



## ACIARIA ELÉTRICA E UTILIZAÇÃO DE GUSA LÍQUIDO<sup>1</sup>

Adriano de Oliveira Paula<sup>2</sup>  
André Martins Araújo<sup>3</sup>  
Sérgio Renato Ribeiro<sup>4</sup>  
Thiago Luiz Coelho Furtado<sup>5</sup>  
Waldenir Luciano de Souza Lima<sup>6</sup>

### Resumo

A busca de economia de energia, redução de custos, aumento de produtividade e flexibilidade trouxe a opção do gusa líquido para as aciarias elétricas, que tradicionalmente trabalhavam apenas com carga sólida na fabricação do aço, sendo predominante a sucata. Este trabalho trata da adaptação de um forno elétrico "tradicional" para utilização do gusa líquido. E abordará seus impactos no desempenho, na operação e na segurança dessa nova rota de produção.

### ELECTRIC MELTSHOP AND HOT METAL USE

### Abstract

The search for energy-saving, cost reduction, increased productivity and flexibility has brought the option of adopting the hot metal for electric steel mills, which have traditionally worked only with solid charge in steel manufacture, predominantly scrap. This work deals with the adaptation of "traditional" electric furnace to use the hot metal. And it approaches their impacts on performance, operation and safety of this new production route.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 42º Seminário de Aciaria – Internacional, 15 a 18 de maio de 2011, Salvador, BA, Brasil.

<sup>2</sup> Analista de Processos Industriais – Aciaria

<sup>3</sup> Gerente de Área de Produção de Aços

<sup>4</sup> Analista de Processos Industriais – Aciaria

<sup>5</sup> Engenheiro de Processo – Aciaria

<sup>6</sup> Gerente de Aciaria



## 1 INTRODUÇÃO

A combinação aciaria elétrica e lingotamento contínuo criou as condições físicas para a obtenção de vantagens competitivas a partir de um processo siderúrgico mais compacto e que exigisse menor investimento, frente as siderúrgicas integradas.

O Forno Elétrico foi concebido originalmente para utilização de sucata como carga metálica. Logo, em seguida, surgiram as primeiras preocupações com a disponibilidade desta matéria-prima. Então o ferro esponja - DRI e o ferro gusa constituíram-se seus principais substitutos e têm sido usados na composição da carga utilizada nos fornos elétricos. No mundo, o ferro esponja tem sido preferido. Já no Brasil, devido à oferta de ferro gusa de produtores independentes e ao alto preço do gás natural, os fornos elétricos normalmente trabalham com um mix de ferro gusa sólido e sucata.

De um lado a instabilidade da oferta de gusa sólido, as flutuações no preço dessa matéria-prima, a dependência de fornecedores externos e, de outro, as possibilidades de ganho com a redução do consumo de energia, possibilidade de aumento de produtividade, a flexibilidade e, além disso, a sustentabilidade fizeram com que optássemos pela sua produção.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Contribuição Energética

#### 2.1.1 Calor contido

O primeiro benefício da utilização do gusa líquido é o aproveitamento do calor contido no material. Este pode ser calculado com auxílio de dados termodinâmicos e dependerá da composição química do gusa e da sua temperatura. Muitos autores definiram relações empíricas para avaliar o aporte energético do gusa líquido, Jones<sup>(1)</sup> definiu a substituição da sucata pelo gusa líquido através da equação abaixo:

$$1 \text{ t gusa líq.} + 25 \text{ kg de cal virgem} = 0,92 \text{ t de sucata limpa} + 50 \text{ kg coque} + 330 \text{ kWh}$$

Haissig, Genter e Villemin<sup>(2)</sup> definiram a contribuição do gusa líquido sendo de 336 kWh a 1.450°C. Já na fórmula do Dr. Köhle,<sup>(3)</sup> amplamente utilizada para prever o consumo de energia em fornos elétricos, uma tonelada de gusa líquido contribui com 350 kWh.

#### 2.1.2 Substituição da carga sólida por gusa líquido

Quando o gusa líquido substitui o gusa sólido, o calor contido é o principal benefício. Mas quando este material substitui sucata você conta também com o calor gerado pelas reações exotérmicas de oxidação, principalmente do silício e do carbono contidos no gusa. O que traz aproximadamente mais 100 kWh para cada tonelada de gusa líquido, a 1.300°C. Ainda conforme Haissig, Genter e Villemin<sup>(2)</sup> este calor pode chegar 190 kWh, a 1.450°C.



