

# A EVOLUÇÃO DA INSPEÇÃO ENDOSCÓPICA INDUSTRIAL NO DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS SOB ALTA TEMPERATURA<sup>1</sup>

*Abrão José Kahn<sup>2</sup>  
José Carlos de Carvalho<sup>3</sup>  
Marcus Vinicius Dias Garcia<sup>4</sup>*

## **Resumo**

O trabalho mostra a evolução das inspeções visuais através de endoscópios refrigerados, adequados a ambientes em alta temperatura desde as primeiras inspeções executadas na década de 90 até os dias atuais. Outrora utilizado como um método pioneiro que atraía a atenção mais por curiosidade do que em si uma forma de diagnóstico, a endoscopia em alta temperatura transformou-se em uma ferramenta de decisão dos departamentos de manutenção, possibilitando uma programação mais precisa para as paradas de manutenção e reformas prolongando campanha de fornos e equipamentos diversos.

**Palavras-chave:** Endoscopia; Refratários; Inspeção; Fornos.

## **THE EVOLUTION OF INDUSTRIAL ENDOSCOPIC SURVEYS FOR EQUIPMENTS FAILURES DIAGNOSIS UNDER HIGH TEMPERATURES.**

## **Abstract**

This paper shows the evolution of visual inspections through water-cooled endoscopes, appropriate to environments at high temperature, since the first inspections carried out in the 1990s until the present days. Firstly used as a pioneer method which attracted the attention more out of curiosity than in itself a form of diagnostic, endoscopy at high temperature transformed into a useful tool for a maintenance decisions, allowing a more accurate programming for preventive maintenance and refurbishments increasing campaign of furnaces and other equipments.

**Key words:** Endoscopy; Refractories; Inspection; Ovens; Furnaces.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Metalurgista - FEI – Diretor técnico da Heat Up Aquecimentos Industriais – Sócio da ABM*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalurgista - FEI – MBA em Siderurgia pela USP - Gerente de P&D da Heat Up Aquecimentos Industriais - Sócio da ABM*

<sup>4</sup> *Engenheiro Industrial mecânico – MBA em marketing pela ESPM – Mestrando em Engenharia Química, UNICAMP – Gerente de Marketing da Heat Up Aquecimentos Industriais - Sócio e docente da ABM*

## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo do presente trabalho é mostrar a evolução da tecnologia e do uso de endoscópios refrigerados em inspeções em equipamentos diversos mantidos sob alta temperatura e sua importância na detecção de falhas, possibilitando um planejamento adequado de manutenções preventivas e reformas em corpos refratários além do monitoramento da operação de fornos.

## 2 HISTÓRICO

Os primeiros endoscópios refrigerados chegaram à América do Sul no início da década de 1990.

Eram equipamentos importados, predominantemente ópticos (um conjunto de lentes interligadas distribuídas por toda a extensão do aparelho). O custo de um endoscópio importado com diâmetro e comprimento fixo e imutável beirava a cifra de US\$ 150 k.

Praticamente era um instrumento de apoio a outras operações de reparo refratário (quase na totalidade das vezes auxiliar em operações de Solda Cerâmica) e quase que destinado unicamente à indústria vidreira (Algumas companhias de vidro compraram endoscópios para seu uso na inspeção de fornos).

Seu alto custo baseava-se nas lentes principalmente nas de captação de imagem (muitas vezes cristais ou safiras) extremamente frágeis e que mesmo com refrigeração adequada e outros cuidados invariavelmente se danificavam impedindo a continuidade da inspeção e postergando por muitos meses a retomada do projeto.

Com o avanço do gerenciamento de manutenção a ferramenta de inspeção pura por endoscopia foi incorporada como auxiliar diagnóstico em fornos de vidro em meados da década de 1990 permanecendo até os dias atuais.

Em 1995 foi utilizado um endoscópio óptico com comprimento de 1.200 mm e câmera fotográfica (com filme) acoplada, em uma inspeção de um Carro Torpedo recém basculado, obtendo-se a primeira foto do interior desse equipamento com notável qualidade de imagem para a época. Esta foi a primeira utilização da endoscopia em siderurgia que se tem notícia em todo o continente americano.

