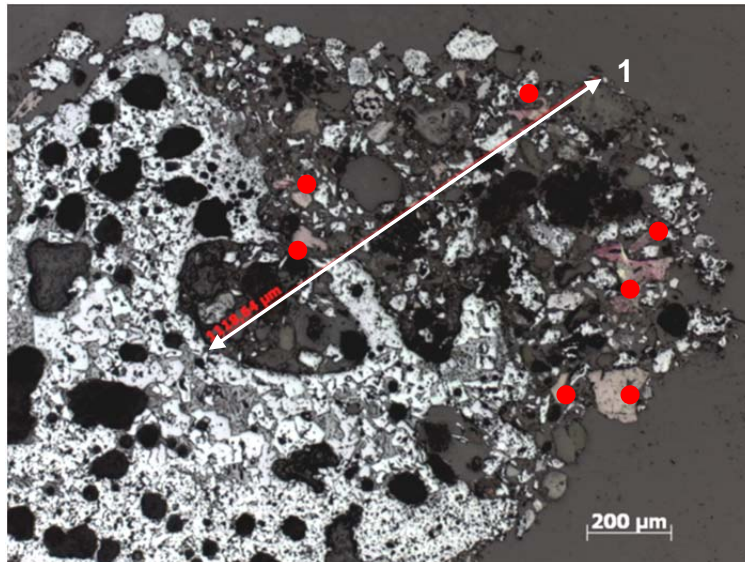


Figura 9. Combustível localizado na camada aderente da quase partícula. Aumento 100 x. (1) 1118,64 μm .

Na Figura 10 pode-se observar a presença de combustível que se comportou como nucleante na quase partícula. Nota-se ainda, a presença de partículas finas de combustíveis como aderentes ao próprio combustível nucleante.

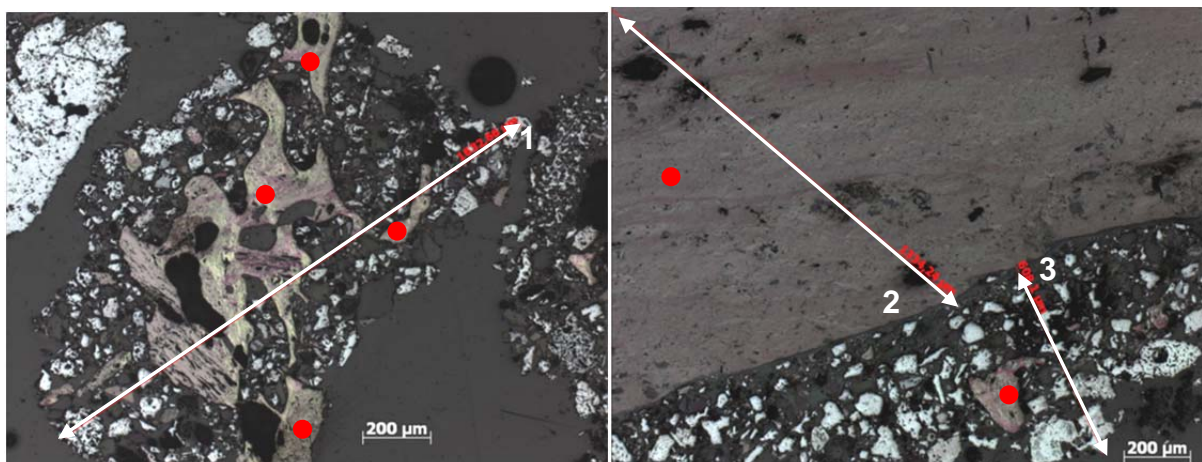


Figura 10. Combustível atuando como nucleante e aderente. Aumento 100 x. (1) 1635,66 μm ; (2) 1334,24 μm ; (3) 608,1 μm .

Em relação às micro pelotas, o combustível foi encontrado na região central e periférica, conforme Figura 11.