## 2.2 Aumento de Produtividade

O aumento de produtividade será, normalmente, proporcional à redução do tempo de forno ligado, descontado o aumento da parada de processo (tempo de carregamento), se houver.

Sendo assim, para maximizar os ganhos da utilização do gusa líquido, é desejável fazer sua adição sem que o FEA seja aberto.

### 2.1.1 Opções de carregamento

O gusa pode, por exemplo, ser basculado dentro do FEA através de calhas laterais com ou sem o auxílio de uma ponte rolante. Esta prática evita a perda de energia pela abertura do forno e possibilita a adição controlada do metal líquido a taxas de aproximadamente 10t/min. Além disso, o local de adição deste material pode ser definido em função das necessidades específicas da aciaria. Abaixo, nas Figuras 2 e 3, são apresentadas duas formas de adição do gusa líquido.

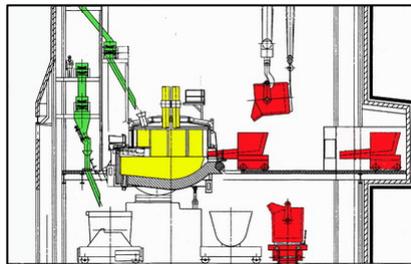


Figura 1: Adição pela Porta de Escória com a utilização de ponte rolante.

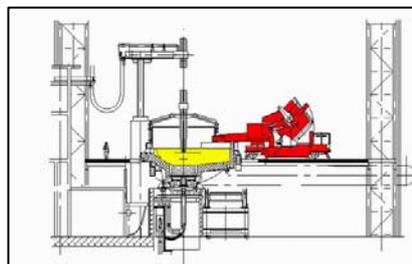


Figura 2: Adição pelo EBT sem a utilização da ponte rolante.

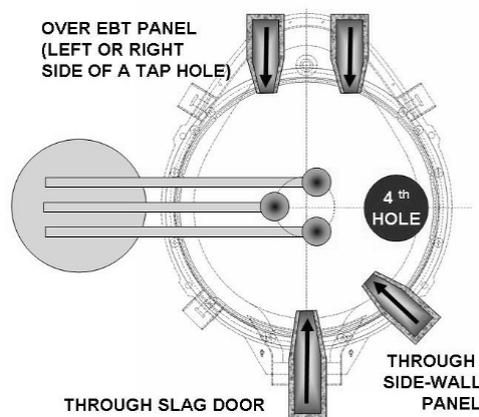


Figura 3: Esquema de opções de adição de gusa líquido.<sup>(4)</sup>



A opção mais simples é verter o gusa líquido pela abertura do forno elétrico. Essa forma de adição não exige qualquer outro investimento, mas não evita a perda de energia devido à sua abertura e, o mais crítico, a perda de 1,5 minutos a 2 minutos para esta atividade, o que pode facilmente justificar o investimento no dispositivo de adição do gusa líquido.

O ganho de produtividade do forno pode ainda ser bastante afetado pela descarburização e pela composição química do gusa líquido.

### 2.1.2 A descarburização

Neste ponto é muito importante notar que os fornos elétricos que trabalham habitualmente com sucata, possuem taxas de descarburização menores que às requeridas para a utilização de gusa líquido. Segundo Haissig, Genter e Villemin<sup>(2)</sup> as velocidades de descarburização normalmente encontradas em fornos elétricos são de 0,05% C/min a 0,07% C/min; enquanto a necessidade quando da utilização de gusa líquido é de no mínimo 0,10% C/min. Isto significa trabalhar com vazões de oxigênio próximas a 10.000 Nm<sup>3</sup>/h e que tenham efetividade, ou seja, estejam a uma altura do forno que impeça a perda de coerência do jato supersônico muito acima banho.

