

METÁLICOS DE SUBSTITUIÇÃO À SUCATA FERROSA – PARTE I – FERRO DIRETAMENTE REDUZIDO

Metalurgista Industrial

novembro 2019

www.metalurgistaindustrial.com.br

O primeiro contato deste metalurgista industrial com o ferro diretamente reduzido (DRI) deu-se no início de sua vida profissional, à época engenheiro de processos em aciaria elétrica. O processo de redução era o Purofer, então bastante inovador. O DRI briquetado a quente era imediatamente transportado até a aciaria em contêineres para carregamento nos fornos elétricos de modo a preservar sua temperatura. Esses contêineres eram posicionados em posição elevada próxima aos fornos e serviam como silos de armazenamento de onde o DRI, no caso HBI, era descarregado por gravidade e carregado por furo aberto nas abóbadas.

As usinas siderúrgicas integradas baseadas em redução direta que produzem grandes volumes de DRI empregam esses sistemas de carregamento contínuo cuja taxa de alimentação é ajustada com o *power input* dos fornos. Mesmo em usinas semi-integradas que adquirem DRI mercante produzido por terceiros, o carregamento contínuo de DRI torna-se uma operação atrativa para reduzir o número de carregamentos dos fornos elétricos, devido à baixa densidade da sucata ferrosa disponível, em muitos casos da ordem de 0,2 a 0,5 t/m³. A redução do número de carregamentos traz, como consequência, a redução dos tempos de processamento *tap to tap* das corridas de aço líquido e das perdas correlatas de energia, da ordem de 10 a 20kWh/t para cada operação de carregamento.

No processo Purofer, o gás redutor era produzido pelo processo Texaco de gaseificação de óleo pesado em um gás sintético que consiste em uma mistura de hidrogênio e monóxido de carbono. A aposta do processo era a de emprego de 100% de minério de ferro granulado. Lamentavelmente, o processo não resultou. Os finos gerados pela crepitação do minério aglomeravam-se por sinterização no interior do forno e provocavam entupimentos. A operação era intermitente e o processo terminou por ser desativado. Os processos de redução direta encontram nas pelotas sua matéria-prima de referência.

Posteriormente, este metalurgista industrial teve um segundo contato com o DRI quando atuou como interventor na aciaria elétrica da antiga Usiba que se encontrava desativada por problemas operacionais. Nessa, o processo de redução direta era baseado na reforma de gás natural. E ocorreram outros contatos com o DRI na antiga Aços Finos Piratini e na Siderperu, ambas operando unidades de redução direta em fornos rotativos usando carvão mineral como agente redutor, e em visitas técnicas a usinas integradas baseadas em redução direta no exterior. A Resenha Técnica de Tecnologias de Processos Redução Direta e Fusão Redutora aborda os processos de redução direta.

Mas a instabilidade operacional do processo Purofer trouxe a continuidade do emprego intensivo de outra fonte de ferro em substituição à escassa sucata ferrosa, o ferro-gusa sólido produzido em altos-fornos a carvão vegetal, enfiado em uma proporção que chegou a alcançar 20% da composição da carga dos fornos elétricos.

O ferro-gusa como matéria-prima de substituição à sucata ferrosa é objeto da Parte III desta Resenha de Casos. O carvão de ferro na Parte IV, e na Parte V e última uma galeria de imagens.

Propriedades do ferro diretamente reduzido

Uma típica composição química do DRI em peso é indicada a seguir. A metalização é usualmente expressa como uma percentagem Fe metálico / Fe total x 100. Por exemplo, se um DRI tem 86% de Fe metálico e 92% de Fe total sua metalização é de 93% ((0,86/0,92) x 100).

Metalização	83 a 95%
Fe metálico	79 a 89%
Fe total	89 a 94%
C	0,3% a 4%
S	0,001 a 0,03%
P	0,035 a 0,09%
Ganga	5% em média
Granulometria	4 a 20mm
Densidade aparente	1,6 a 1,9 t/m³
Densidade real	3,4 a 3,6 t/m³

DRI briquetado a quente (HBI)

O HBI é uma forma compactada do DRI a temperaturas superiores a 650° C que assume consequentemente uma densidade aparente é de 2,5 a 3,3 t/m³ e a real com valores superiores a 5 t/m³.

Sob essa forma briquetada, o produto supera problemas associados com o embarque e manuseio do DRI, pois a compactação torna-o menos poroso e, portanto, menos reativo, não sofrendo o risco associado de autoaquecimento.

A figura a seguir ilustra o processo de briquetagem do DRI.



Dissolução de contaminantes

A principal matéria-prima para os fornos elétricos é a sucata ferrosa, que tem as seguintes três origens principais:

- (i) sucata de obsolescência, oriunda de uma vasta gama de materiais que já cumpriram vida útil e é recolhida para reciclagem,
- (ii) sucata industrial, originária de operações de manufatura. Esse tipo de sucata usualmente apresenta características uniformes e qualidade previsível, e
- (iii) sucata de retorno, gerada durante o processamento do aço.

Os últimos dois tipos de sucata tendem a ter composição química próxima à desejada para o aço líquido e são ideais para reciclagem. Mas com o contínuo aumento das eficiências dos processos, esses tipos de sucata encontram suas gerações reduzidas.

A sucata de obsolescência, por sua vez, tem composição química variável e frequentemente contém contaminantes indesejáveis para o processamento do aço, os chamados elementos residuais que incluem Cu, Sn, Ni, Cr e Mo.

Uma aciaria elétrica que produz aços com restrições de residuais, seja na produção de aços planos ou de produtos longos, encontra no DRI ou no HBI, assim como no ferro-gusa e no carvão de ferro, um agente de diluição desses contaminantes para níveis satisfatórios.

Remoção do nitrogênio dissolvido

Outro efeito benéfico colateral do emprego do DRI ou HBI é o de assistir à remoção do nitrogênio pela geração de CO quando estes contêm carbono em excesso em relação ao oxigênio (*boiling effect*) e suficiente quantidade destas fontes metálicas é enfiada. Esse efeito permite o atingimento de patamares de nitrogênio dissolvido compatíveis com as demandas de muitos tipos de aços, permitindo assim a substituição de aços produzidos em convertedores a oxigênio por oriundos de aciarias elétricas.

Consumo de energia

Comparativamente com a sucata ferrosa, a fusão do DRI tende a aumentar o consumo de energia. O DRI demanda 100 a 200 de kWh/t adicional comparativamente à sucata ferrosa. O processamento de uma carga consistindo de 100% de sucata em um moderno forno elétrico a arco consome tipicamente 400 a 435kWh/t de aço líquido, ou até menos se as etapas de refino e sobreaquecimento forem transferidas para um forno-panela.

Uma tonelada de ferro puro demanda 389kWh para aquecimento e fusão de 25° C a 1.650° C, o forno elétrico a arco é um equipamento de fusão muito eficiente.

O consumo de energia elétrica para o DRI é influenciado por fatores como o grau de metalização, teor de carbono e teor de ganga. Convencionalmente, o DRI sempre foi resfriado antes de ser descarregado do forno de redução. Mas esforços têm sido empreendidos no sentido de promover o carregamento a quente do DRI, aproveitando deste modo parte de seu calor sensível.

A expectativa para um carregamento de DRI a 600° C é de redução da ordem de 150kWh/t de aço líquido no consumo de energia, com reflexos diretos na produtividade. O carregamento a quente, cumpre lembrar, fora a proposta original do processo Purofer.