

AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE CARGA NA ZONA GRANULAR DO ALTO-FORNO*

Larissa Rodrigues de Carvalho Rocha¹

Beatriz Fausta Gandra²

Gerson Evaristo de Paula Júnior³

Lucas Gonçalves Generoso⁴

Resumo

A eficiência na redução dos minérios de ferro no alto-forno é governada pela estrutura e permeabilidade das camadas de carga. A zona granular do alto-forno é a região onde a carga mantém a sua estrutura estratificada, decorrente do carregamento, sob a forma de grãos sólidos. Nessa região, as condições de permeabilidade determinam o perfil de distribuição do gás e, conseqüentemente, a eficiência térmica e química do reator. Na Usiminas, foi desenvolvido um ensaio de permeabilidade que permite avaliar a perda de carga em leitos formados pelas matérias-primas utilizadas nos altos-fornos, buscando as condições mais favoráveis ao fluxo gasoso. A partir deste ensaio, foi possível avaliar cargas compostas exclusivamente por sinter, pelota ou minério granulado, ou ainda combinações binárias entre estes. O sinter apresentou a maior perda de carga, seguido da pelota e do minério granulado. Apesar disso, o sinter foi o material que permitiu maior acréscimo de vazão do gás. Os ensaios realizados indicaram que 5% de material com granulometria menor que 5 mm é o limite para a concentração de finos do sinter, situação em que foi observado acréscimo de aproximadamente 50% na resistência à passagem dos gases para as velocidades correspondentes àquelas dos altos-fornos. O leito de melhor permeabilidade foi formado por 95% de sinter e 5% de pelota, seguido pelo de 100% de sinter, sem diferença significativa entre essas condições. Em geral, a combinação de sinter e pelota é mais benéfica para a permeabilidade do leito.

Palavras-chave: Alto-Forno; Permeabilidade; Carga.

EVALUATION OF THE GRANULAR BURDEN PERMEABILITY IN THE BLAST FURNACE

Abstract

Reduction efficiency of iron-bearing in the blast furnace is controlled by the structure and permeability of the burden layers. The granular zone of the blast furnace is the region where the burden remains its stratified structure, due to charging, in the form of solid grains. In this region, the permeability conditions determine the gas distribution profile and, consequently, the thermal and chemical efficiency of the reactor. In Usiminas, it was developed a permeability test that allows the evaluation of the pressure drop in beds formed by the raw materials used in the blast furnace, seeking the most favorable conditions for gas flow. Then it was possible to evaluate charges composed exclusively of sinter, pellet or lump ore, or binary combinations among them. The sinter presented the highest pressure drop, followed by pellet and lump ore. Despite this, sinter was the material that allowed greater increase of gas flow. The tests indicated that 5% of material with a grain size smaller than 5 mm is the limit for the concentration of sinter fines, condition which there was an increase of approximately 50% in the resistance to the gas flow in velocities corresponding to those of blast furnace. The best permeability bed was composed of 95% sinter and 5% pellet, followed by 100% sinter, with no significant difference between these conditions. In general, the combination of sinter and pellet resulted better bed permeability.

Keywords: Blast Furnace; Permeability; Burden.

¹ Engenheira Metalurgista, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

² Membro da ABM; Engenheira Metalurgista, M. Sc., Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

³ Engenheiro Mecânico, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

⁴ Engenheiro Metalurgista, Gerência Técnica de Redução da Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência na redução dos minérios de ferro no alto-forno é governada pela estrutura e permeabilidade das camadas de carga, o que determina o fluxo de gás nesse reator. De forma simplificada, a permeabilidade pode ser definida como o grau de facilidade da passagem dos gases pela carga do alto-forno. A redutibilidade dos materiais não pode ser explorada se o fluxo de gás não permitir contato suficiente para que as reações ocorram [1]. A perda de pressão na zona granular do alto-forno, que representa aproximadamente 30% da perda de pressão total, tem grande influência na distribuição do gás e, conseqüentemente, na eficiência térmica e química do reator [2].

Os ensaios de permeabilidade são realizados com o objetivo de avaliar a influência das características da carga sobre a resistência ao fluxo gasoso, tais como: o tipo de material, a sua distribuição granulométrica, a participação de finos no leito e o tamanho médio das partículas, no intuito de prever o comportamento das matérias-primas na zona granular do alto-forno. Assim, buscou-se nesse estudo desenvolver um ensaio para avaliar a perda de carga em leitos formados pelas matérias-primas utilizadas nos altos-fornos da Usiminas, visando dar suporte à otimização da carga metálica, em busca de condições mais favoráveis ao fluxo gasoso, que proporcionem a máxima produtividade e estabilidade operacional.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Simulador de Perda de Carga em Alto-Forno

Para o desenvolvimento do ensaio de permeabilidade foi realizada uma adequação em um equipamento, transformando-o em um Simulador de Perda de Carga em Alto-Forno, onde foram realizadas as simulações para avaliar as matérias-primas utilizadas no alto-forno. O equipamento é composto por um cilindro, dentro do qual as matérias-primas são carregadas pelo topo e submetidas à passagem de um fluxo gasoso controlado (N_2) (Figura 1). O resultado da variação de pressão Delta P (ΔP), em mmca, foi obtido a partir de um sistema de manômetro de tubo em 'U', implementado no equipamento por proporcionar melhor repetibilidade na leitura dos resultados durante os testes de validação.

Os valores absolutos do ΔP não podem ser comparados com os valores reais dos altos-fornos, já que existem aspectos no processo que não são considerados em escala piloto, como a presença das reações de redução em elevadas temperaturas, degradação da carga no interior dos altos-fornos, composição da carga metálica e combustíveis, distribuição de carga, altura da zona granular e interferências da zona coesiva. Sendo assim, o parâmetro de referência utilizado para comparação foi a velocidade a vazio do gás.

Os ensaios foram realizados a frio, em leitos fixos e em condições previamente determinadas. Assim, foi desenvolvido um procedimento para execução desses ensaios, a partir de testes de validação, visando garantir a padronização e a confiabilidade dos resultados.