Em meados de 1998, outro endoscópio de 1.600 mm foi utilizado para a inspeção da câmara de combustão de um regenerador de Alto Forno.

As fotos foram utilizadas para avaliar a real situação do queimador cerâmico e paredes do regenerador e prever com bastante precisão o período de durabilidade restante do refratário possibilitando uma melhor programação para a parada.

Em 1999 os endoscópios ópticos (caros e pouco versáteis) deram lugar às lanças endoscópicas, onde uma micro-câmera é utilizada para a captura de imagens. As lanças, graças aos diversos tipos de cabo, puderam ter seus comprimentos adaptados a cada situação, hoje alcançando até 15 m de comprimento, e tendo seu diâmetro algo reduzido, tendo em vista a própria dimensão das micro-câmeras. Originalmente filmados em VHS, utiliza-se hoje o DVD com edição ou não de imagens.

A versatilidade aumentada das lanças endoscópicas permitiu que locais até então inacessíveis ao olho humano fossem alcançados (vide exemplo coqueria), sendo hoje possível construir lanças com ângulos (os endoscópios originais eram retos).

Desde o ano 2000, a endoscopia tornou-se uma ferramenta usual de inspeção. Praticamente todos os Altos Fornos do Brasil de usinas integradas ou não,

utilizam hoje o método como elemento de decisão quanto à manutenção de regeneradores.

Mesmo a termografia, tão aplicada no momento, não revela com tanta nitidez os problemas em uma parede refratária ou o interior de um vaso em alta temperatura.

### 3 A UTILIZAÇÃO DA ENDOSCOPIA EM SIDERURGIA

A endoscopia vem sendo usada em um grande número de equipamentos nas usinas siderúrgicas.

- Regeneradores de Altos Fornos;
- Cubas e topos de Altos Fornos;
- Linhas de ar quente;
- Anel de vento;
- Fornos de calcinação;
- Fornos de zincagem;
- Carros torpedo;
- Câmaras de combustão de coquearias;
- Regeneradores de coquearia;
- Misturadores de gusa;
- Fornos de reaquecimento de placas;
- Incinerador de amônia;
- Painéis de gusa e aço;
- Conversores;
- Fornos de sinterização;
- Caldeiras; e
- Canais de alto forno.

A Figura 1 mostra uma prévia de um projeto para inspeção em série numa estação de carros torpedo. Os carros, basculados podem ser rapidamente inspecionados internamente principalmente quando alguma irregularidade da distribuição de temperatura indicada por uma termografia necessita ser mais bem estudada.

Este projeto prevê uma estação de inspeção fixa com registro em mídia de todos os carros-torpedo inspecionados.

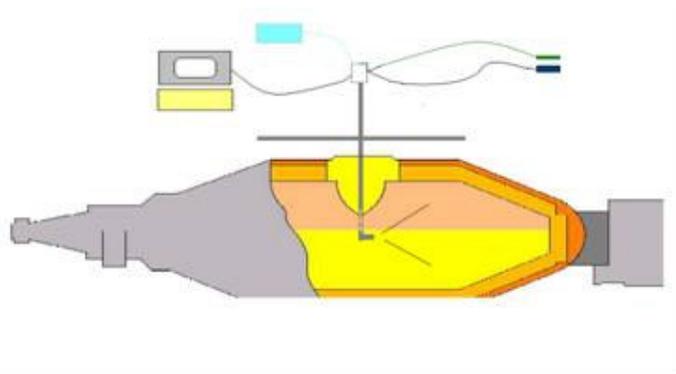


Figura 1. Projeto preliminar de estação de inspeção visual e carro-torpedo.

### 4 CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

Os endoscópios refrigerados foram adaptados a usar as facilidades normalmente encontradas em uma área industrial.

