

# AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE DIFERENTES MINÉRIOS DE FERRO NO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO\*

Ramon Serafim Reis<sup>1</sup>  
Lindaure de Souza Cândido d'Ávila<sup>2</sup>  
Robert Nogueira de Azevedo<sup>3</sup>  
Adailton Henrique de Sousa<sup>4</sup>  
Fernando Gabriel da Silva Araújo<sup>5</sup>

## Resumo

Este estudo busca a caracterização de diferentes tipos de minérios de ferro para a maximização da produtividade na sinterização. O intuito foi avaliar, em escala piloto, as diferentes características de quatro tipos de minérios de ferro oriundos do Quadrilátero Ferrífero. A partir dos resultados de produtividade e de qualidade do sínter obtido, foi possível avaliar o efeito de cada minério de ferro. Tais resultados indicam diferentes comportamentos na unidade piloto de sinterização.

**Palavras-chaves:** Minério de Ferro; Sinterização; Produtividade; Qualidade do Sínter.

## EVALUATION OF THE BEHAVIOR OF DIFFERENT IRON ORES IN THE SINTERIZATION PROCESS

### Abstract

This study seeks the characterization of different types of iron ores to maximize sintering productivity. The purpose was to evaluate, in pilot scale, the different characteristics of four types of iron ores from the Quadrilátero Ferrífero. From the results of productivity and quality of the obtained sinter, it was possible to evaluate the effect of each iron ore. These results indicate different behaviors in the pilot sintering unit.

**Keywords:** Iron ore; Sintering; Productivity; Quality of Sínter.

1. *Engenheiro Metalurgista, Mestrando em Engenharia de Materiais na REDEMAT/UFOP, Técnico na Área de Sinterizações da Gerdau Usina Ouro Branco, Ouro Branco, MG, Brasil.*
2. *Engenheira Metalurgista, Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGEM, UFMG; Especialista da Área de Sinterizações da Gerdau Usina Ouro Branco, Ouro Branco, MG, Brasil.*
3. *Matemático, Especialista em Estatística e Siderurgia, Especialista da Área de Sinterizações da Gerdau Usina Ouro Branco, Ouro Branco, MG, Brasil.*
4. *Técnico Metalurgista, Graduando em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal de Ouro Preto, Estagiário Universitário na Área de Sinterizações da Gerdau Usina Ouro Branco, Ouro Branco, MG, Brasil.*
5. *Físico, Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Minas, UFMG; Doutor em Engenharia de Materiais, UFMG; Professor da Universidade Federal de Ouro Preto UFOP e da Rede Temática em Engenharia de Materiais REDEMAT, Ouro Preto, MG, Brasil.*

\* 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.

## 1 INTRODUÇÃO

Na última década as jazidas de minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero vêm apresentando fortes alterações no perfil do ROM (Run of Mine) que alimenta as usinas de beneficiamento. A relação hematita/itabirito nos ROMs, ao longo do tempo vem se tornando cada vez menor, sendo que esta redução é resultado direto de um ROM mais itabirítico. A inversão desta relação é uma tendência natural das reservas ou jazidas com a evolução da lavra, tendo como resultado o aumento da participação dos itabiritos na matriz de minérios de ferro que são alimentadas nas usinas de beneficiamento, tornando cada vez mais importante conhecer o comportamento dos minérios de ferro visando manter a produtividade das sinterizações.

Segundo Neto [1], a extração de minérios que antes era prioritariamente de minérios hematíticos compacto mudou, dando lugar para também aos itabiritos ricos, as hematitas friáveis, hematitas manganésifera, e em um passo seguinte os itabiritos pobres e hidratados. Grandes esforços têm sido voltados ao melhor conhecimento do minério de ferro e seu beneficiamento.

Neste contexto, é necessário o conhecimento das características químicas, físicas, mineralógicas e microestruturais e de aglomeração dos minérios de ferro individuais, visando à obtenção de misturas mais adequadas à produtividade e que atenda as características físicas, químicas e metalúrgicas requeridas para o sinter produto para uso nos altos-fornos.

Este trabalho teve o objetivo de investigar as características e o desempenho em escala piloto de sinterização de diferentes tipos de minério de ferro.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização dos minérios de ferro

Os minérios de ferro estudados foram coletados e preparados conforme a norma ISO3082 em áreas de mineração do Quadrilátero Ferrífero, e foram caracterizados como sendo do tipo: itabirito friável rico (ItRi), hematita friável (HeFr), hematita manganésifera (HeMn) e hematita compacta (HeCo).