Conhecendo as vazões do gás, a sua velocidade a vazio V_0 (m/s) pode ser obtida pela Equação 1. Em que: Q é a vazão do gás (Nm^3/h) e A é a área da seção transversal do cilindro (m^2).

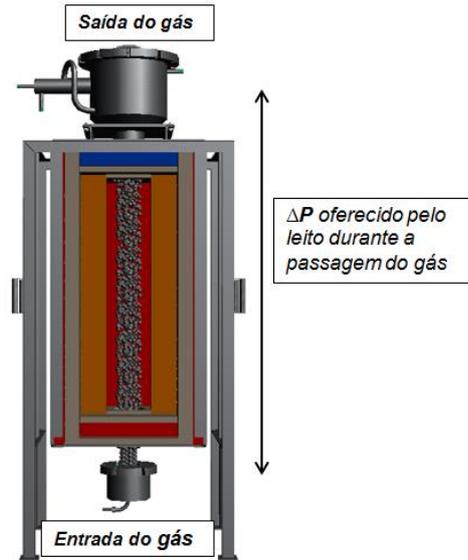


Figura 1. Simulador de Perda de Carga em Alto-Forno.

$$V_0 = \frac{Q}{(A \cdot 3600)} \quad (1)$$

Cada vazão inserida no ensaio corresponde a uma velocidade a vazio e gera um resultado de perda de carga (ΔP). Foram utilizadas vazões entre 24 Nm³/h e 72 Nm³/h, com as velocidades a vazio correspondentes de 0,5 m/s a 1,5 m/s. Como referência, as velocidades a vazio aproximadas praticadas nos Altos-Fornos 1 e 2 e no Alto-Forno 3 da Usiminas são, respectivamente, 0,6 m/s e 1,0 m/s.

O resultado gerado nos ensaios de permeabilidade é uma correlação entre a velocidade a vazio do gás e a perda de carga gerada (ΔP) pela passagem desse gás em determinado leito (Leito X), conforme Figura 2, em que quanto maior o ΔP , pior é a permeabilidade do leito.

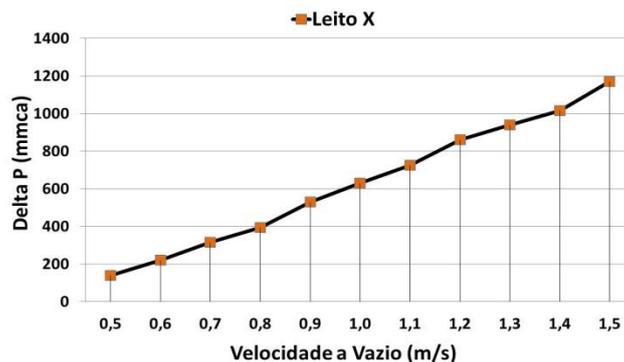


Figura 2. Correlação entre Velocidade a Vazio do gás e ΔP de um Leito X, obtida nos ensaios de permeabilidade.

2.2 Avaliação da Permeabilidade em Leito Granulado

Os testes de permeabilidade foram realizados com um tipo de minério granulado (*natural pellet ore* - NPO), uma pelota e o sinter industrial. As matérias-primas foram avaliadas em três condições, mantendo constante o volume ocupado pela carga,

conforme Tabela 1: (i) leitos formados pelas matérias-primas individualmente, contemplando apenas a faixa granulométrica predominante de cada material; (ii) leitos formados pelas matérias-primas individualmente, contemplando a faixa granulométrica predominante de cada material, com acréscimo de material considerado com granulometria fina e (iii) leitos em combinações binárias, mantendo constante a distribuição granulométrica dos materiais individualmente e sem acréscimo de material fino, variando apenas a influência da proporção de cada material na composição da carga.

