

INFLUÊNCIA DA PERDA DE PRESSÃO DE SUÇÃO DOS GASES DE EXAUSTÃO NO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO*

Lindaure de Souza Cândido d'Avila¹
Railson Nogueira de Azevedo²
Robert Nogueira de Azevedo³
Maurício Covcevich Bagatini⁴

Resumo

O presente trabalho teve o intuito de avaliar, em planta piloto, a influência da perda de pressão de sucção dos gases de exaustão nos parâmetros de produtividade da sinterização, consumo específico de combustível, rendimento da mistura total e qualidade do síter. Foram realizados testes com diferentes valores de pressão de sucção dos gases de exaustão controlados em 1.200, 1.000 e 800mmH₂O. A partir dos resultados dos testes avaliados foi possível verificar a influência da perda de pressão de sucção dos gases de exaustão no desempenho do processo de sinterização e seu impacto na qualidade do síter produzido. Os resultados demonstraram que com o aumento crescente da perda de pressão de sucção dos gases de exaustão ocorreu significativa queda de produtividade da sinterização, queda dos valores de índice de degradação sob redução (RDI), queda do consumo de combustível e aumento dos valores de índice de redutibilidade (IR), rendimento da mistura total e teste de tambor (TI).

Palavras-chave: Sinterização; Pressão de Sucção; Produtividade; Qualidade do Síter.

INFLUENCE OF THE LOSS OF SUCTION PRESSURE OF THE EXHAUSTION GAS INTO SINTERING PROCESS

Abstract

This study aimed to evaluate, in pilot plant, the influence of the loss of suction pressure of the exhaustion gases in sintering productivity parameters, fuel specific consumption, total mixture yield and quality of the sinter. Tests were performed with different values of suction pressure of the exhaustion gases which were controlled in 1.200, 1.000 and 800mmH₂O. From of the results of these tests it was possible to verify the influence of the loss of suction pressure of the exhaustion gases in the performance of the sintering process and its impact on the quality of the sinter produced. The results demonstrated that, with the increasing loss of suction pressure of the exhaustion gases, there was significant sintering productivity drop, drop of the reduction disintegration index (RDI), drop of the fuel consumption, and rise of the reducibility index (IR), total mixture yield and tumbler test (TI).

Keywords: Sintering; Suction Pressure; Productivity; Sinter Quality.

¹ Membro da ABM; Engenheira Metalurgista, M. Sc., Assessora Técnica da Área de Sinterizações Usina Ouro Branco, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.

² Técnico Metalurgista, Consultor Independente da Área de Sinterizações, Ouro Branco, MG, Brasil.

³ Matemático, Especialista em Sinterização, Assessor Técnico da Área de Sinterizações da Usina Ouro Branco, Gerdau, Ouro Branco, MG, Brasil.

⁴ Dr., Professor, nas Áreas de Siderurgia, Depto. de Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGEM, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Entre os parâmetros de controle do processo de sinterização, o fluxo de ar passante através da camada a sinterizar influencia a produtividade da sinterização e a qualidade do sinter produto. O fluxo de ar passante através da camada a sinterizar depende da permeabilidade do leito, da resistência da frente de combustão e do desempenho dos sistemas de vedação de exaustão da máquina de sinter (*Azevedo et al.*, 2013).

O volume de ar succionado por unidade de massa de mistura que atravessa a camada a sinterizar desde o início do processo de sinterização até o ponto em que a temperatura máxima dos gases de exaustão é atingida, incluindo o volume de vapor de água e dióxido de carbono proveniente do processamento da mistura é definido como volume específico de ar necessário para que ocorra a troca térmica e propagação da frente de combustão.

A perda de pressão de sucção dos gases de exaustão no processo de sinterização ocorre na maioria das vezes devido à entrada excessiva de ar falso, principalmente entre as barras de vedação lateral da máquina de sinterizar, selagem das caixas de vento inicial e final, fechamento lateral dos carros de grelha, dampers duplos, juntas de expansão, flanges, caixas de vento, pernas de vento e dutos do sistema de exaustão da máquina de sinterizar.

Na Figura 1 estão apresentados resultados de perda de pressão de sucção dos gases de exaustão ocorrida em um processo industrial de sinterização medida ao longo do tempo.