Para a caracterização dos minérios de ferro foram realizadas análise química, granulométrica, física, mineralógica e microestrutural, utilizando as técnicas de fluorescência de raios-x, via úmida, série de malhas Tyler, capacidade de umidificação, poder de aglomeração à frio e microscopia óptica.

A capacidade de umidificação foi definida como o teor máximo de água absorvido pela amostra de minério de ferro por unidade de massa. A água em contato com a amostra de minério de ferro dentro da coluna é absorvida sob o efeito de pressão capilar. A amostra seca do minério de ferro na fração +1,00mm é depositada no tubo de ensaio com a extremidade fechada por tela e filtro de papel para o material não vazar. O tubo de ensaio com a extremidade em contato com a água está conectado em uma balança digital que mede a quantidade de água absorvida. É feita a leitura da medição de absorção de água a cada 10s até que a amostra de minério de ferro sature em água. As medidas são feitas em triplicatas e o resultado é a média aritmética dos três valores obtidos. A equação utilizada para calcular a capacidade de umidificação (CU) está descrita abaixo:

$$CU = \frac{Ma}{Mm} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

Ma: massa de água absorvida;

Mm: massa de minério da amostra.

O poder de aglomeração a frio foi avaliado com o auxílio do Índice de Granulação (IG), cuja fórmula matemática está apresentada abaixo:

$$IG = \left( \frac{A-B}{A} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

A: percentual em massa da fração -0,500mm antes da homogeneização da amostra;  
B: percentual em massa da fração -0,500mm após o peneiramento úmido da quase partícula.

Para caracterização mineralógica e microestrutural foi utilizado o microscópio óptico de luz transmitida e refletida com captura de imagem.

## 2.2 Testes de sinterabilidade

Foram realizados testes de sinterabilidade em planta piloto com minérios de ferro individuais e posterior avaliação da qualidade do sinteres produzidos. Para os testes em escala piloto, a metodologia Francesa foi empregada para realização dos testes de sinterabilidade.

Após os testes na sinterização piloto foram determinados os principais parâmetros de desempenho, como: consumo específico de sinter retorno e de combustível sólido, umidade da mistura a sinterizar, velocidade de sinterização, produtividade e rendimento da mistura total. Além disso, foram feitas análises químicas, físicas e metalúrgicas dos sinteres produzidos.

As misturas a sinterizar foram compostas de modo a manter o teor de sílica para todos os testes e para isso foi adicionado quartzito à mistura parcial.

Os testes de sinterabilidade foram compostos por quatro níveis, sendo um para cada minério de ferro, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1. Identificação dos níveis dos testes de sinterabilidade**

Identificação dos níveis de queima				
Teste	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Individual	ItRi	HeFr	HeMn	HeCo

Na Tabela 2, estão apresentadas as premissas de qualidade química objetivada para o sinter produto e demais parâmetros do teste na sinterização piloto.

**Tabela 2.** Qualidade química objetivada para o sinter produto e principais parâmetros de processo

Parâmetro	Referência
Fonte de CaO para o sinter	Calcário
Fonte de SiO <sub>2</sub> para o sinter	Quartzito
Fonte de MgO para o sinter	Dolomita
Cal na mistura parcial	5,00%
Sinter degradado na mistura parcial	11,00%
Basicidade do sinter	1,60
Teor de MgO no sinter	1,45%
Teor de SiO <sub>2</sub> no sinter	7,10%
Teores de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MnT e P no sinter	Residuais das matérias-primas
Base de combustível	3,60%
Sinter retorno carregado	Em aberto para balanceamento
Umidade final da mistura a sinterizar	Ótima de cada minério de ferro
Tempo de misturamento no misturador	8 minutos (sendo 1 minuto a seco)
Massa de falsa grelha	4,50 kg
Altura da camada	500 mm
Gás do forno de ignição	GCO (Coqueria)
Vazão de ar do forno de ignição	240 m <sup>3</sup> /min
Vazão de gás do forno de ignição	48 m <sup>3</sup> /min
Temperatura de ignição	1100°C
Tempo de ignição	1 minuto
Depressão de ignição	900 mmH <sub>2</sub> O
Depressão de sinterização	1.200 mmH <sub>2</sub> O
Depressão de resfriamento	700 mmH <sub>2</sub> O
Temperatura final de resfriamento	90 °C

A Tabela 3 apresenta o planejamento experimental dos testes de sinterabilidade com a porcentagem de cada matéria-prima que compõe cada uma das misturas preparadas.

