

# RECUPERAÇÃO DE CALOR NA SINTERIZAÇÃO: UMA ALTERNATIVA VIÁVEL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E AUMENTO DA EFICIÊNCIA GLOBAL DA PLANTA\*

Joaquim Luiz Monteiro Barros<sup>1</sup>  
Fabiana Moreira Costa<sup>2</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar de forma didática e com um exemplo prático a viabilidade da aplicação da tecnologia de recuperação de calor no sinter cooler, com a finalidade de gerar energia térmica (ar quente, vapor, água quente, etc) reduzindo o consumo final de combustíveis na planta.

**Palavras-chave:** Recuperação de calor; Eficiência; Energia térmica; Sinterização.

## HEAT RECOVERY IN SINTERING PROCESS: A FEASIBLE ALTERNATIVE TO THERMAL ENERGY GENERATION AND GLOBAL EFFICIENCY INCREASE OF THE PLANT

### Abstract

The purpose of this paper is to present in a didactic way and with practical examples, the feasibility of heat recovery technology in cooler sinter plant, with the objective of thermal energy generation (hot air, steam, hot water, etc) reducing the final fuel consumption in the plant.

**Keywords:** Heat recovery; Efficiency; Thermal energy; Sintering process.

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Mestre em Economia com ênfase em Energia, Pós-Graduado em Eficiência Energética, Diretor de Desenvolvimento de Negócios, Kuttner do Brasil, BH, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheira de Energia, Estudante Engenharia Elétrica PUC-MG, Estagiária de Desenvolvimento de Negócios, Kuttner do Brasil, Belo Horizonte, MG, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Alcançar uma maior eficiência operacional global nas usinas siderúrgicas é algo que, na atual conjuntura do setor, pode diferenciar entre a viabilidade e a inviabilidade de uma determinada planta. Como o aço é uma commodity e com um mercado de produtos composto por grandes grupos, cujos sites individuais disputam mercado não só com os concorrentes externos, mas também entre as diversas plantas de um mesmo grupo.

Quem conseguir o menor custo final do produto pode garantir não só sua sobrevivência, mas também mais facilidades na obtenção de recursos para novos investimentos.

Custos de matéria prima, logística, de produção interna e de energia (combustíveis e energia elétrica) são cada vez mais importantes. Portanto, soluções que contribuam para maior eficiência e redução das despesas, são importantes e devem ser continuamente pesquisadas e analisadas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Processo de Sinterização

O processo de sinterização em plantas siderúrgicas tem como objetivo o aproveitamento dos “finos de minério” e de alguns resíduos metálicos internos, gerando um “produto” que chamamos de sinter, com as características e qualidade necessárias para uma carga metálica a ser alimentada nos altos fornos.

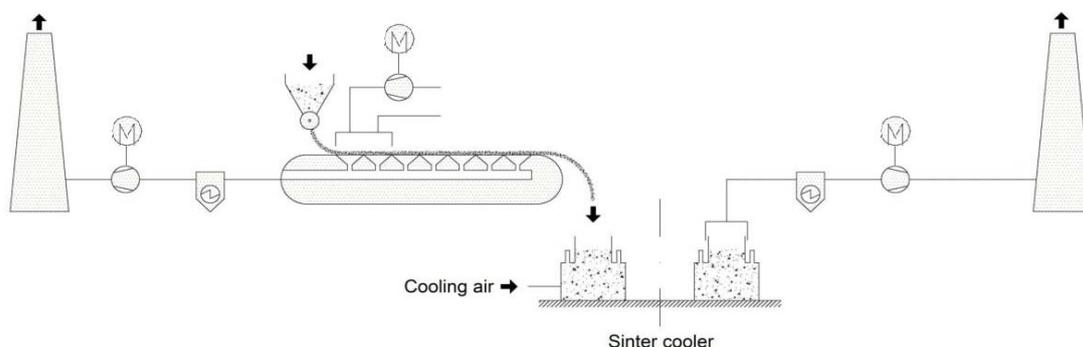


Figura 1. Desenho esquemático do processo de sinterização.

