

## AVALIAÇÃO DE CONSUMO DE SUCATAS DE BAIXA QUALIDADE EM CARRO TORPEDO \*

Bruno das Chagas Bernardo<sup>1</sup>

Odair José Kirmse<sup>2</sup>

Simony Barboza<sup>3</sup>

Vinícios Andreatta<sup>4</sup>

### Resumo

Neste trabalho buscou-se avaliar o consumo de sucatas com elevador teor de enxofre, em carro torpedo, sem afetar a qualidade final do produto, objetivando a recirculação de um coproduto gerado internamente e aumento do rendimento de gusa distribuído para Aciaria. A sucata em questão é gerada a partir do beneficiamento da escória resultante do processo de raspagem após dessulfuração do ferro gusa em panela (KR) e do procedimento de limpeza dos carros torpedos. Foi avaliada a operacionalidade da adição, riscos envolvidos no processo e redução da geração com reaproveitamento direto no processo. Os resultados mostraram que existe viabilidade técnica e ganhos financeiros significativos

**Palavras-chave:** Carro Torpedo; Ferro Gusa; Sucata.

### COMSUMPTION EVALUATION OF LOW QUALITY SCRAP IN TORPEDO CAR

### Abstract

The aim of this work was to evaluate the consumption of sulfur-containing scrap in a torpedo car without affecting the final quality of the product, aiming recirculate an internally generated by-product and increasing the pig iron yield distributed to the steel shop. The scrap in question is generated from the processing of the slag resulting from the scraping process after the desulfurization of the pig iron (KR) and the cleaning procedure of the torpedo cars. It was evaluated the operationality of the addition, risks involved in the process and reduction of generation with direct reuse in the process. The results showed that there is technical feasibility and significant financial gains.

**Keywords:** Torpedo Car; Hot Metal; Scrap.

<sup>1</sup> Engenheiro Metalúrgico e de Segurança do Trabalho, Analista de gestão de matérias primas, Aciaria, ArcelorMittal Tubarão- Av. Brigadeiro Eduardo Gomes, 930, Jd. Limoeiro, Cep 29163-970, Serra, ES, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, MSc, Especialista de Matérias Primas e Convertedores, Aciaria, ArcelorMittal Tubarão- Av. Brigadeiro Eduardo Gomes, 930, Jd. Limoeiro, Cep 29163-970, Serra, ES, Brasil.

<sup>3</sup> Formação/graduação, titulação, cargo/função, setor/departamento, Instituição de trabalho e/ou estudo, cidade, estado e país.

<sup>4</sup> Engenheiro Metalúrgico, Especialista de Matérias Primas e Convertedores, Aciaria, ArcelorMittal Tubarão- Av. Brigadeiro Eduardo Gomes, 930, Jd. Limoeiro, Cep 29163-970, Serra, ES, Brasil..

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Carro Torpedo - Transporte e Acondicionamento do Ferro Gusa

Para facilitar a compreensão do estudo a seguir, é necessário entender a função do carro torpedo no transporte e acondicionamento do ferro gusa, desde sua liberação nos altos fornos até sua chegada na Aciaria.

De acordo com Silva (2011), a fusão redutora dos óxidos de ferro em reator denominado alto forno produz o ferro gusa, com elevado teor de carbono, entre 3,0 e 4,5%, e grande quantidade de impurezas como silício, enxofre e fósforo.

Como o processo de produção dos altos fornos é contínuo, existe a necessidade constante de vasilhames posicionados abaixo do forno para recebimento do ferro gusa produzido. No caso da ArcelorMittal Tubarão o recebimento do ferro gusa e transporte para Aciaria é realizado via carro torpedo (CT).



Figura 1. Carro torpedo - Representação esquemática

Com função básica de transporte de ferro gusa do alto forno para Aciaria, o carro torpedo também tem características dimensionadas de reduzir ao máximo a perda térmica durante a movimentação entre estações, uma vez que energia é fundamental em Aciaria LD.

Para Gonçalves (2005) em um processo de fabricação de aço via BOF (Basic Oxygen Furnace) a energia necessária para o sistema vem basicamente do aquecimento do gusa líquido, que representa aproximadamente 80% da carga, e das reações exotérmicas.

O carro torpedo também pode ser utilizado para pré-tratamento de gusa, processos como a dessulfuração podem ser realizados no mesmo, entretanto esse não é o processo mais eficiente, uma vez que o CT não é um reator metalúrgico e sim um vasilhame projetado para transporte e acondicionamento com a mínima perda térmica possível.

Alguns fatores tais como qualidade refratária, volume interno útil e condição de transferência para panela de gusa, são importantes para manter a estabilidade operacional, uma vez que o processo ocorre de forma contínua e a disponibilidade de CT é fator determinante.