**Tabela 3.** Composição da mistura total em porcentagem

Material	Itabirito friável rico	Hematita friável	Hematita manganésifera	Hematita compacta
Minérios de ferro	50,59	47,12	42,33	47,35
Quartzito	-	3,03	0,68	3,13
Calcário	4,90	4,97	3,95	4,71
Dolomita	4,13	4,49	3,65	4,46
Cal virgem calcítica	3,57	3,57	3,03	3,57
Sinter degradado	8,21	8,21	6,97	8,18
<i>Coke breeze</i>	3,60	3,60	4,40	3,60
Sinter retorno	25,00	25,00	35,00	25,00

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Caracterização dos minérios de ferro

Nas Tabelas 4, 5 e 6 estão apresentados os resultados das análises químicas, granulométricas, mineralógicas e microestruturais dos minérios de ferro estudados.

**Tabela 4.** Análises químicas dos minérios de ferro

Matérias-primas	Análises químicas (% em massa)								
	FeT	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnT	P	TiO <sub>2</sub>	PPC
Itabirito friável rico	62,64	0,12	6,58	0,60	0,14	0,56	0,051	0,027	2,00
Hematita friável	68,29	0,00	0,92	0,57	0,07	0,22	0,017	0,047	0,29
Hematita manganésifera	59,54	0,17	5,25	2,42	0,10	2,60	0,062	0,113	3,19
Hematita compacta	66,39	0,11	0,71	0,97	0,08	1,61	0,021	0,049	0,90

**Tabela 5.** Análises granulométricas dos minérios de ferro

Matérias-primas	Análises granulométricas (% em massa)									
	6,35	4,76	2,83	2,00	1,00	0,50	0,25	0,15	0,125	Fundo
Itabirito friável rico	3,31	4,96	8,60	6,06	0,22	15,66	12,35	8,05	4,30	36,49
Hematita friável	6,29	4,38	10,12	7,93	5,88	10,67	7,39	7,93	0,14	39,27
Hematita manganésifera	2,10	2,47	5,21	0,82	9,60	7,59	7,95	17,82	4,39	42,05
Hematita compacta	10,82	9,20	12,59	3,24	12,74	6,33	5,08	5,23	2,36	32,40

**Tabela 6.** Classificação mineralógica dos minérios de ferro

MINERAIS	Itabirito friável rico	Hematita friável	Hematita manganésifera	Hematita compacta
Hematita tabular	10,64	19,10	21,46	-
Hematita granular	8,15	38,04	8,68	-
Hematita lobular	-	41,90	46,21	77,46
Hematita lamelar	-	-	-	9,68
Hematita especular	-	-	-	3,66
Magnetita	42,48	-	7,59	4,93
Manganês	-	-	11,58	0,99
Martita	16,43	0,13	1,40	-
Goethita	18,33	0,05	0,99	-
Quartzo livre	3,25	0,33	1,72	1,27
Outros	0,71	0,45	0,38	0,01

O minério de ferro itabirito friável rico apresentou 6,58% de sílica, e a fração +1,00mm representou apenas 23,15% da distribuição granulométrica, relativamente fino. O elevado teor de sílica é uma característica típica dos minérios de ferro itabirítico. O minério de ferro hematita friável apresentou baixa concentração de contaminantes, e a fração +1,00mm foi responsável por 34,60% da distribuição granulométrica.