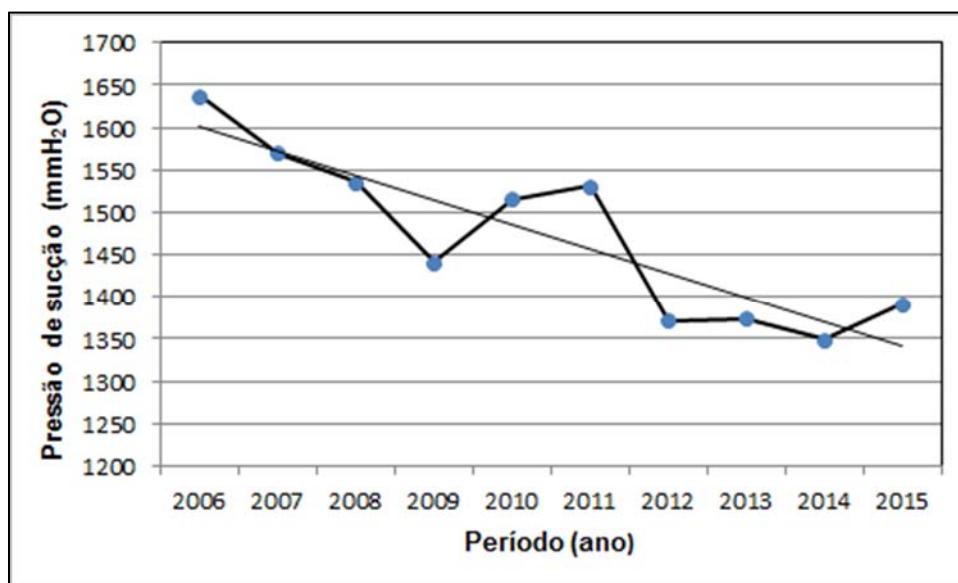


Figura 1. Queda de pressão de sucção dos gases de exaustão em uma planta de sinterização industrial.

A condição apresentada na Figura 1 tem-se a redução do volume específico de ar, sobrecarregando o sistema de exaustão com consequentes perdas para o processo de sinterização.

Este trabalho teve o objetivo de investigar a influência de diferentes valores de pressão de sucção dos gases de exaustão no desempenho do processo de sinterização e qualidade do sinter produzido em escala piloto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Matérias-primas

Para esse estudo, uma mistura de minérios de ferro padrão foi fixada para determinar a influência da pressão de sucção dos gases de exaustão sobre os parâmetros do processo e a qualidade do sinter obtido. Os materiais constituintes da mistura a sinterizar foram preparados e homogeneizados conforme a Norma ABNT-NBR 8956.

A Tabela 1 apresenta a composição química e distribuição granulométrica de cada matéria-prima utilizada para compor a mistura a ser sinterizada. O minério nomeado blendado corresponde a uma mistura e foi considerado como a matéria-prima base para o cálculo da mistura, enquanto os *sinter feed* A e B foram utilizados respectivamente para ajustar o teor de SiO₂ e a fração menor que 0,149mm.

Tabela 1. Composição química e distribuição granulométrica das matérias-primas

Materiais	Composição Química (%)									Cf	Cz
	FeT	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnT	P	PPC			
Blendado	61,15	2,36	4,45	1,14	0,76	0,34	0,028	3,17			
Sinter Feed A	40,95	0,07	36,84	2,61	0,06	0,63	0,026	1,05			
Sinter Feed B	64,30	0,10	3,59	1,79	0,06	0,42	0,024	1,68			
Calcário	0,29	54,80	0,92	0,16	0,35	0,02	0,025	43,05			
Dolomita	3,97	26,90	4,14	0,50	19,57	0,53	-	42,72			
Cal	0,04	89,08	1,36	0,27	0,04	-	0,081	8,33			
Coque	1,26	0,39	6,97	2,96	0,15	0,02	0,327	86,54	83,77	13,46	
Antracito	1,06	0,83	6,28	2,37	0,23	0,01	0,035	88,00	81,55	12,00	
Materiais	Distribuição Granulométrica em mm (% retido)										
	6,35	2,83	1,00	0,25	0,149	0,125	0,105	0,063	0,044	<0,044	
Blendado	7,82	18,88	16,08	14,50	9,26	3,85	1,40	16,78	6,53	4,88	
Sinter Feed A	3,61	10,31	7,86	9,88	6,59	3,40	2,44	25,72	9,25	20,94	
Sinter Feed B	9,10	8,14	11,26	18,67	12,37	5,24	3,81	15,23	11,21	4,97	
Calcário	12,70	12,48	13,29	37,89	7,02	1,77	-	-	-	14,84	
Dolomita	1,81	20,47	20,31	14,72	11,18	6,38	1,89	11,73	8,35	3,15	
Cal	0,11	2,74	10,38	10,93	21,53	0,00	25,68	17,05	0,00	11,58	
Coque	0,00	2,09	17,99	45,67	14,18	20,07	0,00	0,00	0,00	0,00	
Antracito	1,37	41,09	23,90	25,27	1,67	6,70	-	-	-	-	