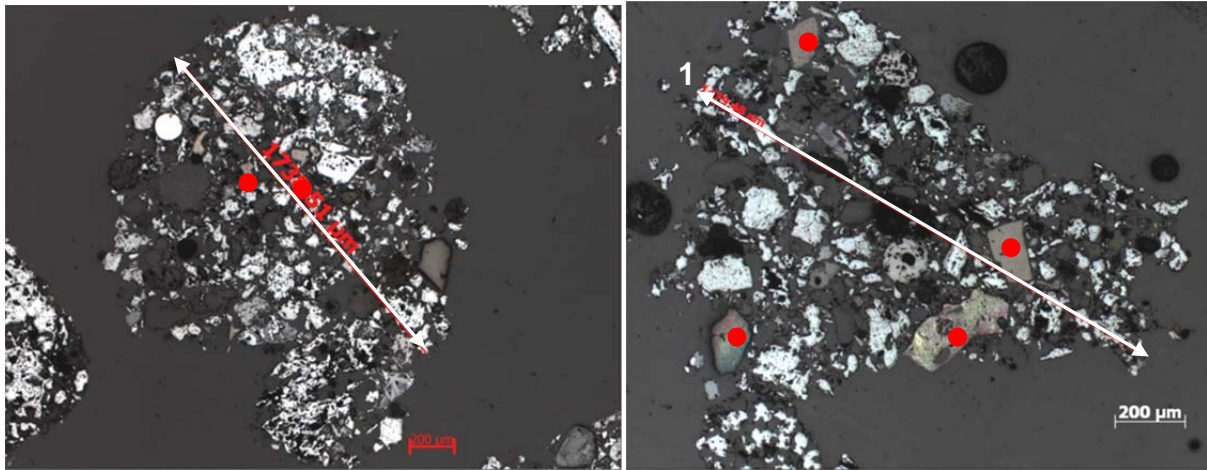


Figura 11. Combustível na micro pelota. Aumento 100 x. (1) 1479,48 µm.

Investigando a posição dos combustíveis sólidos quando adicionados ao final da aglomeração a frio, notou-se também a confirmação das configurações sugeridas na Figura 8b. O combustível apareceu como partícula não aglomerada, como aderente e na região periférica da micro pelota.

Na Figura 12 é possível notar a presença majoritária do combustível como aderente na região externa da quase partícula.

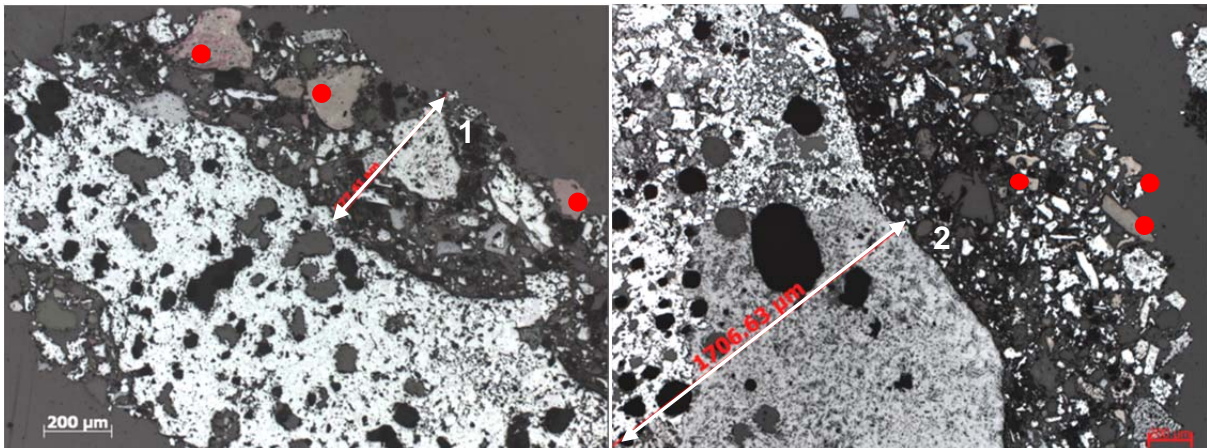


Figura 12. Combustível na camada aderente da quase partícula. Aumento 100 x. (1) 477,41 µm; (2) 1706,63 µm.

Na Figura 13 é mostrada a condição em que o combustível poderia se comportar como nucleante, porém não o fez, por não dispor de tempo para aglomerar, apresentando como partículas não aglomeradas ou com pouca aderência de partículas finas. Neste caso o combustível está em condições de entrar em combustão imediata, o que não aconteceria para o caso de estar envolto por partículas de minério de ferro.