### 2.1.3 A composição química do gusa líquido

A composição do gusa líquido pode ser um empecilho ao aumento da produtividade se o silício contido no material fundido aumentar significativamente. Ao passo que o silício aumenta e gera energia na sua oxidação, deixa-se de descarburar o banho e pode-se alcançar a temperatura de vazamento antes de se atingir o carbono ideal para tal, acarretando paradas para abaixar o carbono levando à perda de produtividade e a reações bruscas de descarburização. De maneira prática, quando o silício contido no gusa chega próximo a 1,0% causa transtornos à produção da aciaria, valores entre 0,5% e 1,0%, muitas vezes não acarretam paradas operacionais, mas trazem consequência ao revestimento refratário do FEA que só serão percebidas algumas corridas a frente. Valores abaixo de 0,5% são ideais para a aciaria por não oferecer danos ao refratário e nem atrasos no processo de descarburização.

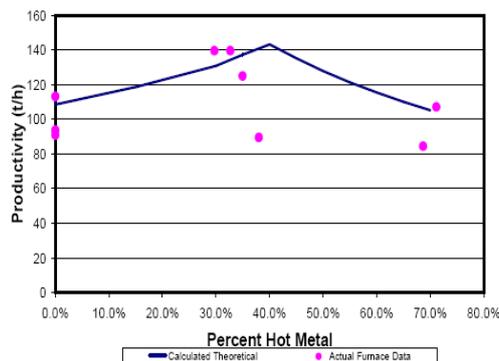


Figura 4: Relação entre produtividade e gusa líquido.<sup>(5)</sup>

## 3 AUMENTO DE FLEXIBILIDADE

A flexibilidade de operação do forno elétrico com gusa líquido é bastante interessante, quando permite a operação com variadas quantidades de gusa líquido e possibilita a produção de material que anteriormente estava reservado a rota do



convertedor LD. Assim podemos ter ganhos nos níveis de residuais e no teor de nitrogênio de vazamento.

**Tabela 1:** Residuais antes e depois da utilização do gusa líquido<sup>(5)</sup>

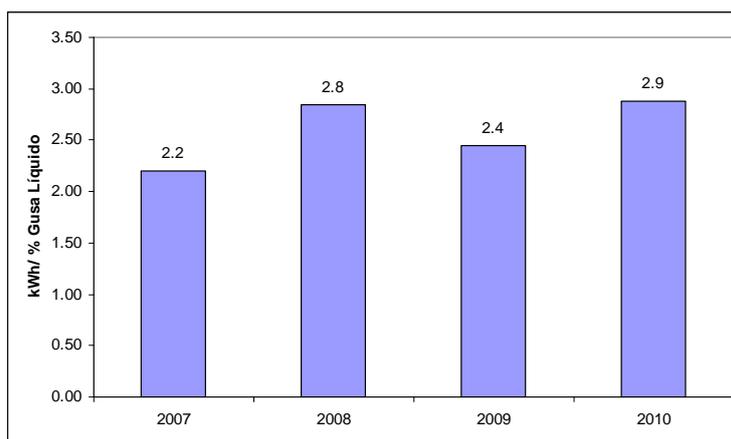
Período	Cr (%)	Cu (%)	P (%)	S (%)	As (%)	Sn (%)	Sb (%)	Pb (%)
Apenas sucata	0,15	0,18	0,008	0,05	0,015	0,012	0,005	0,009
Gusa líquido 50%	0,06	0,08	0,005	0,043	0,008	0,007	0,003	0,004

### 3.1 Nitrogênio

O nível de nitrogênio no aço também cai quando ocorre a substituição da sucata pelo gusa líquido devido a intensa formação de *boiling* durante a descarburização da corrida que favorece o carreamento do nitrogênio para fora do aço. O nitrogênio presente no aço migra para as bolhas de CO<sub>(g)</sub> e é expulso do banho. Outras medidas devem ser tomadas no propósito de manter o nível baixo de nitrogênio até a solidificação do tarugo. Rong et al.<sup>(6)</sup> revelam que houve uma queda em média de 16 ppm de nitrogênio com a utilização de 30% de gusa líquido.

## 4 RESULTADOS

A utilização da energia química sempre teve fundamental importância na aciaria da ArcelorMittal Juiz de Fora porque nesta unidade trabalha-se com uma relação de MVA/t de 0,436; enquanto os valores mais comuns são bem próximos de 1,0 MVA/t. A produção dos altos fornos, possibilita um consumo de 35 t a 40 t de gusa líquido por corrida, o que significa aproximadamente 30% da carga. Com isso, tem-se uma redução de consumo de energia da ordem de 90 kWh/t, que corresponde a maioria dos dados técnicos que indicam uma economia de 3,0 kWh/t para cada percentual de gusa líquido utilizado (Figura 5).