A Tabela 2 apresenta a composição do blendado (porcentagem de cada material) e a Tabela 3 o percentual em massa das matérias-primas que compuseram a mistura preparada (porcentagem na mistura parcial).

Tabela 2. Porcentagem das matérias-primas que compõem o blendado utilizado para os testes de sinterização em escala piloto.

Sinter Feed	Degradado	Lixo Industrial	Dolomita
80,07%	12,00%	4,67%	3,26%

Tabela 3. Porcentagem em massa das matérias-primas que compuseram a mistura (porcentagem na mistura parcial) utilizada para os testes de sinterização em escala piloto.

Blendado	Sinter Feed A	Sinter Feed B	Calcário	Dolomita	Cal
81,28%	2,40%	4,29%	2,80%	4,23%	5,00%

2.2 Testes em sinterização piloto

Para a execução dos testes em escala piloto, empregou-se a metodologia francesa e utilizou-se a mesma mistura a sinterizar para os diferentes valores de pressão de sucção.

Após a realização dos testes foram determinados os principais parâmetros de desempenho como: consumo de combustível, produtividade da sinterização, velocidade de sinterização, consumo de síter retorno e rendimento da mistura total. Além disso, foram feitas análises da composição química, metalúrgica (Redutibilidade – Norma ISO7215 e Degradação sob Redução – Norma ISO4696-2), de distribuição granulométrica e de resistência mecânica (*Tumbler Test* - ISO 3271) dos síteres produzidos.

Os testes foram realizados em triplicada para três pressões distintas de sucção. A Tabela 4 apresenta a identificação dos testes de sinterização com diferentes valores de pressão de sucção dos gases de exaustão da máquina de sinterizar. Conforme mostra a tabela, a pressão de sucção foi alterada apenas na etapa de sinterização e foi mantida constante nas etapas de ignição e resfriamento.

Tabela 4. Identificação dos testes de sinterização com diferentes valores de pressão de sucção.

Identificação		Pressão de sucção (mmH ₂ O)		
		Ignição	Sinterização	Resfriamento
Nível 1	Teste 1	900	1.200	700
	Teste 2	900	1.000	700
	Teste 3	900	800	700

Os testes de sinterização seguiram o padrão adotado que visa garantir a confiabilidade dos resultados mantendo-se os seguintes critérios:

- Teor de umidade das misturas com variação de $\pm 0,2$ pontos percentuais em relação ao valor visado;
- Massa de mistura seca carregada $\leq 2\%$ da massa entre as queimas;
- Tempo de sinterização $\leq 5\%$ entre queimas;
- Balanceamento de síter retorno de 95% a 105% do síter retorno carregado com variação de 5,0 pontos percentuais entre as queimas (massa do síter retorno gerada deverá ficar no intervalo indicado em relação à massa do síter retorno carregado).

Na Tabela 5, estão apresentadas as premissas de qualidade química objetivada para o síter produto e demais parâmetros do teste na sinterização piloto.

A participação do síter retorno foi mantida em aberto para o ajuste de seu balanceamento (síter retorno gerado/síter retorno carregado igual a $1,0 \pm 0,05$ pontos percentuais). Como combustíveis, foram utilizados coque e antracito (55% de coque + 45% de antracito).

Tabela 5. Característica química objetivada para o sinter e principais parâmetros de processo.