Tabela 1. Condições dos leitos para os ensaios de permeabilidade

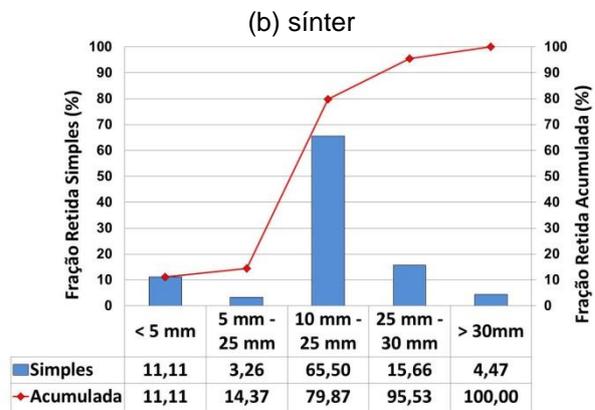
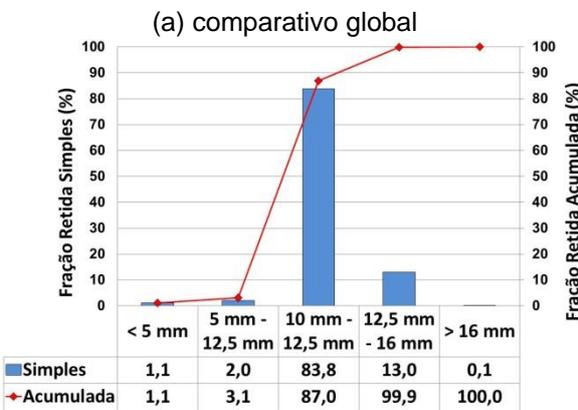
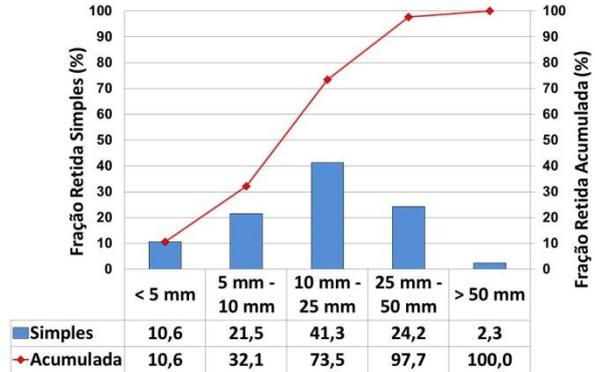
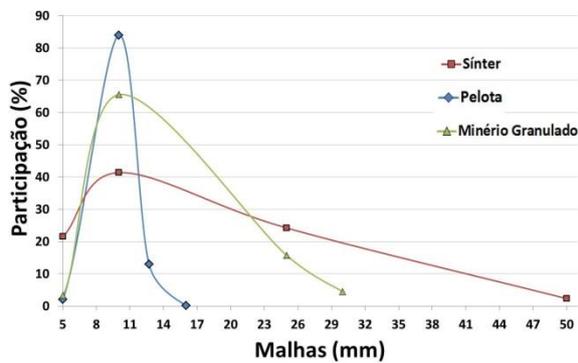
Composição do Leito	Faixa Granulométrica (mm)	(%) Finos	
(i) Leitos individuais sem acréscimo de finos	100% Sínter	5 a 50	0% < 5 mm
	100% NPO	10 a 30	0% < 10 mm
	100% Pelota	> 5	0% < 5 mm
(ii) Leitos individuais com acréscimo de finos	100% Sínter	5 a 50	3% < 5 mm
	100% Sínter	5 a 50	4% < 5 mm
	100% Sínter	5 a 50	5% < 5 mm
	100% NPO	10 a 30	7% < 10 mm
	100% NPO	10 a 30	8% < 10 mm
	100% NPO	10 a 30	10% < 10 mm
(iii) Leitos em combinações binárias sem acréscimo de finos	95% Sínter 5% NPO	5 a 50 10 a 30	0% < 5 mm Sínter 0% < 10 mm NPO
	90% Sínter 10% NPO	5 a 50 10 a 30	0% < 5 mm Sínter 0% < 10 mm NPO
	85% Sínter 15% NPO	5 a 50 10 a 30	0% < 5 mm Sínter 0% < 10 mm NPO
	80% Sínter 20% NPO	5 a 50 10 a 30	0% < 5 mm Sínter 0% < 10 mm NPO
	75% Sínter 25% NPO	5 a 50 10 a 30	0% < 5 mm Sínter 0% < 10 mm NPO
	95% Sínter 5% Pelota	5 a 50 > 5	0% < 5 mm Sínter 0% < 5 mm Pelota
	90% Sínter 10% Pelota	5 a 50 > 5	0% < 5 mm Sínter 0% < 5 mm Pelota
	85% Sínter 15% Pelota	5 a 50 > 5	0% < 5 mm Sínter 0% < 5 mm Pelota
	80% Sínter 20% Pelota	5 a 50 > 5	0% < 5 mm Sínter 0% < 5 mm Pelota
	75% Sínter 25% Pelota	5 a 50 > 5	0% < 5 mm Sínter 0% < 5 mm Pelota

O equipamento Simulador de Perda de Carga em Alto-Forno não possibilita o controle da pressão da linha de alimentação do gás. Portanto, à medida que se realiza o acréscimo da vazão do gás e, como consequência, a queda de pressão na linha, ocorrem limitações para continuar aumentando a sua vazão. Essas limitações são diretamente afetadas pela condição da pressão de base dos leitos, sendo que se a pressão de base estiver muito elevada, não é possível realizar o acréscimo de vazão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3 são apresentados os resultados de análise granulométrica dos materiais. O sínter foi o material mais distribuído, com maior fração de partículas entre 10 mm e 25 mm, que é a faixa indicada para esta carga metálica considerando

o processo de redução, contemplando uma faixa granulométrica mais extensa que as demais matérias-primas. O NPO também está concentrado entre 10 mm e 25 mm, enquanto que praticamente toda a pelota ficou entre 10 mm e 12,5 mm.



(c) pelota

(d) granulado (NPO)

Figura 3. Distribuição granulométrica dos materiais.

Os resultados da perda de pressão dos leitos formados pelas matérias-primas individualmente são apresentados na Figura 4. Foram destacadas as velocidades a vazio correspondentes àquelas dos Altos-Fornos 1, 2 e 3, contudo, leitos formados apenas por pelotas ou por minério granulado não representam a realidade da carga metálica praticada na Usiminas.

Para todas as matérias-primas, ao elevar a vazão de gás e, conseqüentemente, elevar a velocidade a vazio, ocorreu maior perda de pressão do gás ao percorrer o leito poroso. No Alto-Forno 3 a velocidade a vazio do gás é bem superior à dos Altos-Fornos 1 e 2, o que gera para um mesmo leito, uma pior condição de permeabilidade quando comparada aos fornos com menor volume de gás. Para as mesmas velocidades a vazio nos leitos individuais, o sinter apresentou a maior perda de carga, seguido da pelota e do minério granulado. Ou seja, o gás encontra maior resistência ao longo da sua trajetória pelo leito de sinter, resultando em um delta de pressão mais elevado, de acordo com a Equação 2, em que $\Delta P > 0$ e $\Delta P(\text{sinter}) > \Delta P(\text{pelota}) > \Delta P(\text{granulado})$.

