



NOVA TECNOLOGIA PARA MEDIÇÃO CONTÍNUA DA TEMPERATURA EM TUNDISH ¹

Xie Zhi²

Artur Hess³

Everson Luís dos Santos⁴

Resumo

Para apresentar uma nova tecnologia foi desenvolvida pela ECIL Met Tec em uma joint venture com a Universidade do Nordeste da China, que é baseado na teoria da cavidade do corpo negro. Esta técnica utiliza o sensor da cavidade do corpo negro para a medição contínua de temperatura do aço derretido na Tundish. O CTMST permite monitorar a temperatura de pré-aquecimento, maximizar a velocidade de lingotamento, e identificar potenciais *breakouts* devido a corridas frias ou quentes.

Palavras-chave: Medição contínua de temperatura; medição óptica de temperatura; medição de temperatura sem contato; Cavidade de corpo negro.

NEW TECHNOLOGY FOR CONTINUOUS TEMPERATURE MEASUREMENT IN TUNDISH

Abstract

To present a new technology has been developed by ECIL Met Tec in a venture with China Northeastern University that is based on the blackbody cavity theory. This technique employs the blackbody cavity sensor for the Continuous Temperature Measurement of the molten Steel in the Tundish. The CTMST allows to monitor preheat temperature, maximize casting speed, and identify potential breakouts due to cold or hot heats.

Key-words: Continuous temperature measurement; Optical temperature measurement; Contact-less temperature measurement; Blackbody cavity.

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

² Professor e pesquisador da Universidade do Nordeste da China.

³ Gerente de Engenharia da ECIL MET. TEC. Ltda.

⁴ Vendedor Técnico da ECIL MET. TEC. Ltda.



1 INTRODUÇÃO

Embora ainda pouco difundido na América do Sul, o método de medição contínua da temperatura do aço líquido vem sendo testado nas plataformas de Lingotamento Contínuo em diversas aciarias. Porém o método baseia-se na utilização de termopares de Platina-Ródio, colocados em um tubo refratário, imerso no metal líquido. Entretanto, a vida útil desse tubo é limitada devido à erosão causada pela escória (óxidos) e o termopar tem um custo elevado, portanto o custo da medição é alto, o que dificulta a aceitação pelas aciarias. Já há um bom tempo procura-se desenvolver um sistema de medição contínua da temperatura baseado em Pirômetro de Radiação Infravermelha, mas as versões iniciais apresentaram uma elevada complexidade de instalação e intensa manutenção. A Figura 1 mostra a evolução do sistema de medição contínua ao longo dos anos.