Parâmetro	Condições fixa
Teor de SiO ₂ previsto no sinter	6,00%
Teor de MgO previsto no sinter	1,55%
Basicidade	1,70
Fração maior que 1,0mm na mistura de minérios	40%
Fração menor que 0,149mm na mistura de minérios	35%
Teor de MnT previsto no sinter	Residuais da mistura
Teor de Al ₂ O ₃ previsto no sinter	Menor que 1,80%
Cal na mistura parcial	5,00%
Combustível sólido	3,65%
Umidade da mistura a sinterizar	7,20%
Tempo de misturamento/homogeneização	8 minutos
Altura da camada de mistura	470mm
Massa de falsa grelha	4,5kg
Tempo de ignição	1 minuto
Temperatura final de resfriamento	90° C

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta a variação da temperatura do gás de exaustão durante o processo de sinterização da mistura para as diferentes pressões de sucção testadas. Os dados de temperatura dos gases servem como indicativo da evolução da frente de combustão medida em termos da temperatura dos gases de exaustão durante o processo de sinterização. As curvas apresentadas permitem a identificação das regiões de ignição, evolução da frente de combustão, ponto final de queima e resfriamento.

O tempo de sinterização é medido desde o instante da ignição até o ponto final de queima quando o processo atinge temperatura máxima. Em seguida, a temperatura tende a estabilizar e inicia-se o resfriamento. Como pode ser visto na Figura 2, o tempo de sinterização do teste 1 (1.200mmH₂O) foi menor que o teste 2 (1.000mmH₂O) que por sua vez, foi menor que o teste 3 (800mmH₂O). Observa-se, portanto, que um maior fluxo de ar no leito eleva substancialmente a velocidade de sinterização com conseqüente aumento de produtividade da sinterização.

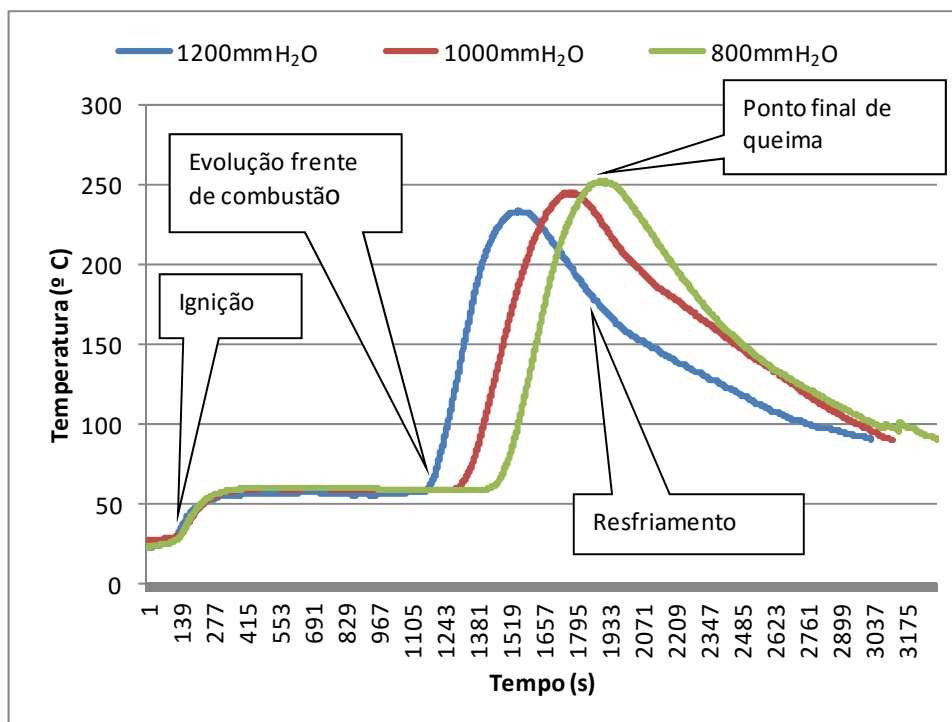


Figura 2. Evolução da temperatura dos gases de exaustão no processo de sinterização em escala piloto.

3.1 Parâmetros de sinterização em escala piloto

Na Figura 3 estão apresentados os resultados dos principais parâmetros de desempenho obtidos nos ensaios em planta piloto de sinterização.