$$\Delta P = P(\text{base}) - P(\text{topo}) \quad (2)$$

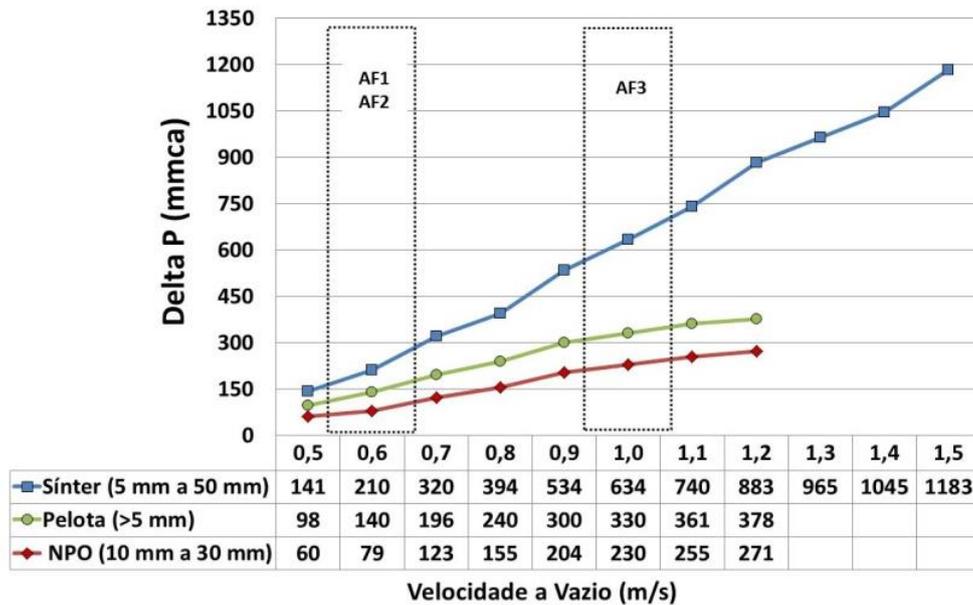


Figura 4. Resistência a permeabilidade para os leitos formados pelas matérias-primas individualmente.

Alguns fatores podem justificar a maior perda de carga do leito formado pelo sínter nas condições avaliadas. Com relação aos parâmetros relacionados à distribuição granulométrica dos materiais (Tabela 2), a razão entre o diâmetro da maior e da menor partícula do sínter ($D/d = 50/5 = 10$) é bem superior que a do minério granulado ($D/d = 30/10 = 3$) e da pelota ($D/d = 15/5 = 3$), o que impactou na maior perda de pressão do leito. O tamanho médio superior do sínter não foi suficiente para minimizar o efeito da razão dos extremos da faixa granulométrica (D/d). Sabe-se que misturas com maior razão D/d tendem a apresentar menor fração de vazios [3].

A pelota e o minério granulado, apesar de possuírem a mesma razão D/d , têm tamanhos médios distintos, sendo que o maior tamanho médio do leito formado pelo minério granulado proporcionou melhor permeabilidade quando comparado ao de pelota.

Tabela 2. Parâmetros da distribuição granulométrica dos materiais utilizados nos ensaios de permeabilidade

Material	Faixa Granulométrica (mm)	Participação da Faixa Granulométrica na Amostra Global (%)	D/d	Tamanho Médio (mm)
Sínter	5 a 50	87	10	21
NPO	10 a 30	81	3	19
Pelota	5 a 15	99	3	12

A título de comparação, foi realizado um ensaio com um leito formado apenas por sínter na mesma faixa granulométrica do minério granulado (10 mm a 30 mm). Nessa condição o leito de sínter também ficou com $D/d = 3$ e o tamanho médio reduzido, ligeiramente menor que o do NPO (19 mm). Na Figura 5 é apresentado o comparativo entre os resultados de permeabilidade para os leitos formados pelas matérias-primas na faixa granulométrica proposta inicialmente (Tabela 2) e com o leito de sínter na faixa granulométrica de 10 mm a 30 mm.

Apesar da maior perda de pressão no leito de sínter, tanto para o leito de $D/d = 10$ como no leito de $D/d = 3$, este foi o material que permitiu maior acréscimo de vazão

do gás ou maiores velocidades a vazio. O parâmetro D/d não alterou a condição de acréscimo de vazão no leito de sínter. A partir disso, é possível concluir que a pressão de base no leito de sínter foi menor quando comparada às pressões de base dos leitos de pelota e minério granulado, bem como a pressão de topo, o que possibilitou o *input* de vazões mais elevadas. Ou seja, o sínter resultou em uma coluna de carga cuja permeabilidade possibilitou a passagem do gás, embora a perda de pressão do gás ao atravessar essa carga tenha sido maior. Já as demais cargas resultaram em sistemas mais pressurizados, com as pressões de base e de topo mais elevadas. Isso significa que, do ponto de vista de permeabilidade, o sínter é uma carga que oferece melhores condições para elevação de produção em alto-forno via aumento de vazão de sopro, considerando os leitos formados pelas matérias-primas individualmente. Em termos práticos, a condição de acréscimo de vazão de gás deve ser avaliada em cargas mistas e com a presença de finos, que será discutida a seguir.

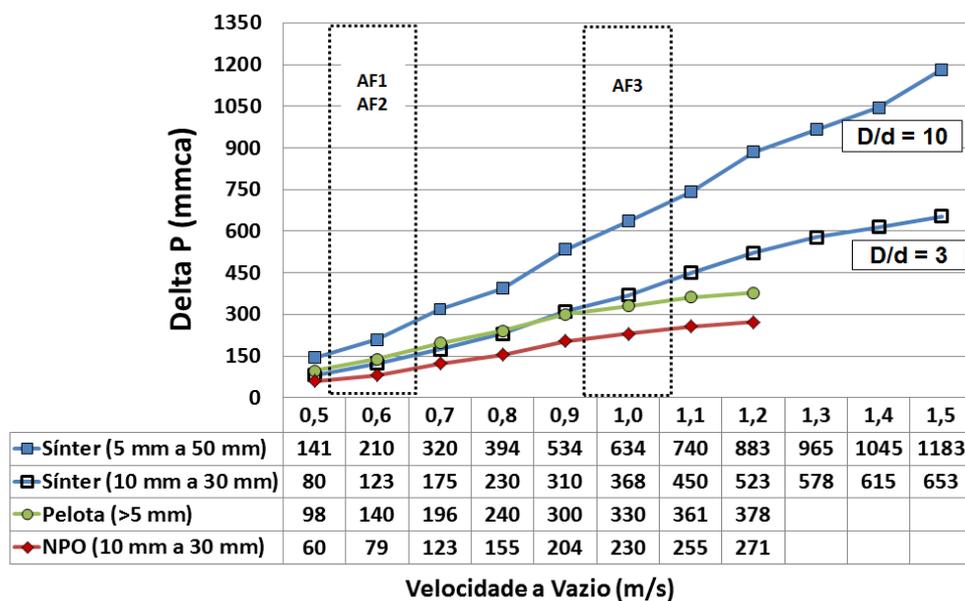
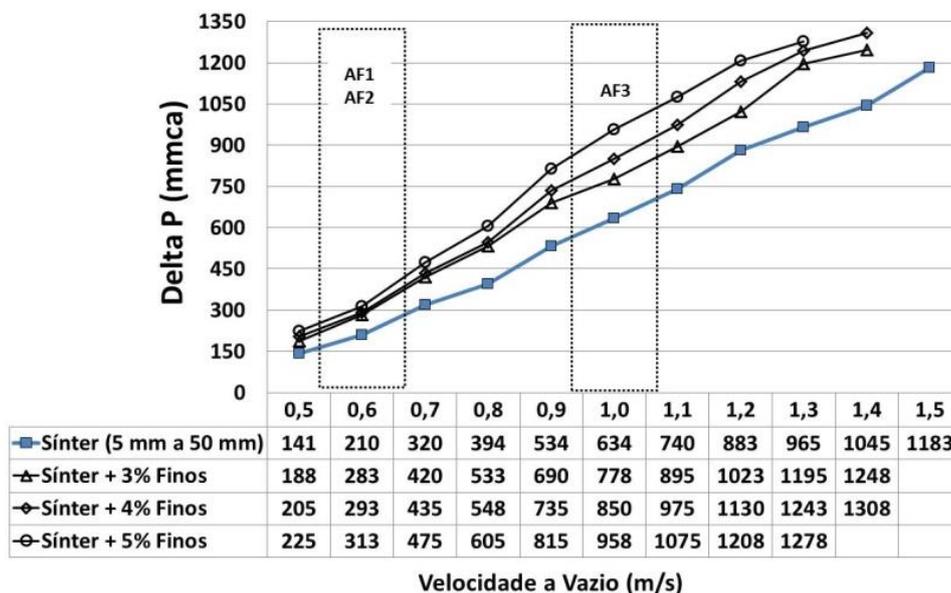