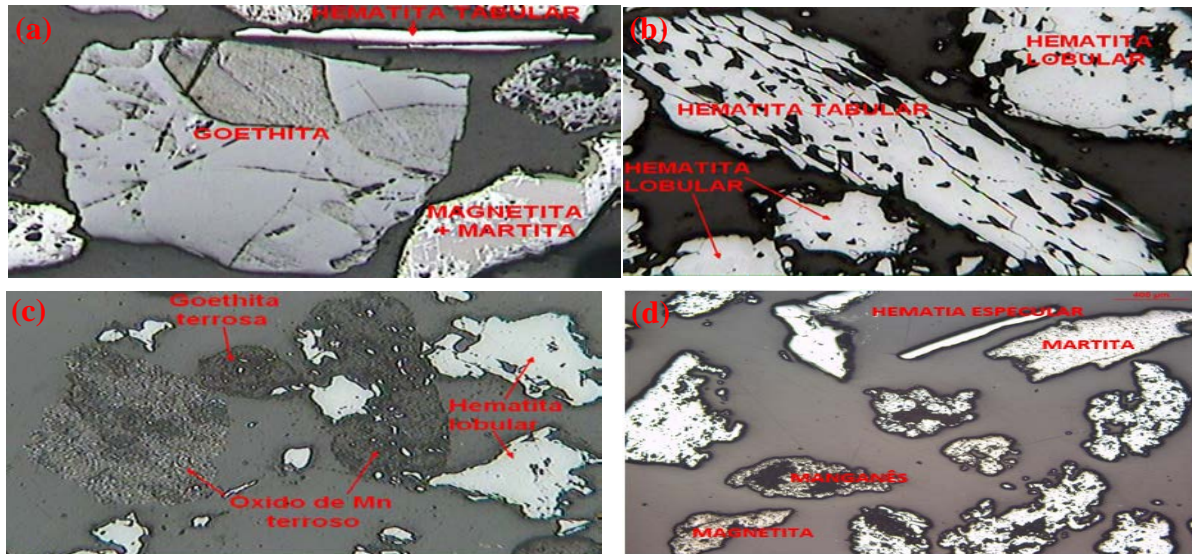
O minério de ferro hematita manganésifera possui elevadas concentrações de contaminantes, sendo 5,25% de sílica, 2,42% de alumina e 2,60% de manganês. A fração +1,00mm é de apenas 20,20%, sendo esse o minério de ferro com maior concentração de contaminantes e de granulometria mais fina. O minério de ferro hematita compacta é o que possui menor concentração de sílica e o mais favorável à permeabilidade.

A caracterização mineralógica e microestrutural do minério de ferro contribuem para a compreensão dos fenômenos de capacidade de sinterização, das



propriedades do sinter, e de seu comportamento nos processos de redução em altos-fornos.

As fotomicrografias apresentadas na Figura 1 foram tomadas em seções polidas de partículas da fração granulométrica compreendida entre 0,300mm e 0,150mm embutidas em resina.

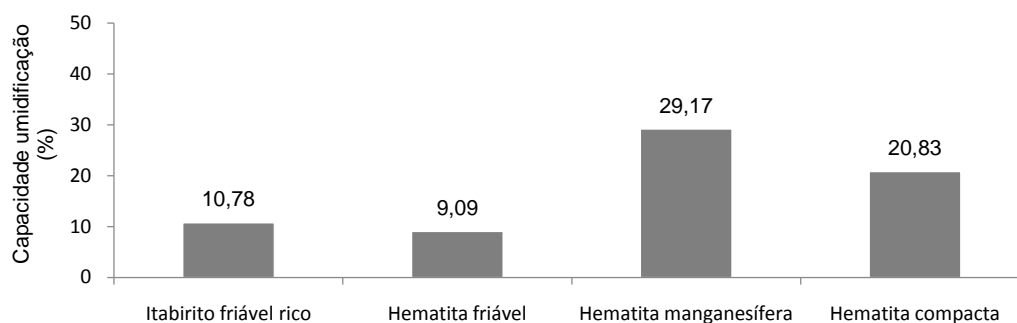


**Figura 1.** Fotomicrografias dos minérios de ferro estudados: (a) ItRi; (b) HeFr; (c) HeMn; (d) HeCo

O minério de ferro itabirito friável rico foi classificado como um minério magnetítico, pois a magnetita foi o mineral predominante. Já o minério de ferro hematita friável foi caracterizado como um minério hematítico lobular, granular e tabular.

O minério de ferro hematita manganésifera é um minério hematítico lobular, granular, tabular, e com presença de óxido de manganês. Esse minério de ferro possui características de manuseio diferente de outros minérios de ferro presente no Quadrilátero Ferrífero, apresentando altos teores de contaminantes, alta friabilidade e com grande geração de finos durante o manuseio. O minério de ferro hematita compacta foi caracterizado como um minério hematítico lobular, lamelar, especular, e com presença de magnetita.

A Figura 2 apresenta os resultados da capacidade de umidificação dos minérios de ferro, que demonstram diferenças significativas.