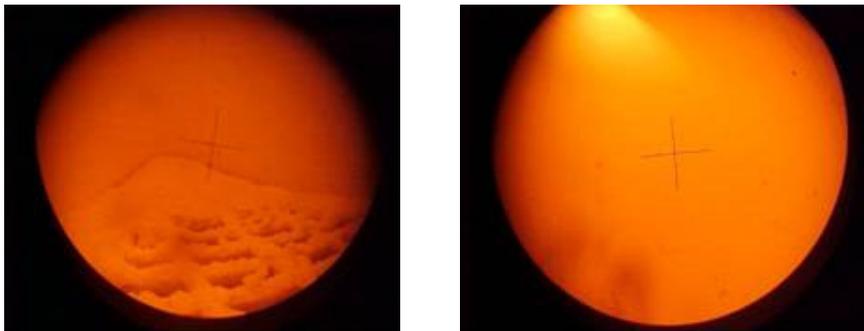
- Água industrial fria à pressões maiores que 5 bar
- Ar comprimido seco à pressões maiores que 4 bar
- Eletricidade 110 V / 220 V

As condições de inspeção devem na maioria das vezes atender os parâmetros abaixo:

- Diâmetro de inspeção maior que 40 mm.
- Temperatura interior que permita a emissão de luz emanada dos refratários em alta temperatura ( $> 750^{\circ}\text{C}$ )
- Furo de inspeção que permita a movimentação do endoscópio.
- Os endoscópios refrigerados normalmente suportam temperaturas ambientes de até  $1.600^{\circ}\text{C}$
- Esse parâmetros podem variar de acordo com o tipo de ângulo de visão, atmosfera interna do forno (oxidante, redutora, ácida etc.). Para tal é sempre necessário um estudo prévio para cada inspeção solicitada.

## 5 IMAGENS E CASOS

É bastante vasta a gama de casos solucionados com a utilização da endoscopia. A partir do ano 2000 foi possível determinar e acompanhar a situação real das paredes refratárias e queimadores cerâmicos de vários regeneradores de Alto Forno, postergando ou melhor programando a manutenção preventiva. As “surpresas” encontradas após o resfriamento de um regenerador são completamente ausentes hoje em dia. A Figura 2 mostra o interior de um regenerador de alto-forno, fotografado em 2000.

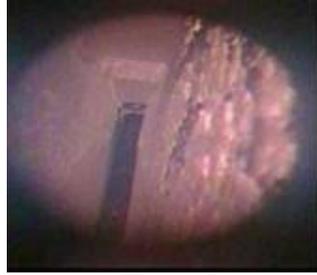


**Figura 2** . Fotos de um regenerador obtida com câmera fotográfica (filme) Utilizando um endoscópio óptico. Cerca de 8 anos atrás

Podemos observar que a qualidade das imagens é relativamente boa perdendo sua definição, no entanto, quando a distância ao objeto aumenta, o que, com o advento dos endoscópios com câmera de vídeo foi corrigido.

Equipamentos siderúrgicos de maior durabilidade e tempo de produção são as coqueiras. Como são câmaras com difícil acesso aos seus interiores, várias áreas, antes do uso da endoscopia jamais foram vistas em operação plena

As Figuras 3 e 4 mostram uma imagem de endoscópio do interior de um forno de coqueira e a vista de um tijolo de regenerador. Foi utilizado um endoscópio óptico munido de câmera fotográfica não digital acoplada.<sup>(1)</sup>



**Figura 3.** Forno de coqueria.



**Figura 4.** Regenerador de coqueria.

Alguns projetos de coqueria têm como característica as “tesouras” de canais de ar e gás que se encontram exatamente no meio do forno, sob a soleira .

Até o ano 2003 jamais uma tesoura foi visualizada com o forno em operação. As primeiras imagens obtidas com um endoscópio de 9 m e micro-câmera como captador de imagem permitiu uma análise precisa sobre as condições de aquecimento das câmeras possibilitando uma programação efetiva de reformas além de esclarecer um problema que há mais de 20 anos era objeto de especulação apenas (fusão de tesouras).<sup>(2)</sup>

## **6 A EVOLUÇÃO DOS ENDOSCÓPIOS**

Com a evolução da tecnologia em termos de captação de imagens pôde-se finalmente gravar as imagens em movimento com a utilização de endoscópios desprovidos de conjunto de lentes e gravação em DVD (filme 1).

No filme apresentado, observamos exemplos da diversidade de usos da endoscopia em equipamentos siderúrgicos

Nas próxima seção de fotos, obtidas de um DVD é observada a condição de um dano em uma parede de regenerador de alto forno (Figuras 5 e 6)

Mediante periódicas inspeções por endoscopia foi possível acompanhar aquela evolução postergando a parada para manutenção sem prejudicar a produção do forno.