Figura 5. Resistência a permeabilidade para leitos de sínter com diferentes faixas granulométricas.

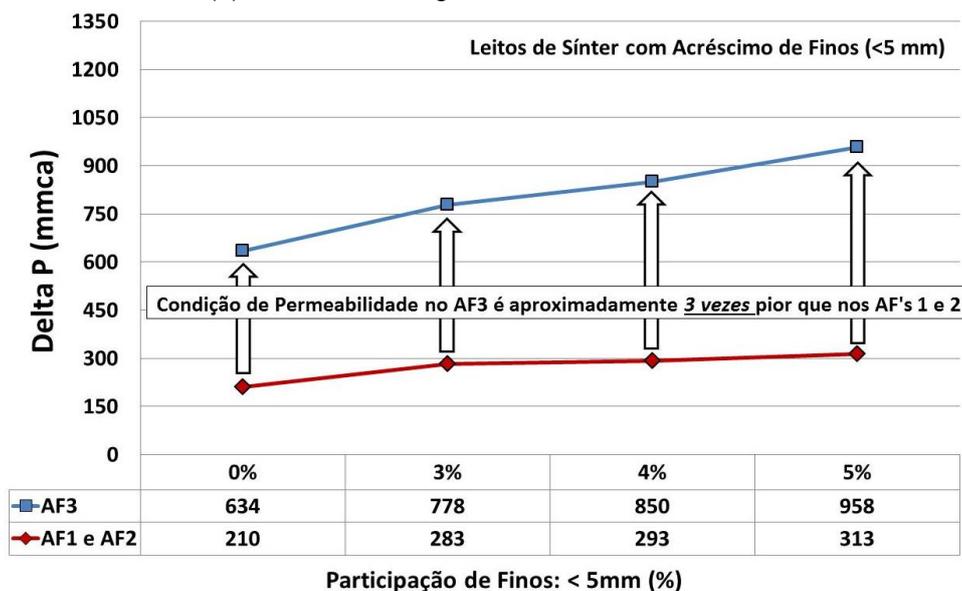
Os resultados de permeabilidade para os leitos de sínter com o acréscimo de material com granulometria fina (< 5 mm) são apresentados na Figura 6 (a). Para leitos com teor de finos superior a 5% ocorreu transbordo de água no tubo em 'U', indicando elevada resistência à passagem do gás através da carga metálica, provavelmente como resultado da maior pressão de base dos leitos. Para qualquer mistura com a razão entre maior diâmetro e menor diâmetro de partícula (D/d) constante, à medida que a proporção do constituinte de menor diâmetro aumenta, este passa a ocupar os interstícios do leito, reduzindo a fração de vazios, até atingir um valor mínimo, resultando em piora da permeabilidade.

Como era esperado, à medida que a concentração de finos aumentou, a permeabilidade do leito foi reduzida (maior perda de pressão). Além disso, o acréscimo de finos foi um fator limitante para a elevação da velocidade a vazio do gás. Na Figura 6 (b) é apresentado um comparativo da perda de pressão nas velocidades a vazio correspondentes àquelas dos Altos-Fornos 1, 2 e 3 da Usiminas, para leitos de sínter com granulometria de 5 mm a 50 mm sem acréscimo de finos e com acréscimo de 3%, 4% e 5% de finos. Utilizando a mesma carga metálica, a

condição de permeabilidade no Alto-Forno 3 é aproximadamente três vezes pior que nos Altos-Fornos 1 e 2, em função da maior velocidade a vazio do gás no Alto-Forno 3. Assim, como é percebido na prática operacional, os Altos-Fornos 1 e 2 oferecem maior flexibilidade em termos de variação da carga, e o impacto do uso de materiais com maior participação de granulometria fina ou maior degradação é mais facilmente absorvido pelo processo. Ao considerar o efeito do *input* de finos nos altos-fornos (Figura 6 (c)), tendo como referência um leito de sínter sem finos (5 mm a 50 mm), a elevação do ΔP resultante do acréscimo de finos é proporcionalmente muito similar para as diferentes velocidades a vazio: (i) acréscimo no ΔP de 51 % nos leitos com 5% de finos, de 34% nos leitos com 4% de finos e de 23% nos leitos com 3% de finos para a velocidade do gás correspondente àquela do Alto-Forno 3; (ii) acréscimo no ΔP de 49% nos leitos com 5% de finos, de 40% nos leitos com 4% de finos e de 35% nos leitos com 3% de finos para a velocidade do gás correspondente àquelas dos Altos-Fornos 1 e 2.