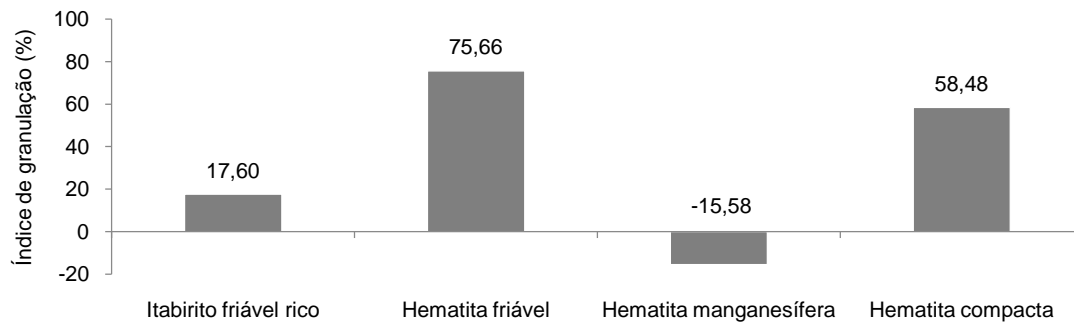


**Figura 2.** Capacidade de umidificação dos minérios de ferro estudados.

A capacidade de umidificação do minério de ferro itabirito friável rico resultou em 10,78% em massa, já o minério de ferro hematita friável resultou em 9,09% em

massa. Possivelmente as diferenças resultantes foram em função das suas estruturas, pois o minério de ferro hematita friável é menos poroso. O minério de ferro hematita manganesífera apresentou maior capacidade de absorção de água, sendo o resultado 29,17% em massa. O minério de ferro hematita compacta obteve uma capacidade de absorção de água de 20,83% em massa. Sabe-se que a capacidade de absorção de água de um minério de ferro está diretamente ligada à quantidade de poros existentes em sua estrutura.

Observa-se que os resultados do poder de aglomeração à frio dos minérios de ferro avaliados apresentaram diferenças bem significativas, conforme ilustrado na Figura 3.



**Figura 3.** Poder de aglomeração à frio dos minérios de ferro estudados.

O índice de granulação do minério de ferro itabirito friável rico foi de 17,60%, relativamente baixo, possivelmente provocado pela ausência de partículas nucleantes, já que esse minério de ferro possui apenas 23,15% de partículas nucleantes.

O minério de ferro hematita friável obteve maior poder de aglomeração à frio, o índice de granulação foi 75,66%, bastante superior quando comparado ao minério de ferro itabirito friável rico.

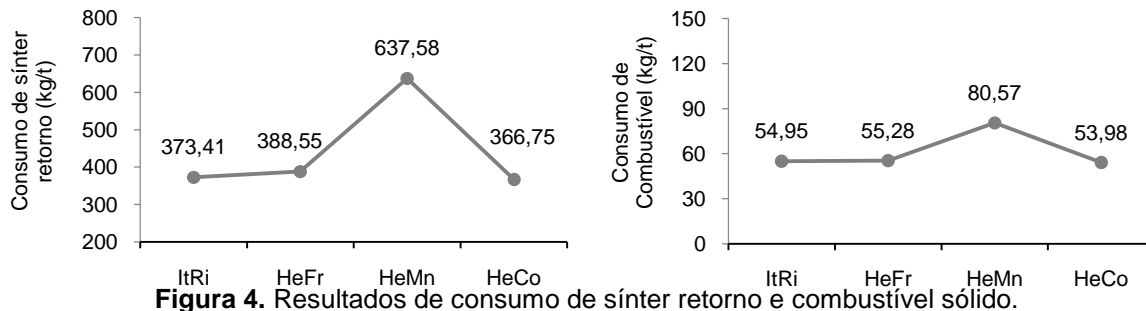
O desempenho do minério de ferro hematita manganesífera na aglomeração à frio foi desfavorável, apresentando um índice de granulação -15,58%, o resultado obtido foi a degradação das partículas quando submetido ao processo de aglomeração à frio. Segundo d'Ávila [2], os aglomerados presentes no minério de ferro com umidade natural são de baixa resistência à frio e são desfeitos pelos movimentos dos equipamentos durante o processo de aglomeração à frio.

O índice de granulação do minério de ferro hematita compacta foi 58,48%, segundo melhor em relação aos outros minérios de ferro estudados. Possivelmente foi influenciado pela relação entre partículas núcleo/aderentes, sendo o resultado desta relação de 1,40, condição favorável para o processo de aglomeração à frio.