A cada viagem realizada entre alto forno, aciaria e retorno para o alto forno denominamos de ciclo. Na ArcelorMittal Tubarão, em média, cada carro torpedo realiza 3 ciclos por dia e ao longo desses ciclos pode-se ter uma agregação de escória e gusa nas paredes internas prejudicando as condições ideais de operação. Tal formação é intensificada quando é realizado o processo de dessulfuração em carro torpedo devido ao volume de escória gerada no interior do CT e perda térmica causada pelo processo.

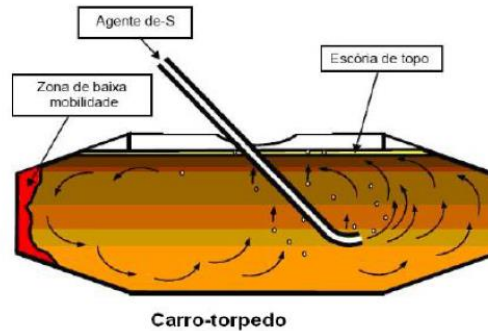


Figura 2. Dessulfuração de gusa em carro torpedo - representação (LEMOS 2011)

O fenômeno descrito acima, se não controlado, além de reduzir a carga útil também pode atrapalhar a transferência do gusa para panela, a presença de elementos sólidos aderidos próximos a região da boca do CT afeta a estabilidade do jato de gusa aumentando o risco de emissões ambientais.

A fim de garantir as condições adequadas, é comum que regularmente os carros torpedos passem por um processo de limpeza a quente que consiste basicamente em realizar o basculamento do residual de gusa e escória, através de giros de 360°, em uma unidade específica para tal. O material gerado é recuperado e novamente disponibilizado para consumo com denominação de sucata de gusa desclassificada, por conter elevado teor de enxofre e percentual de escória próximo a 40%.

## 1.2 Dessulfuração de gusa em panela (KR)

Todo gusa transportado para Aciaria deverá ser transferido para panela de gusa e caso ainda não tenha passado pelo processo de dessulfuração em CT, seguirá para o processo de dessulfuração em panela (KR). O agitador mecânico "Kambara Reactor" (KR) trabalha com um conceito simples de difusão do agente dessulfurante no ferro gusa através da intensa turbulência causada pelo agitador. Tal processo tem ganhado cada vez mais espaço visto sua maior eficiência quando comparado a dessulfuração em carro torpedo.

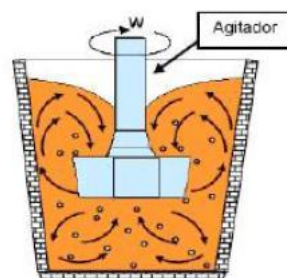


Figura 3. KR – representação (LEMOS 2011)

Apesar da menor eficácia quando comparado com outros agentes dessulfurantes, a cal (CaO) é um dos dessulfurantes mais utilizados devido a sua capacidade de dessulfuração aliada ao baixo custo, além disso está disponível em abundância na natureza em forma de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>).

Após realização do processo de dessulfuração, seja em carro torpedo ou em KR, o ferro gusa carregado na panela precisará ter sua escória superficial, rica em enxofre, retirada para evitar reversão desse indesejado elemento durante o sopro de oxigênio nos convertedores. O coproduto gerado nessa raspagem é denominado escória KR e será processado para melhor aproveitamento, sendo parte vendido, parte consumido na Sinterização e a parte metálica transformada em sucata de gusa desclassificada.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Conforme visto anteriormente, a sucata de gusa desclassificada é gerada em dois pontos específicos do processo, dessa forma o estudo foi dividido em duas etapas, sendo uma para avaliar a necessidade e frequência de limpeza de carros torpedos e outra em reaproveitar a sucata gerada nos potes de escória do KR.

### 2.1 Limpeza de carros torpedos

Originalmente a planta de ArcelorMittal Tubarão partiu suas operações apenas com a dessulfuração em carro torpedo, sendo todo o know-how descritos em padrões voltados para tal tecnologia, apenas em 2006 foi implantado o KR e os conceitos começaram a mudar, entretanto alguns paradigmas permaneceram. Em 2014 com o retorno das operações a plena capacidade novas ideias começaram a surgir para otimizar cada vez mais o nosso processo.

Para realizar a limpeza, o carro torpedo deveria ter o residual de material líquido basculhado na areia e o material sólido basculhado na água através de 3 giros de 360° subsequentes. Tal procedimento sempre foi item fundamental para garantir a estabilidade dos carros torpedos uma vez que grande parte da produção passava pela estação de dessulfuração em carro torpedo, entretanto observou-se uma tendência de redução de dessulfuração em carro torpedo e priorização da planta KR para otimização de custos.