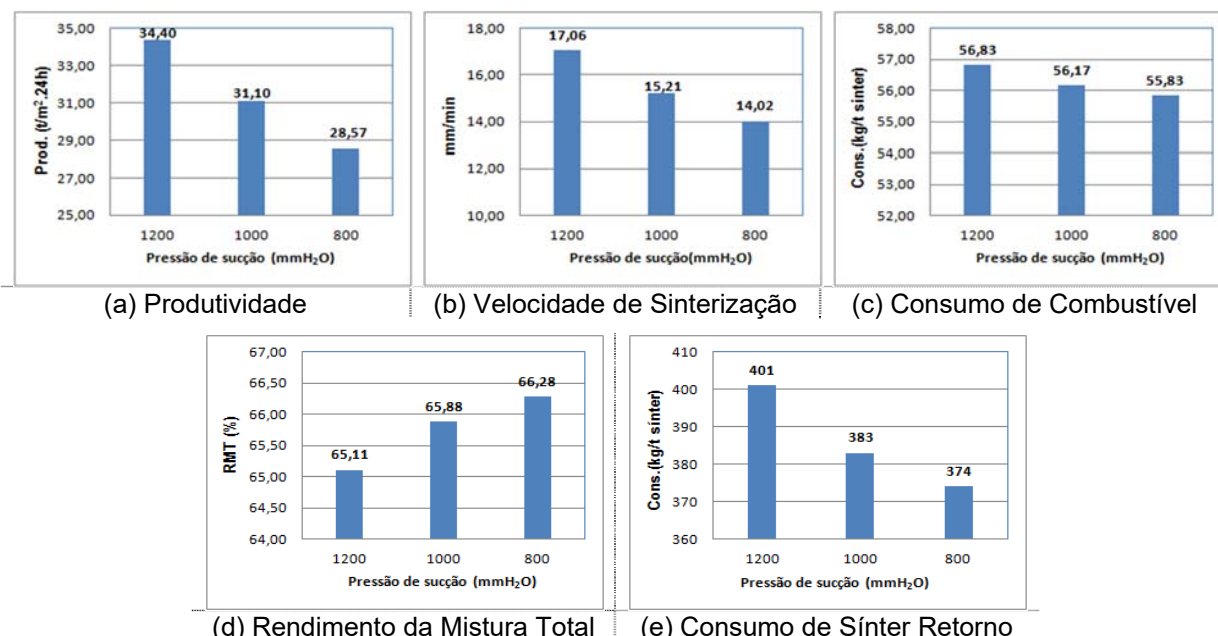


Figura 3. Principais parâmetros de desempenho obtidos nos ensaios com diferentes valores de pressão de sucção dos gases de exaustão

Os resultados dos índices de desempenho em questão apontam para uma significativa influência da pressão de sucção dos gases de exaustão nas condições testadas. A Figura 3 (a) mostra um aumento de produtividade com a elevação da

pressão de sucção. Isso ocorre devido ao aumento do fluxo de ar que atravessa a camada a sinterizar, aumentando conseqüentemente a velocidade da frente combustão e por sua vez de sinterização (Figura 3 – (b)). De outro lado, nota-se que existe uma forte tendência de perda de produtividade da sinterização quando se reduz a pressão de sucção dos gases de exaustão.

O consumo de combustível também é um parâmetro de importância no desempenho da sinterização e os resultados obtidos para as condições testadas são apresentados na Figura 3 (c). Observa-se um maior consumo de combustível com o aumento da pressão de sucção. Esse fato se deve a maior quantidade de sinter retorno (fração menor que 5,0mm gerada após o peneiramento do bolo de sinter), adicionada à mistura, favorecendo a redução do rendimento da mistura total, aumentando conseqüentemente o consumo específico de combustível, conforme apresentado na Figura 3 (c) até (e).

3.2 Qualidade dos sinteres produzidos

A Figura 4 (a) apresenta os resultados dos ensaios de tamboramento realizados para os sinteres. Observa-se um aumento da resistência mecânica do sinter com a redução da pressão de sucção. Esse comportamento pode ser atribuído a menor velocidade de sinterização dos testes com menor pressão de sucção. Devido a menor velocidade de sinterização, tem-se uma maior eficiência de combustão fazendo com que o material atinja maiores temperaturas com tempos de residência mais longos. Essa condição térmica diferenciada deve ter favorecido a formação de um sinter de maior resistência mecânica.