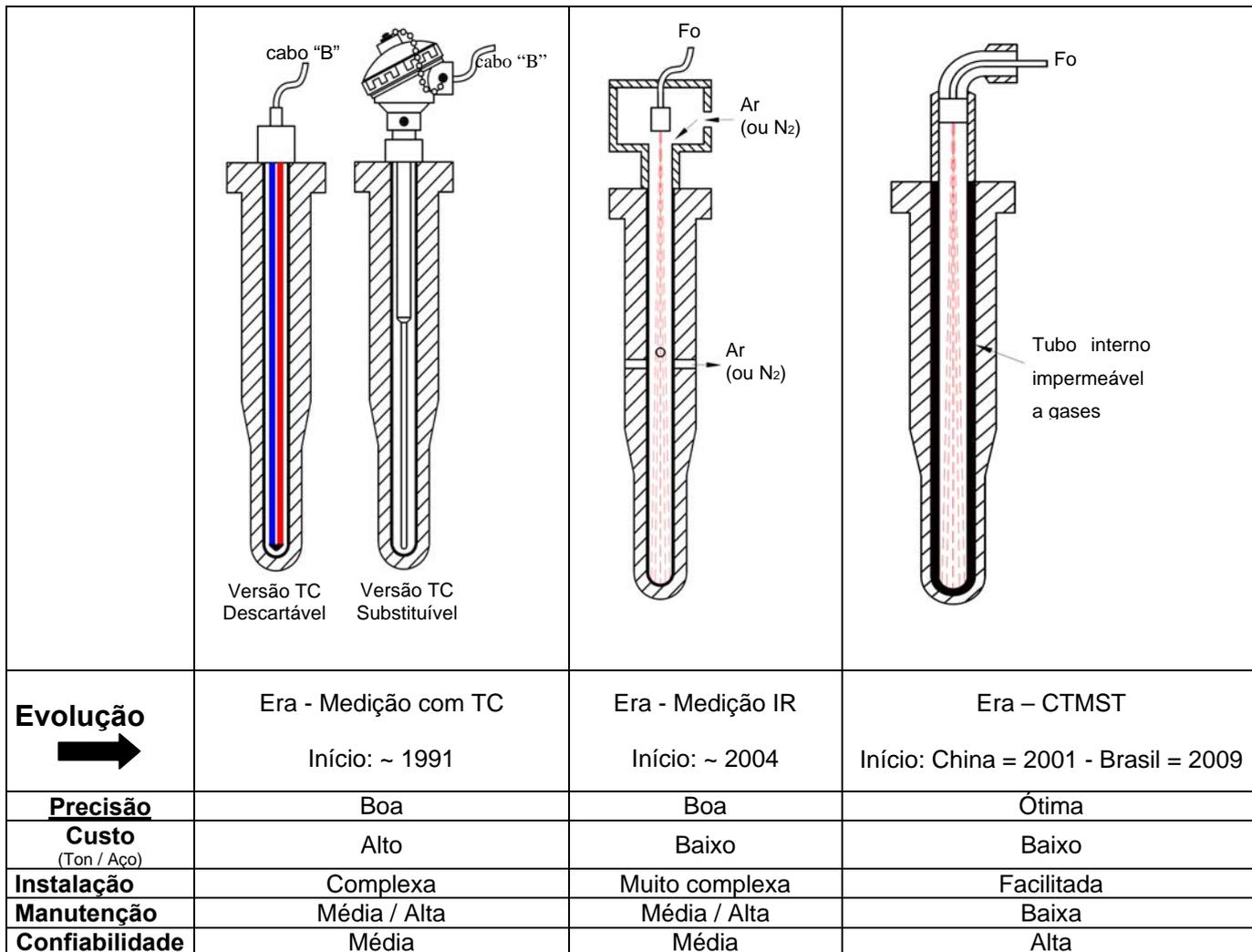


Figura 1 – Evolução dos sistemas de medição contínua em aço líquido.

2 CARACTERÍSTICAS DA NOVA TECNOLOGIA PARA MEDIÇÃO CONTÍNUA DA TEMPERATURA EM TUNDISH (CTMST)

Visando atender a necessidade de medição contínua da temperatura do aço líquido em distribuidor (*tundish*), com melhor performance e custos atrativos, a ECIL MET TEC, em parceria com a Universidade do Nordeste da China desenvolveu a



tecnologia do sensor de cavidade de corpo negro para a medição contínua de temperatura do aço líquido (CTMST), conforme mostrado na Figura 2.

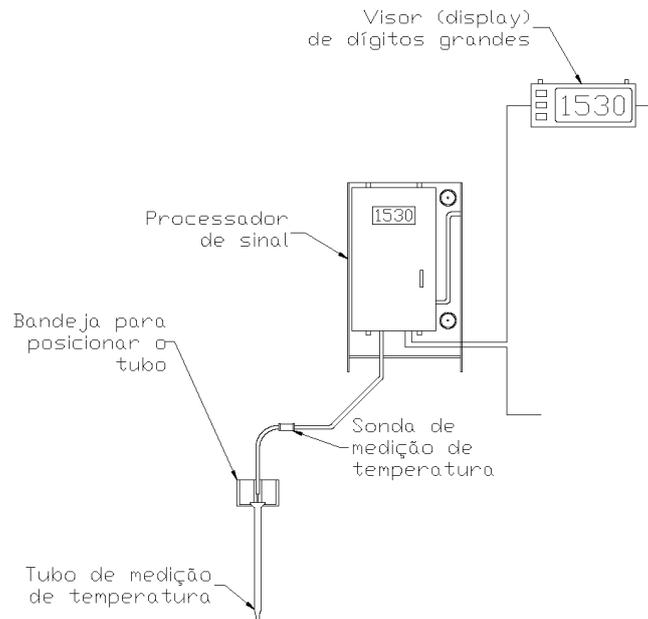


Figura 2 – Componentes do sistema de medição contínua de temperatura (CTMST).