### 2.2 Sistemas de Recuperação do Calor Sensível Residual Contido nos Gases de Exaustão do Sinter Cooler

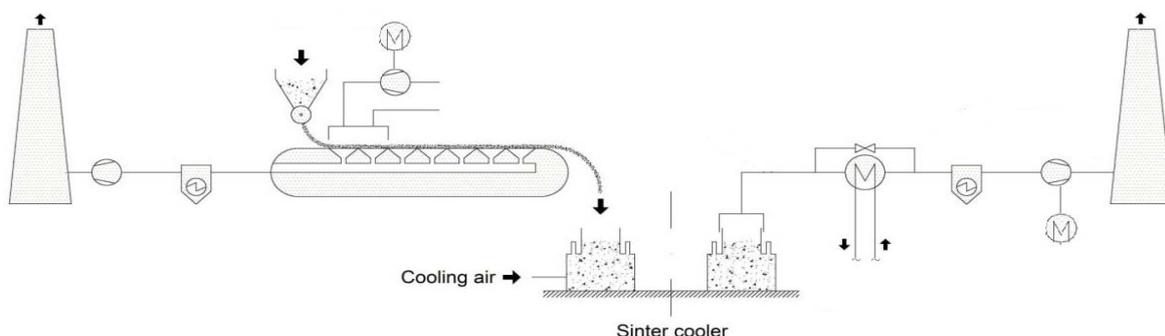


Figura 2. Desenho esquemático da instalação do recuperador de calor no sinter cooler.

## 2.3 Principais Aplicações da Energia Térmica Recuperada no Sinter Cooler

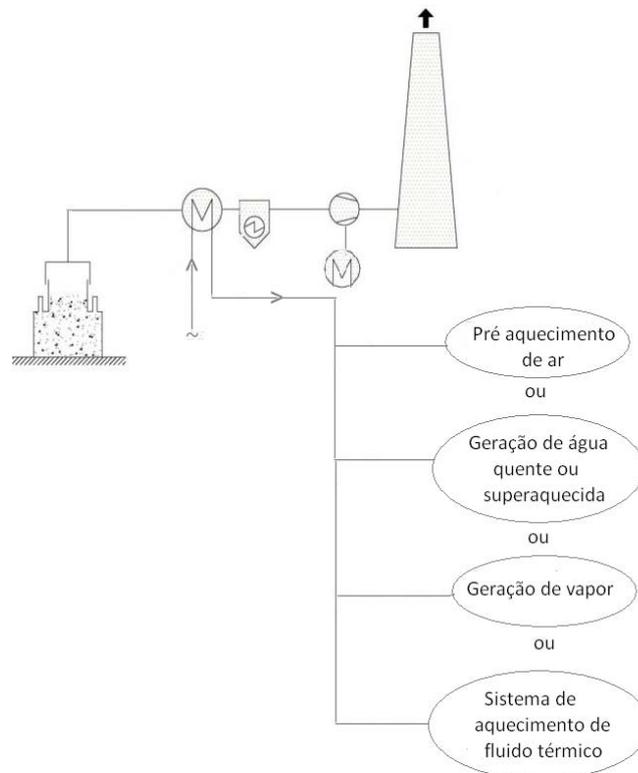


Figura 3. Aplicabilidades da energia térmica recuperada no sinter cooler.