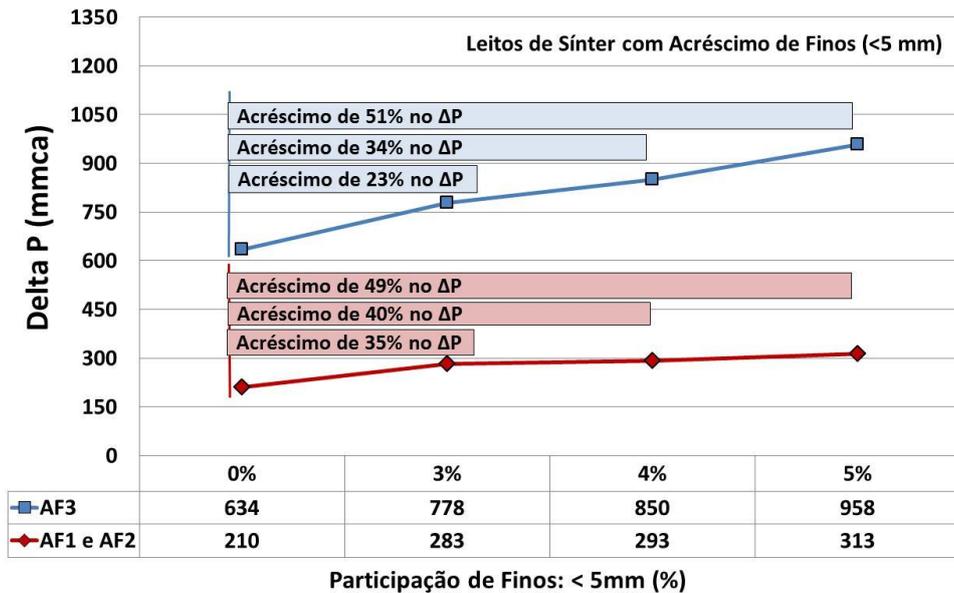


(a) velocidades do gás de 0,6 m/s até 1,5 m/s



(b) velocidades do gás para os Altos-Fornos da Usiminas (0,6 m/s e 1,0 m/s)

Figura 6. Resistência a permeabilidade para os leitos de sínter variando a participação de material fino (<5 mm).



(c) acréscimo no ΔP nas velocidades do gás dos Altos-Fornos da Usiminas (0,6 m/s e 1,0 m/s)

Figura 6. (Continuação)

O efeito da elevação dos finos nos leitos de NPO na granulometria de 10 mm a 30 mm e com acréscimo de 7%, 8% e 10% de material < 10 mm, também foi no sentido de piora da permeabilidade (Figura 7), porém de forma mais suave que nos leitos de sinter. As condições do ensaio possibilitaram realizar o acréscimo máximo de 10% de finos no leito.

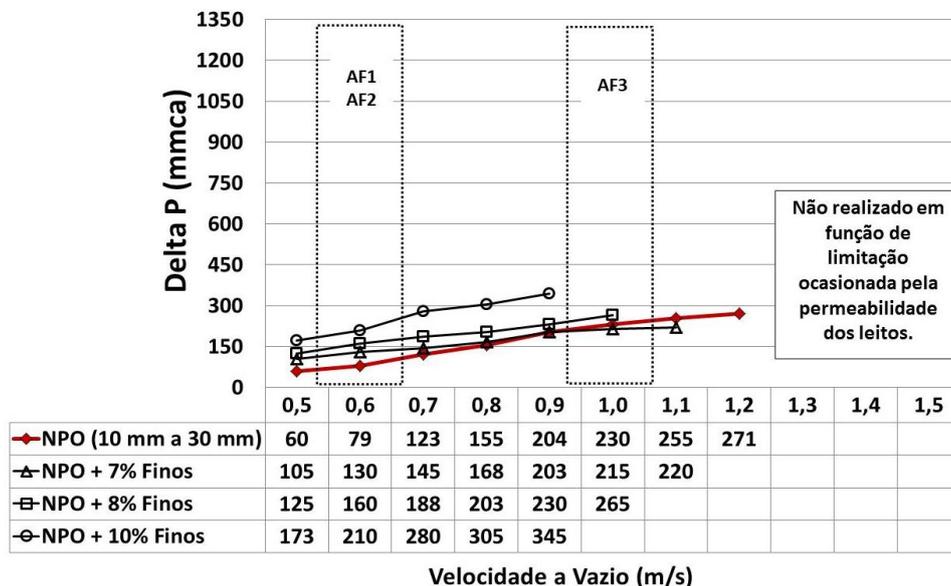
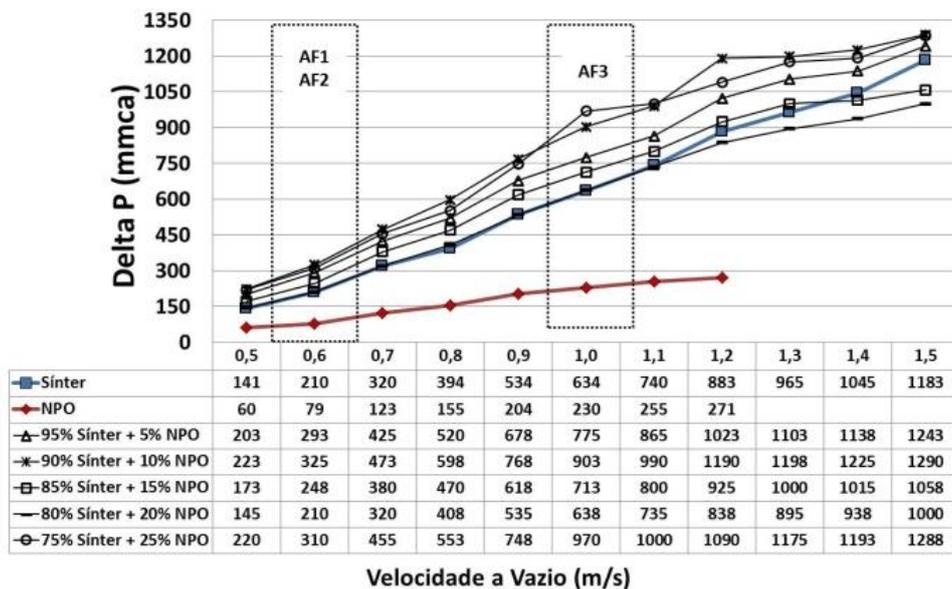