As Figuras 4 (b) e (c) apresentam respectivamente o comportamento da degradação sob redução e redutibilidade dos sinteres em função da pressão de sucção utilizada. O RDI e RI são importantes parâmetros utilizados para prever o comportamento de degradação do sinter em baixas temperaturas e redução no alto-forno. Os valores de RDI estão relacionados à composição química do sinter e das fases formadas durante o processo de aquecimento, fusão incipiente e resfriamento que formam o sinter. Nota-se através da Figura 4 (b) que o sinter obtido com pressão de sucção de 1.200mmH₂O apresenta níveis de RDI muito superiores aos demais, enquanto que a redutibilidade foi superior para o sinter obtido com 800mmH₂O.

Estudos tem demonstrado que a formação de hematita secundária, resultante da recristalização da hematita primária durante o processo de sinterização, contribui para o aumento dos valores de RDI, bem como maiores taxas de combustível na mistura a sinterizar contribuem para a obtenção de valores mais baixos desse parâmetro (Garbers-Craig *et al.*, 2003). Acredita-se que as maiores temperaturas atingidas e o maior tempo devido a menor velocidade do avanço da frente de combustão gerada com pressões de sucção de 1.000 e 800mmH₂O favoreçam a formação de estruturas (ferritos de cálcio) que contribuam para a obtenção de baixos valores de RDI.

O índice de redutibilidade do sinter teve um aumento significativo quando do teste com pressão de sucção dos gases de exaustão em 800mmH₂O, conforme Figura 4 (c). A maior redutibilidade do sinter formado com a menor pressão de sucção pode ser resultado da maior eficiência de queima decorrente dessa condição, promovendo a formação de uma estrutura mais porosa que as demais. A porosidade, a estrutura e as fases minerais formadas no sinter estão intimamente relacionadas com a sua redutibilidade.

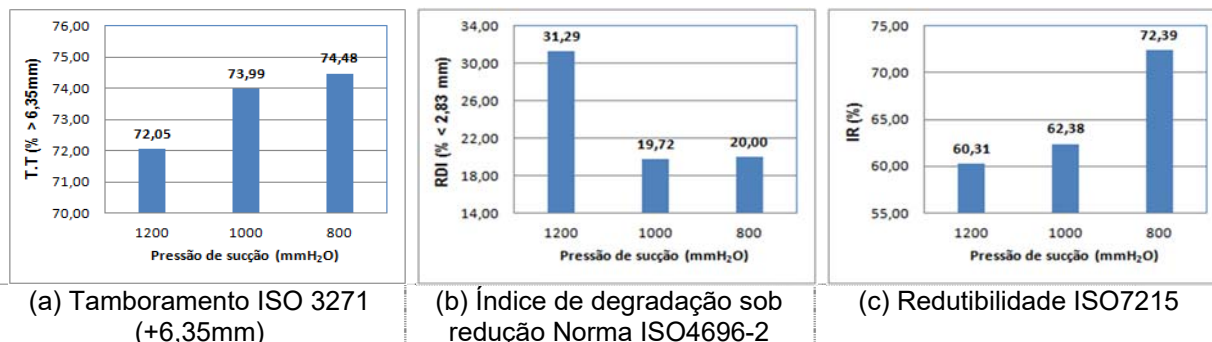


Figura 4. Índice de degradação sob redução (a) e redutibilidade(b) para para os sinteres produzidos.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados de composição química e distribuição granulométrica de cada sínter produzido nos ensaios realizados. Para os resultados de análises de distribuição granulométrica houve um aumento crescente da fração maior que 50mm para pressão de sucção do teste 1 (1.200mmH₂O) em comparação ao teste 3 (800mmH₂O). Essas variações se devem possivelmente aos mesmos fatores térmicos já comentados, sendo que um maior tempo de residência promove uma melhor aglomeração a quente das partículas. As variações de qualidade do sínter foram consideradas aceitáveis.

Tabela 6. Análises química e granulométrica dos sinteres produzidos.