## 2.4 Recuperação de Calor com Fluido Térmico – Possibilidade de Geração Múltipla de Utilidades

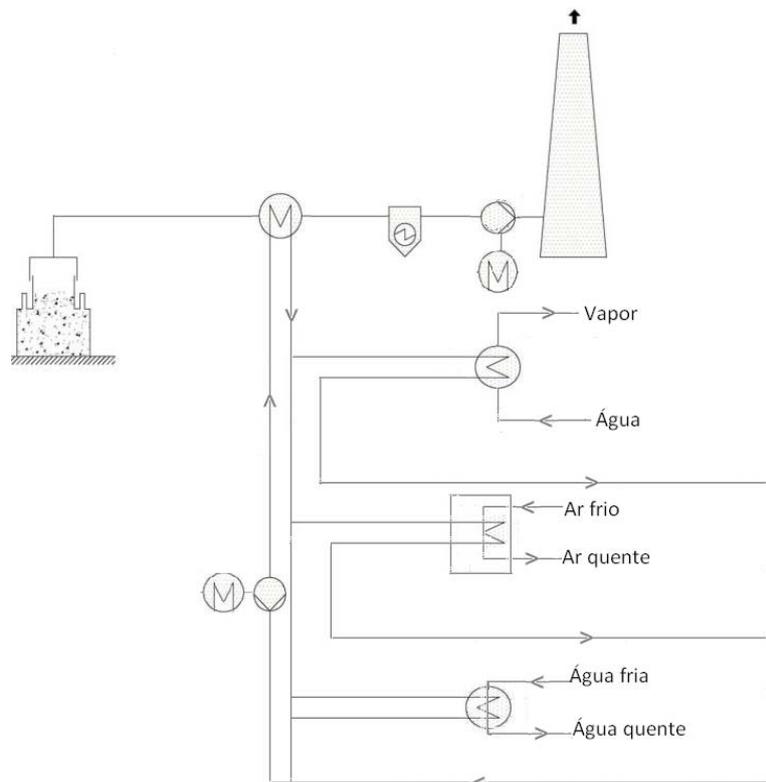


Figura 4. Recuperação de calor com geração de múltiplas utilidades.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO (CASOS REAIS)

#### 3.1 Objetivo

Apresentar exemplos / referências de instalações existentes e um estudo real da utilização da energia térmica recuperável no sinter cooler para geração de vapor a ser utilizado no processo de produção de aço.

#### 3.2 Exemplos de Instalações Existentes

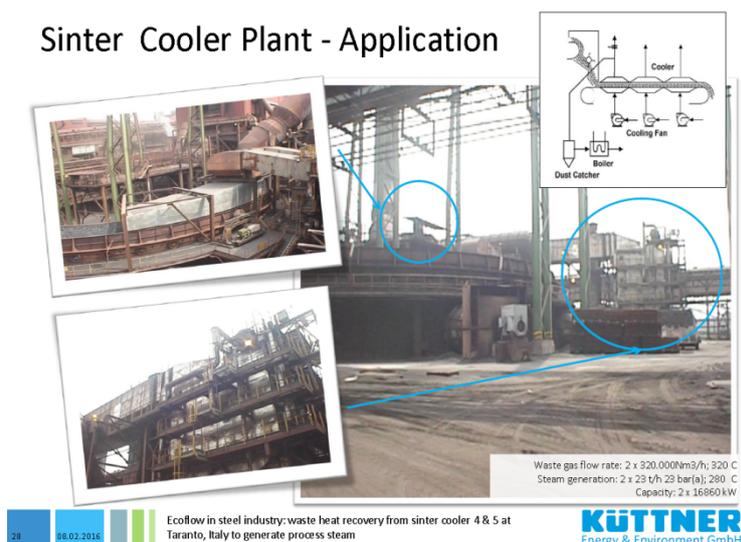


Figura 5. Ecoflow na indústria de aço em Taranto (Itália)