### 3.2 Testes de sinterabilidade

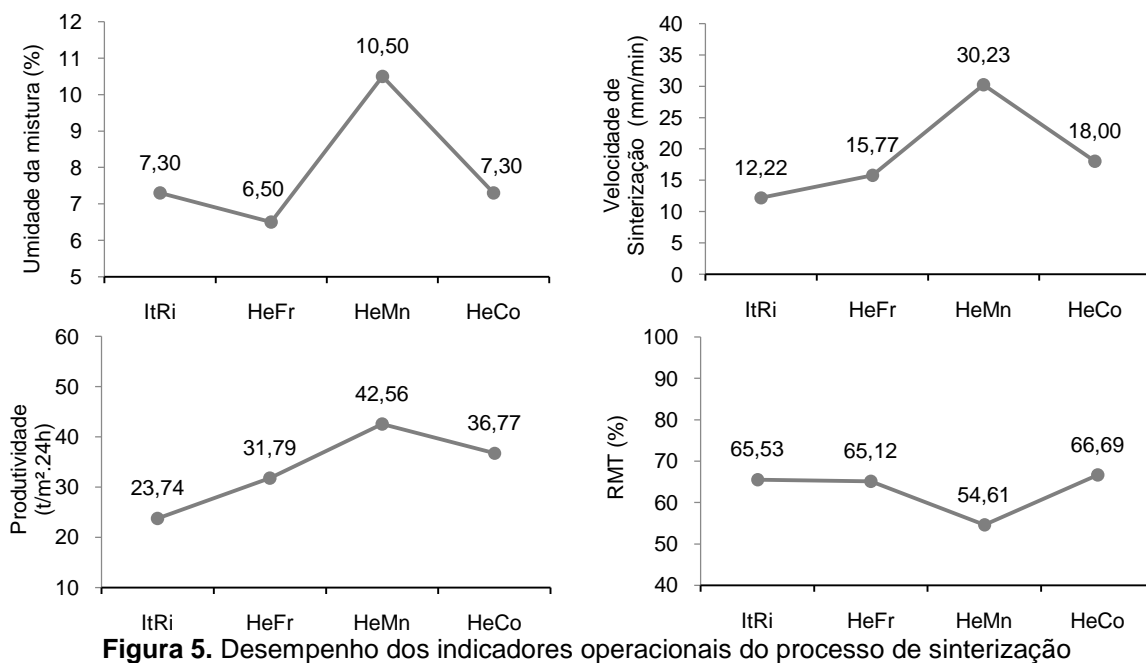
Para melhor apresentação dos resultados dos testes de sinterabilidade, os mesmos foram divididos em grupos: consumos específicos de sinter retorno e de combustível sólido; indicadores operacionais do processo de sinterização e qualidade química, física e metalúrgica dos sínteres produzidos.

Os consumos específicos de sinter retorno e de combustível sólido dos testes de sinterabilidade estão apresentados na Figura 4.



Foram observadas diferenças significativas apenas para o minério de ferro hematita manganésifera que resultou em elevado consumo de síter retorno e de combustível sólido, sendo influenciado pelo rendimento da mistura total e possivelmente pelas características mineralógicas e microestrutural do minério de ferro. Para os outros minérios de ferro estudados não houve diferença significativa nos consumos específicos avaliados.

Os indicadores operacionais do processo de sinterização avaliados foram: umidade da mistura a sinterizar, velocidade de sinterização, produtividade e rendimento da mistura total (RMT). A Figura 5 apresenta os resultados dos indicadores obtidos nos testes de sinterabilidade realizados em escala piloto.



Nota-se que a umidade das misturas corresponderam aos resultados da capacidade de umidificação dos minérios de ferro, pois o minério de ferro hematita friável obteve menor capacidade de absorção de água, e conseqüentemente, menor umidade da mistura a sinterizar, sendo 6,50% em massa. A mistura a sinterizar produzida com o minério de ferro hematita manganésifera foi a que necessitou de maior umidade, sendo o resultado 10,50% em massa, correspondendo ao seu elevado poder de absorção de água. Os demais resultados de umidade foram 7,30% em massa.

A velocidade de sinterização dos minérios de ferro itabirito friável rico e hematita friável corresponderam a tendência da capacidade de aglomeração à frio.



Segundo Takehara [3], a eficiência da aglomeração à frio influi diretamente na permeabilidade do leito, que é o fator de maior importância no processo de sinterização, visto que sua eficiência propicia maior velocidade de sinterização.

O minério de ferro hematita manganésifera resultou em maior velocidade de sinterização, sendo influenciado pela participação do sinter retorno que foi responsável por 35% da mistura a sinterizar.

O minério de ferro hematita compacta foi o segundo com maior velocidade de sinterização, segundo com melhor desempenho em produtividade e o que obteve maior rendimento da mistura total. Os fatores responsáveis por esses resultados são: baixa concentração de sílica, excelente relação entre partículas núcleo/aderentes, eficiência na aglomeração à frio e características mineralógicas favoráveis ao processo.

Os desempenhos de produtividade dos outros minérios de ferro acompanharam a mesma tendência da velocidade de sinterização, esse comportamento pode ser explicado pelo favorecimento da permeabilidade do leito.