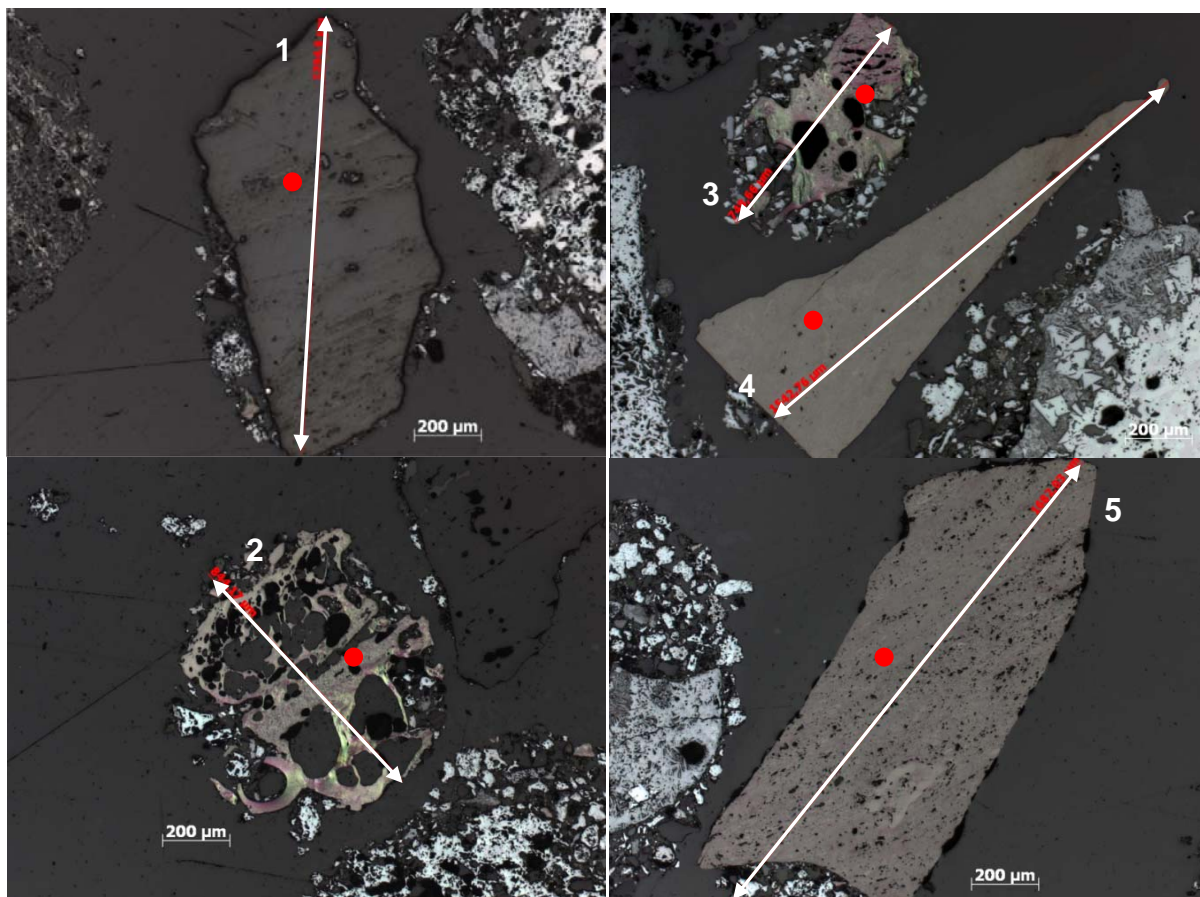


Figura 13. Combustível não aglomerado. Aumento 100 x. (1) 1294,9 µm; (2) 844,17 µm; (3) 748,66 µm; (4) 1542,76 µm; (5) 1682,03 µm.

E por fim, na Figura 14 é mostrada a condição em que o combustível foi posicionado na região externa da micro pelota.