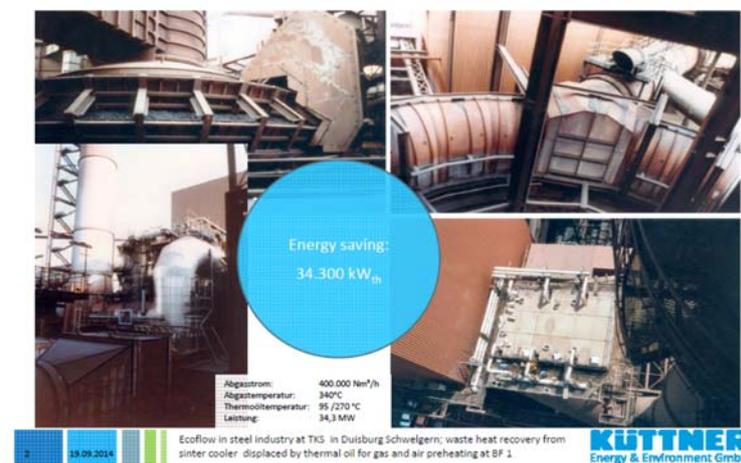


Figura 6. Ecoflow na indústria de aço TKS em Duisburg Schwelgern.

#### 3.3 Resumo de um Estudo Real de Viabilidade

##### 3.3.1 Dados da Instalação Existente

Tabela 1. Gases de exaustão do sinter cooler

Vazão	320.000 kg/h
Temperatura	350 °C
Particulados	10 mg/Nm <sup>3</sup>

### 3.3.2 Determinação da Aplicação da Energia Térmica Recuperável

Devido a necessidade interna do processo produtivo e após uma pesquisa das diversas alternativas foi definido que a geração de vapor seria a melhor aplicação para a energia térmica disponível, posto que a unidade estava iniciando o processo de compra de 1 caldeira com queima de gás natural para suprir tal necessidade.

### 3.3.3 Dados da Instalação com a Implantação do Recuperador de Calor (Gerador de Vapor)

Tabela 2. Gerador de vapor recuperativo

Vazão dos gases de exaustão	320.000 kg/h
Temperatura de entrada dos gases	350 °C
Temperatura de saída dos gases	169 °C
Capacidade térmica aproximada	16,7 MW
Vazão de vapor gerado	24,3 t/h
Pressão do vapor gerado	12 bar
Temperatura do vapor gerado	250 °C

### 3.3.4 Fluxograma Orientativo

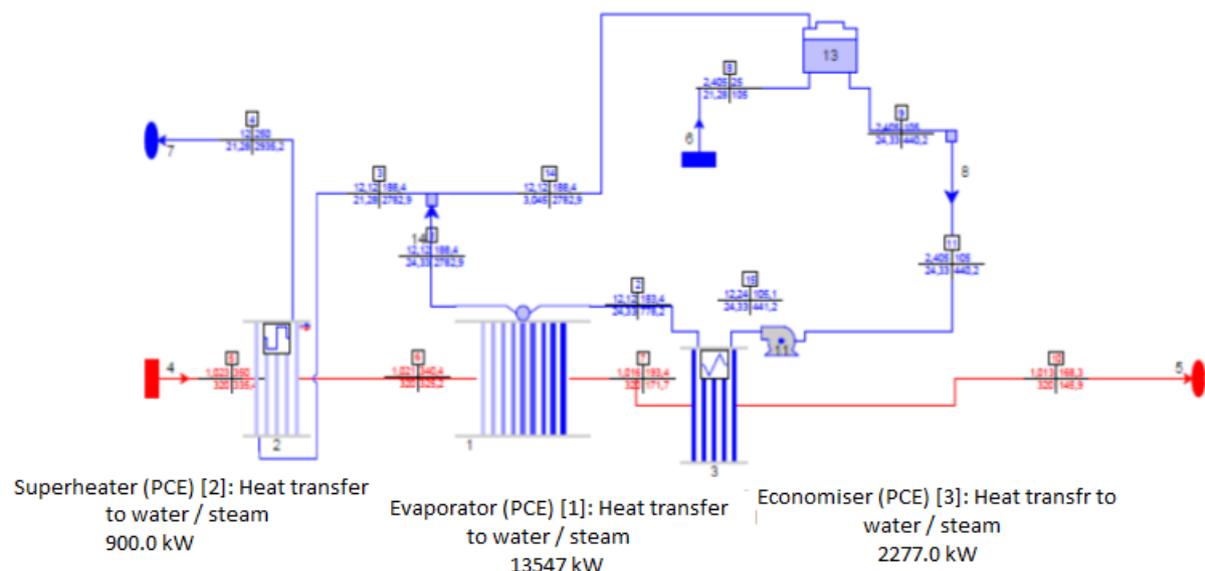


Figura 7. Fluxograma do sistema de recuperação de calor – Produção de vapor.