O minério de ferro hematita manganésifera resultou em menor rendimento da mistura total, sendo influenciado pelo elevado consumo específico de combustível sólido e possivelmente pelas características mineralógicas. Para os demais minérios de ferro o rendimento da mistura total correspondeu ao esperado.

A Tabela 7 apresenta os resultados da análise química dos sínteres produzidos.

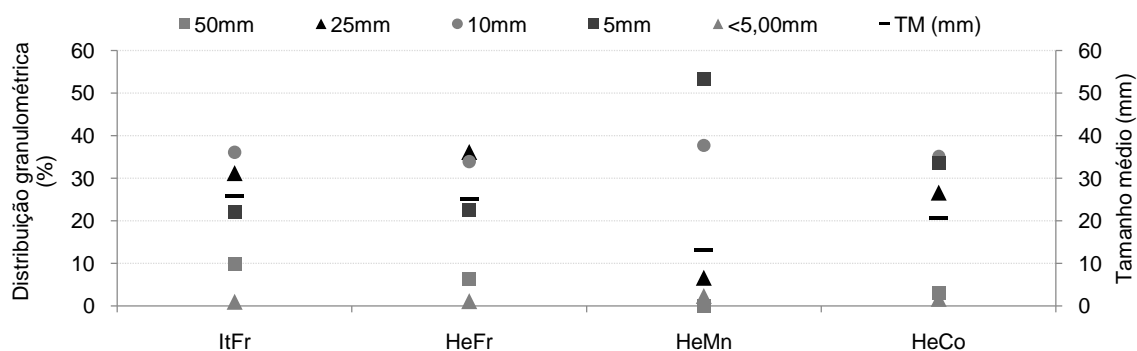
**Tabela 7.** Análise química dos sínteres produzidos (% em massa)

Testes	FeT	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnT	BB	P	FeO
ItFr	55,42	11,28	6,95	0,90	1,42	0,65	1,62	0,053	6,05
HeFr	56,25	10,46	7,18	0,91	1,39	0,26	1,46	0,036	6,03
HeMn	53,13	11,18	6,78	2,02	1,49	2,27	1,65	0,058	10,29
HeCo	54,25	11,23	7,07	1,35	1,45	1,46	1,59	0,020	4,71

O minério de ferro hematita manganésifera resultou em menor teor de ferro total, sendo 53,13% em massa, correspondendo às características apresentadas pelo minério de ferro. Para os teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e MnT dos sínteres, o minério de ferro hematita manganésifera foi o que resultou em maior concentração.

Quanto ao teor de FeO do sinter, o minério de ferro hematita manganésifera resultou em 10,29% em massa, quantidade relativamente alta para os processos de sinterização que utilizam *coke breeze* e antracito como fonte de combustível sólido. O principal fator responsável pela elevação do teor de FeO do sinter foi o elevado consumo de combustível sólido.

A Figura 6 apresenta os resultados das análises granulométricas dos sínteres produzidos.



**Figura 6.** Resultados das análises granulométricas dos sínteres produzidos

O tamanho médio do sinter produzido com minério de ferro hematita manganésifera foi 13,14mm, sendo esse o menor resultado e influenciado pela ausência de partículas +50mm e baixa produção de partículas +25mm. Os sinteres produzidos com os demais minérios de ferro apresentaram características granulométricas sem variações relevantes.

Os sinteres foram caracterizados quanto às resistências ao impacto e à abrasão no sentido de reproduzir as condições de manuseio do sinter até sua utilização nos altos-fornos. O teste de queda é utilizado para qualificar a resistência do sinter em relação ao impacto, conforme a Norma JIS M 8711. O teste de tamboramento foi feito para testar a resistência à abrasão do sinter durante o manuseio, conforme a Norma ASTM E-279-92. A Figura 7 apresenta os resultados de resistência à frio e à quente dos sinteres produzidos.

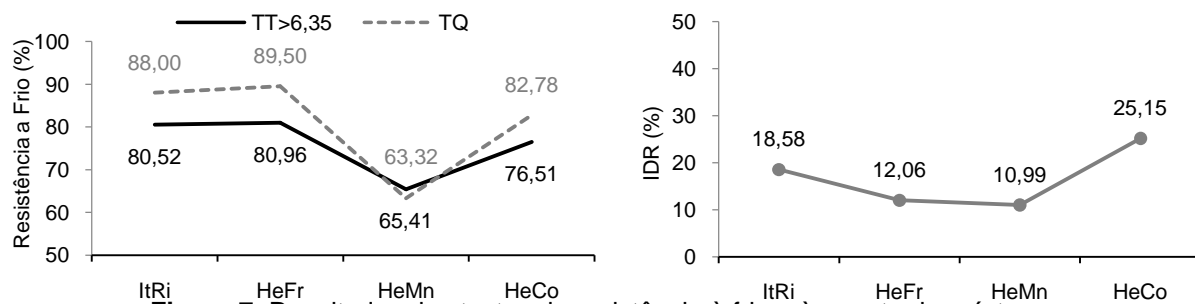


Figura 7. Resultados dos testes de resistência à frio e à quente dos sinteres.