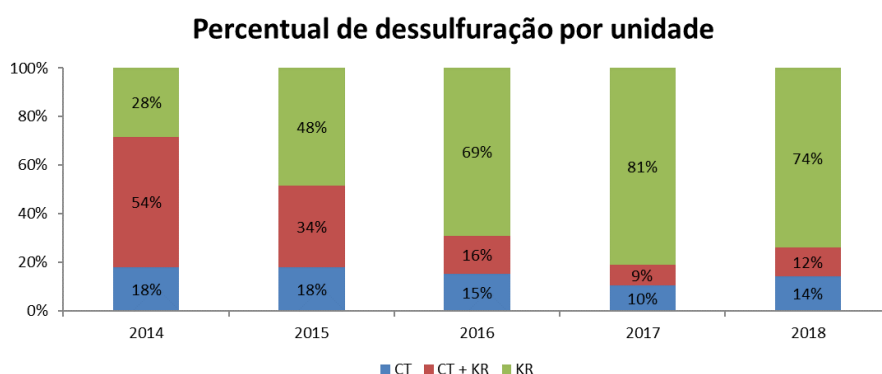


Figura 4. Percentual de dessulfuração por unidade

Em meados de 2016 notou-se que o percentual de gusa dessulfurado em carro torpedo passou a representar aproximadamente 25% de todo gusa produzido nos alto fornos e diante das novas condições de processo, foi proposta a alteração nos critérios de limpeza:

Em vigor: Realizar limpeza a cada 3 ciclos;

Proposta: Realizar limpeza somente para CTs com três ciclos subsequentes de dessulfuração e/ou retenção de material acima de 15 toneladas. Realizar inspeção visual diária, com limpeza de boca com máquina demolidora quando necessário.

Inicialmente o novo critério foi adotado para apenas um carro torpedo ficando o mesmo em operação por mais de 100 ciclos sem nenhum registro de dificuldades de transferência de gusa para panela e/ou aumento de tara. Posteriormente o procedimento foi estendido a cinco carros torpedos, sendo aplicado efetivamente em toda frota em operação no fim de 2017

Os principais ganhos objetivados eram aumentar o rendimento de gusa, minimizando a perda com limpeza, e evitar o custo de recuperação e beneficiamento do material. No final de 2018 foi apurado um ganho de \$1.000.000,00 de dólares em relação ao ano de 2017 com a redução da geração de 1,74kg/t para 0,64 kg/t de gusa produzido nos alto fornos.

## 2.2 Adição de SGD em torpedo

A mudança no comportamento de geração de material residual no interior do carro torpedo possibilitou a mudança na rotina de limpeza, entretanto as condições de regularidade na boca e inspeção refratária deveriam ser mantidas para garantir a estabilidade operacional. Desta forma, optou-se por instruir que todo carro torpedo passasse pela região de inspeção ao menos uma vez ao dia para que tais itens fossem inspecionados.

Ao longo do tempo foi observado que na maioria das inspeções realizadas no CTs não era necessário realizar nenhum tipo de intervenção, ficando os recursos disponíveis para outras atividades. Em paralelo alguns desenvolvimentos visavam consumir a sucata gerada do beneficiamento da escória dos potes provenientes do KR, visto que o seu consumo excessivo direto via LD pode impactar na qualidade final do produto. Era de conhecimento que algumas plantas no próprio grupo ArcelorMittal faziam uso de sucata de carro torpedo e daí surgiu a ideia de desenvolver e realizar essa adição também na planta de Tubarão.

**Tabela 1.** Composição típica da Sucata de gusa desclassificada

Teor Metálico (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Ti (%)
60	4,58	0,30	0,55	0,095	0,05	0,08

*Padrão técnico ArcelorMittal Tubarão.*

Inicialmente foram realizados testes com utilização de bag para otimização do recurso disponível na área de inspeção de CTs. Os bags foram enchidos com aproximadamente 1.000 kg cada e adicionados no carro torpedo com auxílio de máquina demolidora (utilizada na limpeza da boca do CT).



Figura 5. Adição de SGD em CT via bag

A adição foi realizada em apenas um carro torpedo no montante de duas toneladas, entretanto algumas dificuldades foram observadas, tais como enchimento dos bags, posicionamento do bag na ponteira da máquina, risco de rasgamento dos bags durante movimentação, entre outros. Apesar do torpedo ter seguido fluxo normal sem nenhuma anormalidade o teste foi interrompido para avaliação de nova metodologia de adição.