### 3.3.5 Resumo do Estudo de Viabilidade Econômica

Para base do estudo, foram consideradas as premissas abaixo:

- Vida útil da instalação: 10 anos (para efeito de cálculo econômico);
- Custo capital: 12 % aa;
- Investimento necessário para compra e instalação de uma caldeira com queima de gás natural: R\$ 8.000.000,00

(OBS: Uma parte considerável da infraestrutura já encontra pronta).

- Investimento necessário para compra do sistema de recuperação de calor e instalação do mesmo: R\$ 20.000.000,00

### 3.3.5.1 Consumo Evitado de Combustível (Gás Natural) com a Implantação do Sistema de Recuperação de Calor

- Energia do vapor gerado:  $Q = 16.985.000,00 \frac{Kcal}{h}$
- Consumo evitado do gás natural: PCI do gás natural:  $9065 \frac{Kcal}{Nm^3}$

$$C.E. = \frac{16.985.000}{9.065} = 1874 \frac{Nm^3}{h} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- C E.: Consumo evitado.

### 3.3.5.2 Despesas Evitadas (Custo do Gás Natural)

$$D.E. = 1874 \frac{Nm^3}{h} \times 9065 \frac{Kcal}{Nm^3} \times \left( \frac{3,968(BTU)}{1.000.000} \right) \times 20,00 \left( \frac{R\$}{R\$MMBTU} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

- D E.: Despesas evitadas.

R\$ 1348,00/hora

R\$ 32.352,06/dia

R\$ 970.562,00/mês

Considerando-se uma disponibilidade de 98%, tem-se:

$$D E. \text{ Anual} = 12 \times R\$970.562,00 \times 0,98 = 11.413.808,00 \quad (\text{Equação 3})$$

### 3.3.5.3 Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL)

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

- I = investimento;
- FC = fluxo de caixa;
- K = Custo de capital;
- t = tempo;
- n = vida útil do empreendimento.

VPL = R\$ 52.490.561,00

### 3.3.5.4 Cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR)

$$I = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

- n = vida útil do empreendimento;
- FC = fluxo de caixa;
- TIR = taxa interna de retorno;
- t = tempo;
- I = investimento.

TIR = 94:%

### 3.3.5.5 Cálculo de Payback

Payback = 1,2 anos

## 4 CONCLUSÃO

A recuperação de calor na sinterização, quando estudada com base em uma análise técnica, com balanços térmico e de massa, baseados em dados operacionais é possível dimensionar e instalar trocadores de calor eficientes e tecnicamente adequados. Pode ser uma ótima solução na redução dos custos operacionais aumentando a eficiência global do sistema, de forma a se obter um significativo ganho energético.

## REFERÊNCIAS

- 1 Incropera FP, Dewitt DP. Fundamentals of Heat transfer. New York: John Wiley & Sons; 1981.
- 2 Van Wyle G, Sonntag R, Borgnakke C. Fundamentos da Termodinâmica Clássica. 4ª edição. São Paulo: Edgard Blücher; 1995.
- 3 Barros Jr JLM. Integração de Utilidades, Recuperação de Calor e Cogeração em Sistemas de aquecimento de fluido térmico (pós-graduação). Rio de Janeiro: CEFET; 2002.
- 4 Praeger J. Optimisation of Energy consumption in Iron and Steel Plants by Heat Recovery Systems na substitution. Essen International Seminar on Energy & Environment in Iron and Steel Industry; 2012.
- 5 Foundations of Iron and Steel Metalurgy – Elsevier Publishing Co. LTD. – W. H. Dennis.