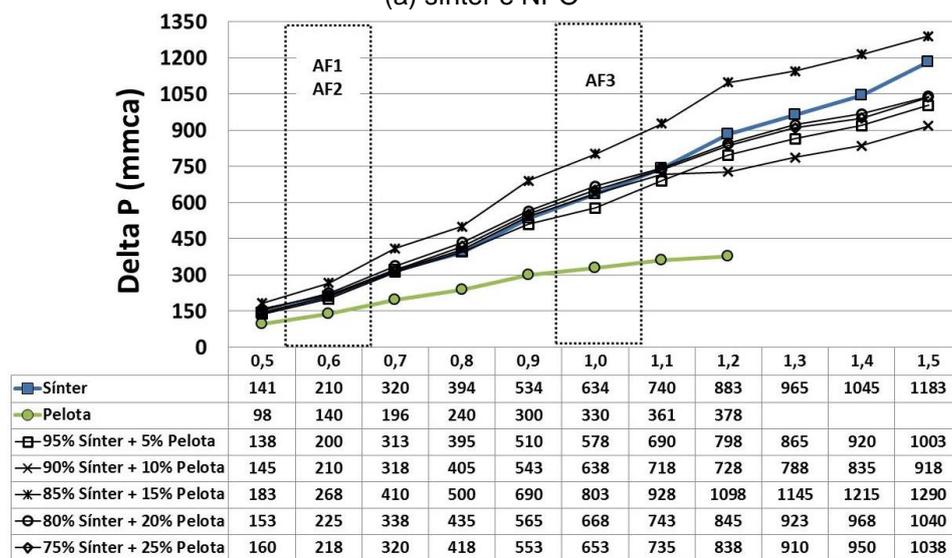
Figura 7. Resistência a permeabilidade para os leitos de NPO variando a participação de material fino (<10 mm).

Por fim, são apresentados os resultados dos leitos em combinações binárias, mantendo constante a distribuição granulométrica dos materiais individualmente e sem acréscimo de material fino, variando apenas a proporção de cada material na composição da carga. Nos leitos formados pelo sinter (100% a 75%) e pelo NPO (0% a 25%), foi visto que, para qualquer combinação desses materiais, a condição

de permeabilidade é piorada, sendo a mistura de 80% de sínter e 20% de NPO a melhor condição entre as combinações binárias, muito semelhante à perda de carga com 100% de sínter (Figura 8 (a)). Para os leitos formados pelo sínter (100% a 75%) em combinação com a pelota (0% a 25%), percebe-se que não ocorreram alterações significativas na permeabilidade quando comparados ao leito composto por 100% de sínter, exceto na condição de 85% de sínter e 15% de pelota, que apresentou resultado destoante das demais combinações (Figura 8 (b)). Uma melhora na permeabilidade, resultante da combinação de sínter e pelota, fica mais evidente à medida que a vazão de gás é elevada, para velocidades superiores a 1,2 m/s, que não estão nos patamares praticados nos altos-fornos da Usiminas. Os resultados comparativos do efeito da participação de minério granulado ou de pelota junto ao sínter na permeabilidade dos leitos, em diferentes velocidades a vazio, são indicadas na Figura 8 (c).

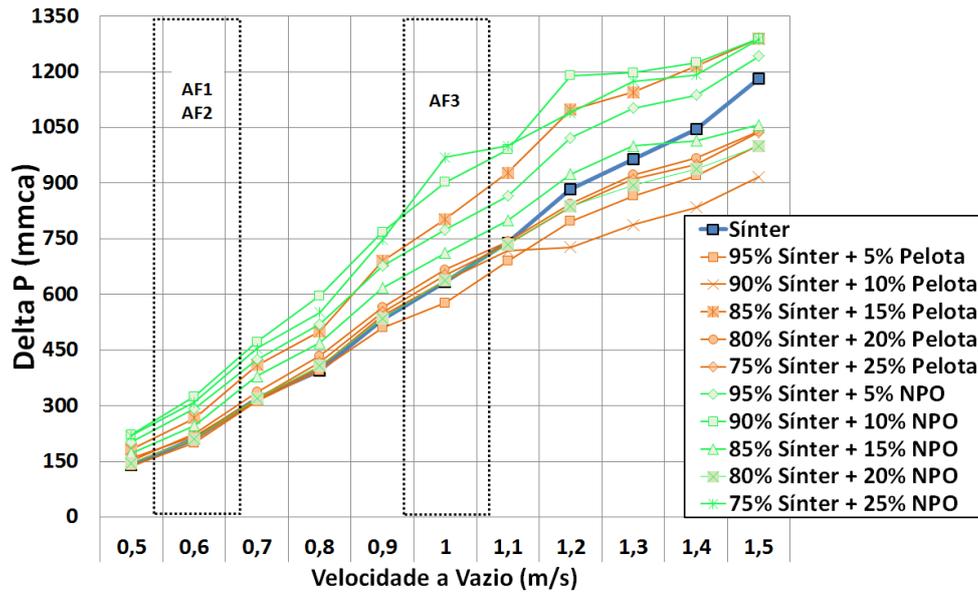


Velocidade a Vazio (m/s)
(a) sínter e NPO



Velocidade a Vazio (m/s)
(b) sínter e pelota

Figura 8. Resistência a permeabilidade para os leitos em combinações binárias.



(c) resultados comparativos

Figura 8. (Continuação)

Na Figura 9 esses resultados são apresentados nas velocidades a vazio correspondentes às dos Altos-Fornos 1, 2 e 3 da Usiminas.