**Figura 5:** Redução do consumo de energia x consumo de gusa líquido.

### 4.1 Aspectos Operacionais

#### 4.1.1 Acréscimo de um carregamento

Como a densidade do mix de sucata caiu bastante com a substituição do gusa sólido pelo líquido, houve a necessidade de um novo carregamento de sucata.



### 4.1.2 Carregamento

O processo do forno elétrico foi alterado, visando o melhor aproveitamento dessa energia. Dessa forma, o primeiro cesto de sucata permaneceu com a maior quantidade possível de material e os tempos de carregamentos foram reduzidos para acomodarem apenas o tempo necessário para movimentação da ponte rolante. O último cesto leva o mínimo necessário de sucata para completar a carga. O gusa líquido é carregado o mais cedo possível, mas sempre após o primeiro cesto de sucata para evitar reações com o pé líquido.

### 4.1.3 Prática operacional

Enquanto o material líquido não é adicionado, não há injeção de oxigênio. Outros fatores que influenciam muito a prática operacional são: a qualidade da injeção de oxigênio e o silício contido no gusa líquido, os mesmos que afetam a produtividade. Mas podem trazer grandes implicações a segurança operacional. Estes dois itens podem levar a reações de decarburização a altas temperaturas (Figura 6), que devem ser evitadas a todo custo.

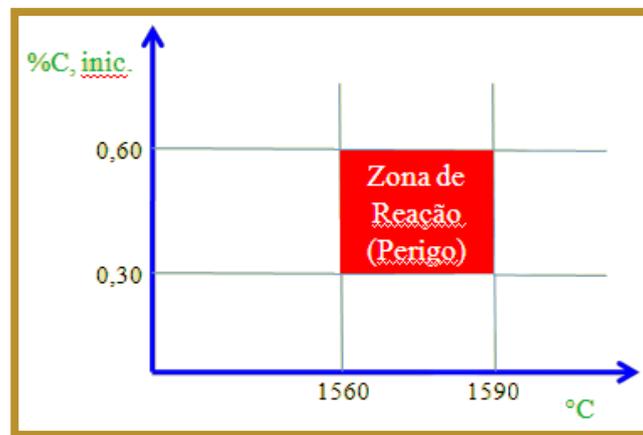


Figura 6: Zona de Perigo para reações de decarburização.<sup>(7)</sup>

Apesar do carregamento do gusa líquido ser feito pela abóbada e poder trazer algum desgaste para soleira do forno, o fator que mais impacta o refratário ainda é o silício do gusa. Para minimizar o desgaste da soleira, a experiência mostrou que o tempo de carregamento, e uma prática de tratamento da soleira com reparos preventivos mais freqüentes, evita as grandes intervenções corretivas.

## 4.2 Indicadores de Desempenho

### 4.2.1 Energia Elétrica

Na Figura 7, tem-se o consumo de energia elétrica em função do carregamento de gusa líquido e, em seguida, o resultado já consolidado de 4 anos de operação confirmando os valores de 3,0 kWh/t para um ponto percentual de gusa líquido (Figura 8).

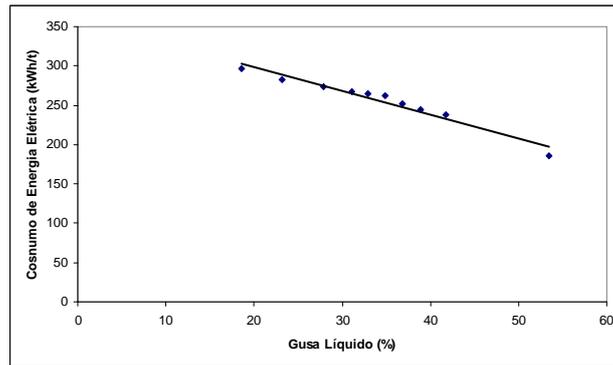


Figura 7: Consumo de energia elétrica x percentual de gusa líquido na carga.