Claramente se observa a queda de tijolos sobre o queimador cerâmico e o local de onde as peças desmoronaram.



**Figura 5.** Desmoronamento de tijolos em um regenerador de alto-forno.



Figura 6 : Parede de regenerador desmornada.

## 7 VARIAÇÕES DE APARELHOS

Primitivamente relegados a um desenho único com conseqüente limitação de uso , vários modelos de endoscópios podem ser usados ultimamente para diversos fins e aplicações graças à utilização de câmeras tipo *lipstick*.

### 7.1 Endoscópios Rígidos Portáteis

São ainda os mais utilizados pois são altamente versáteis levando-se em consideração o desenho dos fornos e outros vasos que na grande maioria das vezes pedem uma lança bastante simples (Figura 7) . Estes endoscópios podem ser feitos em ângulo para alcançar a maior visão do interior. Podem ter pontas intercambiáveis ou mesmo fabricados em vários desenhos com apenas a substituição da câmera.

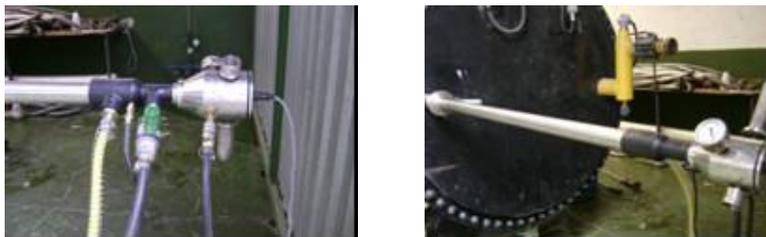


Figura 7: Endoscópio rígido portátil.

### 7.2 Endoscópios Verticais Flexíveis

São utilizados para a inspeção em câmaras verticais onde a movimentação de uma lança rígida seria bastante difícil prejudicando os ângulos de visão (Figura 8).

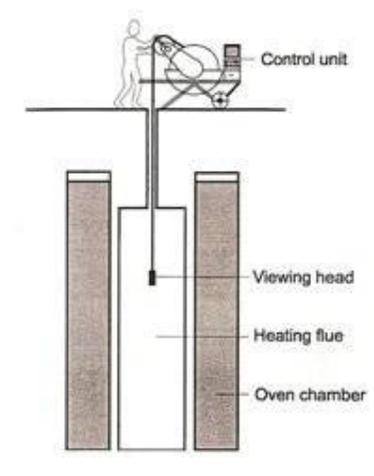
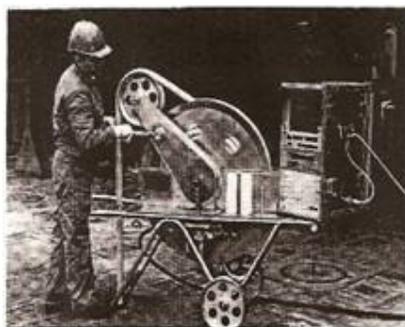


Figura 8. Exemplo de endoscópio flexível na inspeção de uma câmara de combustão de coqueria.<sup>(3)</sup>

### 7.3 Endoscópios Fixos

Quando se deseja monitorar em tempo real o interior de um forno o endoscópio rígido refrigerado é o mais indicado. Bastante utilizado para acompanhar a produção, mecanismos de desgaste de refratários (Figuras 9 e 10)



**Figura 9.** Endoscópio fixo acoplado em um forno modular para tratamento térmico.



**Figura 10.** Endoscópio fixo para parede refratária.

### 8 Limitações e Desenvolvimentos

A alta temperatura dos ambientes limita tanto o desenho como a versatilidade dos endoscópios refrigerados.

À exceção dos endoscópios verticais flexíveis (que só podem ser usados na vertical) todas as lanças são rígidas e de tamanho praticamente fixo. Isso determina que tenham que ser usados vários desenhos de endoscópio em caso de muitas variações de comprimentos e ângulos.