ANÁLISE QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DO SÍNTER				
Item	Unidade	Teste-1	Teste-2	Teste-3
FeT	%	56,57	56,43	56,43
CaO	%	9,91	9,94	9,95
SiO ₂	%	5,94	5,87	6,04
Al ₂ O ₃	%	1,59	1,65	1,64
MgO	%	1,70	1,68	1,72
MnT	%	0,46	0,45	0,45
Basicidade Binária		1,67	1,69	1,65
P	%	0,038	0,037	0,036
FeO	%	7,13	6,45	6,31
Tamanho Médio	mm	23,83	24,81	25,42
Fração menor que 5,0mm	%	1,26	1,24	1,32
Fração maior que 50mm	%	4,82	6,13	8,07
Fração maior que 25mm	%	35,73	36,78	35,79

Os resultados dos testes realizados demonstraram uma grande influência da perda da pressão de sucção dos gases de exaustão nas propriedades do sínter e nos parâmetros de processo de sinterização. Acredita-se que com a perda da pressão de sucção o volume de ar succionado por unidade de tempo, passante através da camada de sínter, diminuiu. Com isto, a velocidade de propagação da onda térmica e conseqüentemente da frente de combustão também diminuiu, principalmente pela menor velocidade de combustão dos combustíveis que são dependentes da presença de ar para que possam ocorrer as reações gás/sólido.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse trabalho permitiram concluir que reduzir a taxa de fluxo de ar passante através da camada a sinterizar, controlada através da pressão de sucção, influencia significativamente os principais parâmetros do processo de sinterização, bem como a qualidade do sinter produzido.

Observou-se que a produtividade da sinterização diminui com a redução da pressão de sucção dos gases de exaustão durante o processo de sinterização, pois o menor fluxo de ar aumenta o tempo de sinterização para que as reações do processo se completem. Esse fato pode ser explicado pela variação da pressão de sucção dos gases de exaustão quando em valores mais baixos, a velocidade do avanço da onda térmica será menor, causando alargamento da frente de combustão com perda de permeabilidade da camada a sinterizar.

Observou-se também, que as menores pressões de sucção testadas favorecem a obtenção de sínteres com maior resistência mecânica, menores índices de RDI e maior redutibilidade. Esses fatos podem ser explicados pelo maior nível de temperatura atingido em menores pressões de sucção bem como maiores tempos de residência em temperaturas elevadas.

As informações obtidas no presente trabalho, com base nos resultados apresentados sobre o desempenho do processo de sinterização e qualidade do sinter quando da redução da pressão de sucção dos gases de exaustão, são úteis para otimizar a operação das plantas industriais, bem como detectar como os possíveis efeitos de automação da máquina podem alterar o desempenho do processo e a qualidade do sinter.

REFERÊNCIAS

- 1 A.M. Garbers-Craig, J.M.A. Geldenhuis, W.J. Jordaan, and P.C. Pistorius – The influence of increased air flow on the spatial variation of iron sinter, p. 645 – 650, dezembro 2003.
- 2 Morchon, J; Cores, A; Bustinza, R.I, Vedeja, F.L; Robla, I. J; Carcedo, G. F; Iron ore sinter part 2. Quality indices and productivity, p. 168 – 177, fevereiro 2014.
- 3 Centro de pesquisa da Usiminas. Influência da Velocidade de Sinterização no Grau de Oxidação do Sinter, p. 5 – 9, Abril de 1975.
- 4 ARAÚJO FILHO, G. M. Caracterização de misturas para sinterização. Dissertação de Mestrado aprovada pelo CPGEM/EEUFMG, Belo Horizonte, 1984.
- 5 GOLDRING, D. C. and FRAY, T. A. – Characterization of iron ores for production of high quality sinter. - Ironmaking and Steelmaking, 1989, Vol. 16, Nº02.
- 6 AZEVEDO, R. N; DAVILA, L. S. C. et al. Curso de Sinterização. GERDAU OURO BRANCO, MG, Brasil, p. 32-66, 2013.
- 7 LOO, C. E.; TAME, N.; PENNY, G. C. Effect of iron ores and sintering conditions on flame front properties. ISIJ International, v. 52, n. 06, pp, 967-976, 2012.