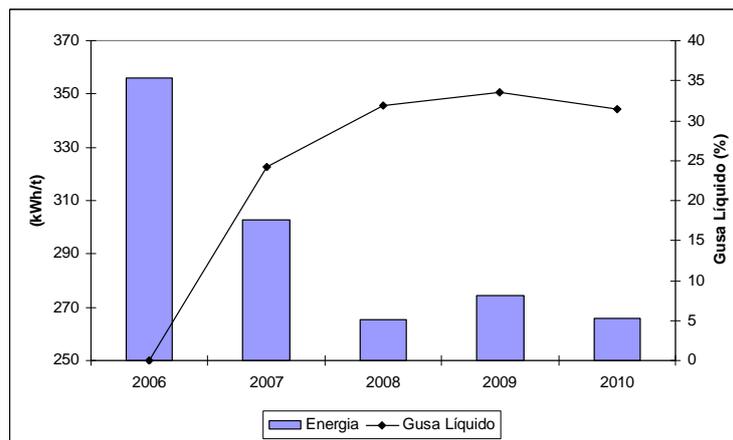


Figura 8: Relação consumo de gusa líquido x consumo energia elétrica.

A utilização de 30% de gusa líquido, ocasionou uma redução no consumo de energia elétrica entre de 25% em relação à média de 2006, último ano de trabalho com carga sólida.

### 4.2.2 Eletrodo

A Figura 9, mostra a economia no consumo de eletrodos que foi da ordem 36%, ou seja, maior que o percentual de redução da energia elétrica devido à redução do *tap to tap* e outras melhorias de processo.

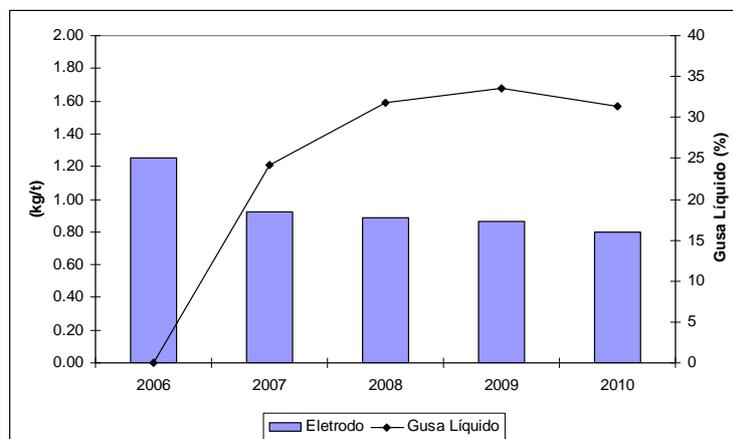


Figura 9: Relação consumo de gusa líquido x consumo de eletrodo.



### 4.2.3 Produtividade

Houve uma redução do tempo de forno ligado de 10 minutos por corrida (Figura 10) e o acréscimo de produtividade experimentalado foi de 21 t/h, ou 15% (Figura 11), o que nos permitiu manter os mesmos níveis de produção anteriores, mesmo depois de parar 3h/dia devido aos horários sazonais.

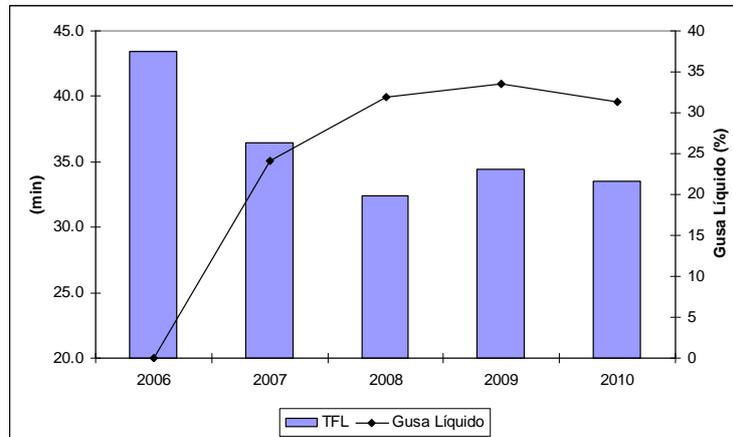


Figura 10: Relação consumo de gusa líquido x tempo de forno ligado.