É difícil que um endoscópio possa ser telescópico, pois com refrigeração a água (o ar comprimido refrigera muito menos que a água para a mesma vazão volumétrica) seria necessária uma vedação com elementos elásticos ou plásticos, e é sabido que nenhum polímero plástico ou elastômero suporta mais de 500°C de temperatura sem de decompor. Dificilmente será sintetizado um polímero resistente a temperaturas muito altas (>500°C) pela própria natureza da composição e conformação das cadeias poliméricas. Alguns estudos de vedação metálica vêm sido feitos mas o cuidado com o vazamento de água de refrigeração dificulta esse desenvolvimento, principalmente em locais onde qualquer fuga de água seria danosa. Esta dificuldade é a mesma quanto à flexibilidade de endoscópios horizontais.

O mesmo se passa com endoscópios roscados (que permitiriam aumentar ou reduzir o comprimento dependendo do uso) já que para penetrar pequenos diâmetros o endoscópio dever ter as diversas paredes dos tubos (é um trocado de calor) delgadas para reduzir peso e dimensões o que prejudica a integridade das roscas. Ainda assim endoscópios roscados já estão em fase final de testes e poderão em breve estar disponíveis no mercado.

A utilização do alumínio é de certa forma limitada pois os endoscópios feitos com este material seriam de toda sorte restritos em sua versatilidade (sem flexibilidade de aumentar e reduzir o comprimento durante o uso) além do risco de falta de água de refrigeração o que nos endoscópios de aço é grave mas permite tempo suficiente para retirar o aparelho do ambiente quente sem grandes riscos para a estrutura . Um endoscópio de alumínio sofreria grandes danos em pouquíssimo tempo na ocorrência de falta de refrigeração.

Muito embora o custo dos endoscópios tenha se reduzido bastante desde que começaram a ser manufaturados no Brasil, as câmeras *lipstick*, cabos e controladores são ainda raros no país. A grande maioria conhecida só é fabricada no Japão a um custo ainda muito alto para a fabricação em grande escala de endoscópios. O risco de danos aos equipamentos ópticos e eletrônicos é ainda muito alto e sua reposição cara e demorada.

## **9 DISCUSSÃO**

Desde que foram concebidos na Europa nos anos 1980 pouca coisa mudou em termos de projeto nos endoscópios para alta temperatura. Os materiais seguem sendo os mesmos e o princípio de refrigeração idem (e dificilmente mudará).

O que sem dúvida avançou foi a utilização destes aparelhos na indústria de transformação como metalurgia , cerâmica, química , etc. , além da indústria vidreira, pioneira na utilização.

É de consenso geral que ,nos tempos atuais,o fato que um regenerador de Alto Forno não lance mão de um recurso tão útil e que proporcione tantas vantagens como o da endoscopia.

A cada dia nos deparamos com novas utilizações de endoscópios como em caldeiras, reatores químicos e outra variada gama de equipamentos

## **10 CONCLUSÃO**

A endoscopia em alta temperatura é uma das ferramentas de inspeção que mais avançou na última década. Aliada a outros recursos como a termografia, proporciona hoje um processo de decisão muito mais preciso. Nos últimos 5 anos, locais que nunca puderam ser visualizados, como uma tesoura no canal de subsoleira de uma coqueria foram finalmente trazidos à luz, Isto depois de mais de 100 anos dos primeiros projetos. Resta que a técnica , ainda relativamente pouco conhecida, seja usada como um auxiliar extremamente importante para a indústria.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem o apoio e auxílio técnico das empresas: Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais – Usiminas, Cia. Siderúrgica Nacional – CSN SIDERAR SAIC, Fosbel Inc., Heat Up Aquecimentos Industriais Ltda.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 GILROY,D. .Refractory repair strategies for battery life extension. In: MAKING YOUR BATTERY LAST FOR THE 21ST CENTURY, 32. ,2000, Hamilton, Canadá.
- 2 GARCIA, M .V.D. Manutenção e preservação refratária em coqueiras, 2006, ABM , São Paulo , Brasil.
- 3 POULET, P, ; GAILLET, J.P. ; LEROY , J.M. Diagnostics and evaluation of coke oven battery ageing. In: MAKING YOUR BATTERY LAST FOR THE 21ST CENTURY, 12. ,2000, Hamilton, Canadá.