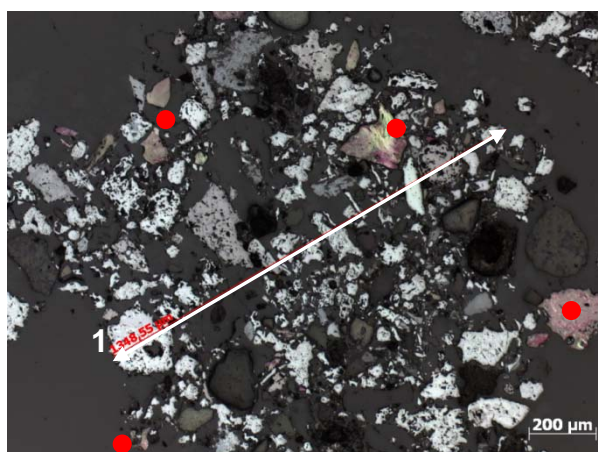


Figura 14. Combustível na micro pelota. Aumento 100 x. (1) 1348,55 µm.

A camada aderente das quase partículas pode ser dividida em duas regiões (Figura 15), sendo que a primeira (região 1) possui interface com a partícula nucleante e a segunda (região 2) não. Na região 1 verifica-se que as partículas aderidas possuem tamanho similar e menor do que aquelas pertencentes à região 2. Logo, pode-se dizer que com a adição de *pellet feed* associado ao uso do misturamento intensivo a região 1 tende a aumentar.

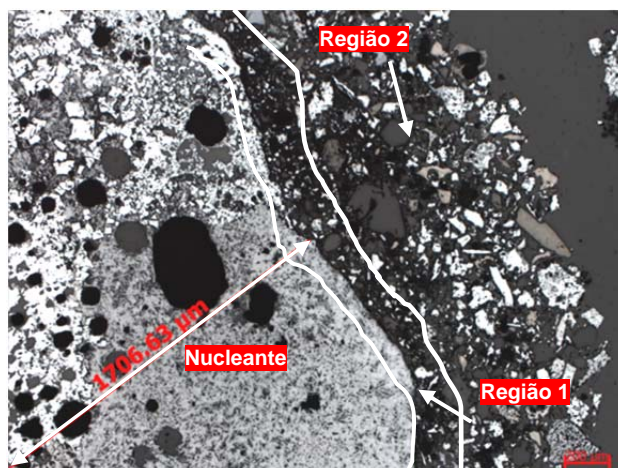


Figura 15. Regiões da quase partícula. Aumento 100 x. Escala 200 µm.

Pode-se estimar então que a elevação do tamanho do combustível seja uma alternativa válida para se evitar a sua presença na região 1. Por outro lado, esta condição poderia elevar a largura da frente de combustão, implicando em redução do tempo de sinterização. Desta forma, estudos para verificação do limite adequado da granulometria dos combustíveis devem ser desenvolvidos.

4 CONCLUSÃO

Foi avaliado em escala piloto, o efeito da alteração do ponto de adição do combustível na rota de processo da sinterização. Essa adição, feita normalmente junto à mistura à sinterizar na entrada no misturador intensivo foi alterada para o final da etapa de aglomeração a frio no tambor.

Em termos de processo de sinterização, a alteração não afetou consideravelmente a produtividade (+ 0,37 t/dia.m²) mesmo com a elevação do rendimento de sínter (+ 2,45%), contudo a resistência mecânica foi melhorada (+ 1,90%).

A melhoria da resistência mecânica pode ser atribuída à disposição mais favorável dos combustíveis nos agregados, permitindo o contato imediato com o ar e, desta forma, aumentando a eficiência da combustão na matriz de escória.

Considerando o cenário em produção de minério de ferro, que indica a necessidade de maior adição de *pellet feed* na sinterização, o combustível deve ser alterado. O ponto de adição na mistura, associado à adequação da granulometria, indica ser o melhor caminho para a produção de sínter com manutenção de sua qualidade.

REFERÊNCIAS

- 1 EFIMOV, S. P; NEVMERZHITSKII, E. V; ZEVIN, S. L; POKOTILOV A. G; e, NIKITIN, V. D. Improving sinter-plant performance indices by adding fuel at end of mix pelletization. Izvestiya VUZ Chernaya Metallurgiya, p. 25-28, fev. 1979.