A tendência de variação do ΔP em função das mudanças na composição dos leitos foi similar para as velocidades a vazio correspondentes às dos altos-fornos da Usiminas e não ocorre de maneira linear nas proporções de sínter substituídas por granulado ou pelota.

O leito de melhor permeabilidade foi formado por 95% de sínter e 5% de pelota, seguido pelo leito formado por 100% de sínter, embora seja importante destacar que não ocorreu diferença significativa entre essas condições.

Em geral, a combinação de sínter e pelota é mais vantajosa que a de sínter com o minério granulado. Enquanto os leitos formados por sínter e pelota apresentaram permeabilidade similar àquela do leito formado por 100% de sínter, a combinação de sínter com o minério granulado, quando comparada às mesmas proporções dos leitos binários de sínter e pelota e de 100% de sínter, prejudicou a permeabilidade do leito. Esses resultados mostraram que a melhor permeabilidade do minério granulado individualmente não foi uma propriedade aditiva quando este material foi associado ao sínter na carga, dependendo de fatores como a fração de vazios no leito, diretamente relacionada com a acomodação entre as partículas.

Vale ressaltar algumas condições: (i) o leito de 85% de sínter e 15% de pelota apresentou pior permeabilidade que o leito de 100% de sínter e que o leito de sínter e granulado nas mesmas proporções; (ii) a permeabilidade do leito de 80% de sínter e 20% de granulado foi a melhor entre as combinações desses materiais, similar à condição com 100% de sínter e (iii) na avaliação dos leitos em combinações binárias não foram carregadas as partículas <5 mm no sínter e <10 mm no granulado, para que fosse possível avaliar isoladamente o parâmetro da composição da carga dos leitos em combinações binárias. Associado aos resultados positivos em termos de permeabilidade da pelota, normalmente este material possui maior estabilidade granulométrica e menor teor de finos.

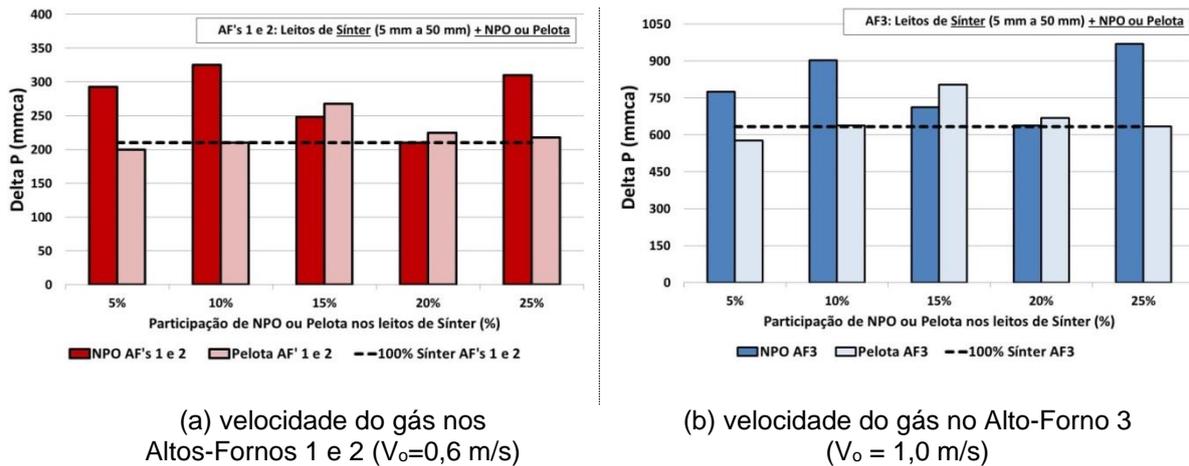


Figura 9. Resistência a permeabilidade para os leitos em combinações binárias nas velocidades do gás para os Altos-Fornos da Usiminas.

4 CONCLUSÃO

Para o desenvolvimento do ensaio de permeabilidade foi realizada uma adequação em um equipamento, transformando-o em um Simulador de Perda de Carga em Alto-Forno. O resultado dos ensaios de permeabilidade é uma correlação entre a velocidade a vazio do gás e a perda de carga gerada pela passagem desse gás em determinado leito. Individualmente, o sinter apresentou a maior perda de carga, seguido da pelota e do minério granulado. A razão entre o diâmetro da maior e da menor partícula do sinter é bem superior que a do minério granulado e da pelota, o que impactou na maior perda de pressão. Contudo, leitos formados apenas por pelotas ou por minério granulado não representam a realidade da carga metálica praticada na Usiminas. Apesar da maior perda de pressão no leito de sinter, este foi o material que permitiu maior acréscimo de vazão do gás. Os ensaios indicaram claramente que 5% de material < 5 mm é o limite para a concentração de finos do sinter, quando foi observado acréscimo de aproximadamente 50% no ΔP para a velocidade do gás correspondente àquelas dos altos-fornos. Além disso, a condição de permeabilidade no Alto-Forno 3 é cerca de três vezes pior que nos Altos-Fornos 1 e 2, em função da maior velocidade a vazio do gás no seu interior. Assim, os fornos menores oferecem maior flexibilidade em termos de variação da carga, e o impacto do uso de materiais com menor granulometria ou maior degradação é mais facilmente absorvido pelo processo. Considerando os leitos em combinações binárias e o leito de sinter, aquele com melhor permeabilidade foi formado por 95% de sinter e 5% de pelota, seguido por 100% de sinter, sem diferença significativa entre essas condições. Em geral, a combinação de sinter e pelota é mais benéfica para a permeabilidade do leito.

REFERÊNCIAS

- 1 MITRA, T. Modeling of Burden Distribution in the Blast Furnace. Doctor of Technology Thesis. Åbo Akademi University. Turku/Åbo, Finland 2016.
- 2 GEERDES, M.; TOXOPEUS, H.; VLIET, C. Modern Blast Furnace Ironmaking - an introduction. Second Edition, 2009.
- 3 JESCHAR, R.; POTKE, W.; PETERSEN, V.; POLTHIER, L. Blast Furnace Aerodynamics. Wollongong, p.136 - 147. Austrália, 1975.