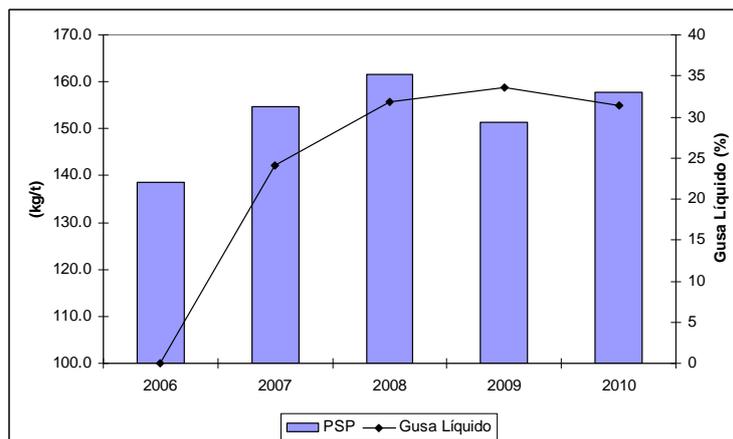


Figura 11: Relação consumo de gusa líquido x produtividade FEA.

## 5 GANHOS

A operação com gusa líquido pode trazer várias oportunidades de ganho como a redução do consumo de energia, redução do consumo de eletrodos que são ganhos imediatos. Além disso, pode haver ganhos de produção substanciais reflexos do aumento de produtividade pela redução do tempo de forno ligado. Isto significa redução dos custos fixos e aumento do faturamento, que podem superar muitas vezes os ganhos nos custos variáveis, no momento em que o mercado está demandando aço.

Existe ainda uma possibilidade de redução de tempos mortos, com uma calha de adição de gusa líquido que pode resultar em ganhos volumosos.

### 5.1 Sustentabilidade

A utilização de gusa líquido produzido via carvão vegetal, que é um biorredutor sólido renovável, nos altos-fornos, reduz emissão de gases e diminui a dependência



do carvão mineral, que é uma fonte não renovável de energia. Este e outros cinco projetos irão contribuir com a redução de 10 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em um período de dez anos.

## 6 CONCLUSÃO

A utilização de gusa líquido, nestes 4 anos, consolidou uma redução no consumo de energia elétrica de 25%, de acordo com informações publicadas que indicam uma redução de 3,0 kWh/t para cada ponto percentual de sua utilização. A prática nos possibilita destacar que a taxa de descarburização e o silício contido no gusa líquido são pontos chaves para o domínio do processo e que ainda temos bastante a fazer para conseguirmos alcançar todas as oportunidades disponibilizadas por esta nova realidade.

## REFERÊNCIAS

- 1 Jones, J. A. T., Alternative Iron Feedstock for EAF Steelmaking, **Proceedings Electric Furnace Conference**, Iron and Steel Society, Warrendale, Pa., 1998.
- 2 HAISSIG, Manfred; GENTER, R.B.; VILLEMEN, B. Hot Metal in EAFs. AISE Steel Technology, March de 2002. pag. 41-48
- 3 KÖHLE, Siegfried, KLEIMT; Bernd. **Metallurgical Plant and Technology International** 3/1997, pp 56-57
- 4 R. Gottardi, A. Partyka. The hot metal meets the electric arc furnace steelmaking route. In: **9<sup>th</sup> European Electric Steelmaking Conference**, May 2008, Krakov Poland
- 5 XIAOHONG, X.;XIAOJIANG, R.; GUOWEI, Z.; XING, D.; GRANT, M.; TAO, C. High Efficiency Production Practice of a 100 t DC EBT EAF at Xing Cheng Steel Works. In.: **AISTech 2006 Proceedings** – Volume II. P. 413 – 422.
- 6 RONG, S. W.; JIAN, L.; NGAI, T. L.;BOURGE, M. A New Minimill Concept: Mini Blast Furnace with Shaft EAF/LF/CC. **Iron and Steelmaker**, vol. 28, nº5, May2001, pp41-46.
- 7 CHEVRAND, L. Acidentes em Aciarias. In: Treinamento Ministrado na Aciaria da usina ArcelorMittal Juiz de Fora, out 2009, pág. 51.