O minério de ferro hematita manganésifera apresentou menor grau de resistência entre os minérios estudados, possivelmente ocorreu pela sua composição mineralógica e pelo alto grau de hidratação. Os minérios de ferro itabirito friável rico e hematita friável apresentaram maiores resistências à frio, e muito próximos. O minério de ferro hematita compacta apresentou menor resistência em relação aos minérios de ferro friáveis.

Quanto a resistência a quente, o minério de ferro hematita manganésifera obteve melhor índice de degradação sob redução (IDR), isso ocorre provavelmente devido a elevada presença de FeO, que auxiliou na formação da fase líquida tornando o sinter mais resistente quando submetido a elevadas temperaturas no interior do alto-forno.

Segundo LOO [4], o teor de FeO do sinter é influenciado pelas diferentes zonas do leito de sinterização através da concentração da magnetita no sinter (ou o grau do estado de oxidação do ferro na fase vítrea, mais provavelmente o teor de Fe<sup>2+</sup>), e também é utilizado como um indicador para os valores dos índices de degradação sob redução e de redutibilidade do sinter gerado.

## 4 CONCLUSÃO

Os resultados de caracterização demonstraram que os minérios de ferro avaliados apresentaram diferenças químicas, físicas, mineralógicas e microestruturais importantes. Os testes de sinterabilidade mostraram que os minérios de ferro hematíticos, exceto o minério de ferro hematita manganésifera, obtiveram performance superior no processo de sinterização e na qualidade do sinter.

As características intrínsecas do minério de ferro hematita manganésifera influenciaram em seu desempenho no processo de sinterização, tornando-se

necessário o consumo de maior volume de água na mistura a sinterizar, com consequente consumo específico de síter retorno e de combustível sólido elevado. Os resultados desse comportamento foram: baixo rendimento da mistura total e fragilização do síter quando submetido ao impacto e abrasão.

Os resultados obtidos nesse estudo permitiram observar que o conhecimento prévio das características dos minérios de ferro, contribuem para o conhecimento do desempenho no processo de sinterização. Nesse sentido, esse conhecimento poderá promover a otimização de parâmetros utilizados nos processos de sinterização e, conseqüentemente, um melhor desempenho de produtividade e qualidade do síter produzido.

## 5 REFERÊNCIAS

- 1 SOUZA NETO, A. N.; CAPOLARI, L. & SILVA NETO, P. P. Ênfase da pesquisa de minério de ferro no centro de pesquisas da CVRD. In: XXIX SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO - XIII SEMINÁRIO DE CONTROLE QUÍMICO EM METALURGIA - IX SEMINÁRIO DE CARBOQUÍMICOS, ABM, Belo Horizonte, Anais..., p. 681–687, 1998.
- 2 DAVILA, L.S.C. Influência das características do itabirito concentrado no desempenho do processo de sinterização. Belo Horizonte. [Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas]. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais; 2015.
- 3 TAKEHARA, Lucy. Caracterização geometalúrgica dos principais minérios de ferro brasileiros - fração sinter feed. Porto Alegre. [Tese de Doutorado em Geociências]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2004.
- 4 LOO, C. E. Some progress in understanding the science of iron ore sintering. In: ICSTI/IRONMAKING CONFERENCE PROCEEDINGS, Proceedings..., p. 1299- 1316, 1998.
- 5 PADULA, V. P. Caracterização tecnológica de um sinter feed hematítico contendo diferentes proporções e tipos de sílica nas frações aderentes, intermediárias e nucleantes. [Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais]. REDEMAT/UFOP Ouro Preto. 2009.
- 6 GOLDRING, D. C. and FRAY, T. A. – Characterization of iron ores for production of high quality sinter. - Ironmaking and Steelmaking, 1989, Vol. 16, N°02.
- 7 Gondim, EP, Campos Jr., F.L.C. Manual de treinamento processo de sinterização. Ouro Branco: Gerdau; 2007.