A segunda opção testada foi realizar a adição via garra. Nessa condição a adição foi realizada em 13 carros torpedos distintos, variando o total adicionado por CT entre quatro e seis toneladas, totalizando setenta e quatro toneladas.



Figura 6. Adição de SGD em CT via garra

Qualidade do gusa (%S e temperatura) entregue na Aciaria e impacto refratário foram avaliados sem nenhuma percepção de anormalidade. Nos alto fornos foi percebido que alguns torpedos com presença de sucata tendiam a ter uma pequena reação no início do recebimento de gusa, dessa forma algumas limitações foram impostas no processo, tais como proibição de adição em dias de chuva e volume de

material nas pilhas para evitar contaminação, de modo a evitar quaisquer problemas durante o carregamento. Atualmente raras ocorrências de reação são observadas nos alto fornos e estando sempre ligadas a alguma condição atípica momentânea.

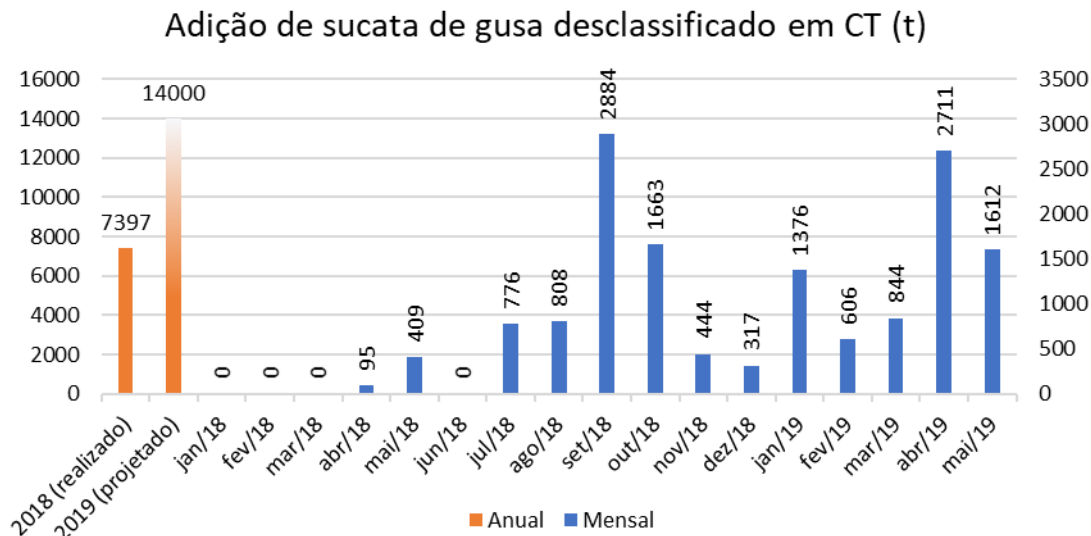


Figura 7. Adição de SGD em CT via garra

Em 2018 o processo começou a se estabilizar com a adição de 7.397 t ao longo do ano totalizando um ganho aproximado de \$350.000,00 dólares. Para 2019 o processo continua ocorrendo, consumindo 100% da geração desse material e reduzindo estoque, com expectativa de adição de mais de 14.000 t de sucata desclassificada no CT com ganho estimado de \$300.000,00 dólares quando comparado com o ano de 2018.

### 3 CONCLUSÃO

A limpeza de torpedo pode ser parcialmente eliminada com redução da geração de passivo e ganhos financeiros relevantes, condições adversas de processo devem ser constantemente analisadas para que seja garantida a boa condição de operacionalidade dos carros torpedos.

O consumo de sucata com elevado teor de enxofre em carro torpedo é viável e com ganhos financeiros significativos, entretanto alguns cuidados (limitação de volume, umidade, contaminação etc.) são necessários para evitar outros transtornos para os processos correlatos. O passivo foi consumido e toda geração também está sendo consumida “eliminando” internamente um coproduto gerado no processo.

## REFERÊNCIAS

- 1 Silva, J. N. S, **Siderurgia** – ESCOLA TÉCNICA ABERTA DO BRASIL, IFPA – campus Belém, UFSM, Santa Maria, 2011
- 2 GONÇALVES, W. M., **ADEQUAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE AÇO LD, UTILIZANDO FERRO-GUSA LÍQUIDO COM BAIXO TEOR DE SILÍCIO** – Dissertação de mestrado - Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005
- 3 LEMOS, R.L., **Maximização na eficiência de dessulfuração do gusa líquido num reator kambara** – Dissertação de mestrado – REDEMAT, Universidade federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011
- 4 KIRMSE, O. J., **Estudo do Comportamento Metalúrgico do “Reator Kambara” Através de Modelagem Física** - Dissertação de mestrado – REDEMAT, Universidade federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011