O princípio fundamental da medição de temperatura da cavidade de corpo negro baseia-se na teoria clássica da cavidade de corpo negro (1) somada a uma nova concepção que é o coeficiente não isotérmico da cavidade de corpo negro (2), que resultam na fórmula de radiação do sensor de cavidade do corpo negro (3).

$$E_b(S, \lambda) = \varepsilon^c \cdot E_b(T_0, \lambda) \quad (1) \quad [1]$$

Onde: $\varepsilon^c = f$ (Cavidade isotermal, temperatura média, estrutura da cavidade, material, comprimento de onda) que representa a emissividade de integração na cavidade;

- S – Temperatura de brilho;
- λ – Comprimento de onda;
- T_0 – Temperatura medida;

$$K_t^* = \frac{T_e^* - T_0}{T_e^*} \quad [2]$$

$$E_b(S, \lambda) = \varepsilon_0^c \cdot E_b(T_e, \lambda) \quad (2)$$

Onde: ε_0^c – Emissividades integradas da cavidade quando a temperatura é isotérmica;

- T_e – Temperatura efetiva;
- K_t – Coeficiente não isotérmico da cavidade de corpo negro;

$$E_b(S, \lambda) = \varepsilon_0^c \cdot F_{O,D} \cdot A_O \cdot E_b(T_0 / (1 - K_t), \lambda) \quad (3)$$



Onde: E_b – Fluxo de radiação do espectro do corpo negro;
 A_o – Área do orifício da cavidade de corpo negro;
 $F_{o,D}$ – Coeficiente de transferência de calor/radiação de A_o para o A_D , sendo A_D a área da superfície de receptora do detector.

A determinação da temperatura do aço líquido contido no distribuidor é dada através da radiação infra-vermelha da base do tubo interno de Al_2O_3 (impermeável a gases) e transmitida ao detector. O tubo interno de Al_2O_3 é fixado/prensado no tubo externo de Al_2O_3+C , que estão imersos no aço líquido do tundish.

A Figura 3 mostra esquematicamente a diferença entre os tubos de medição contínua de temperatura, do sistema convencional (com termopar Pt-Rh) e do sistema CTMST (nova tecnologia). O custo do tubo de Al_2O_3+C do CTMST certamente é reduzido devido à remoção do termopar Pt-Rh.

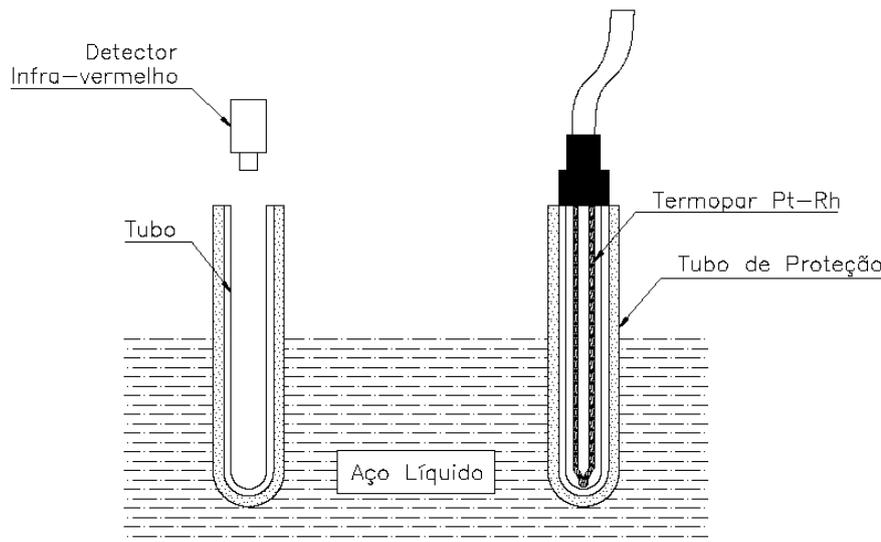


Figura 3 – Medição contínua de temperatura com Termopar (Pt-Rh) e Tecnologia CTMST.

3 DADOS TÉCNICOS DA NOVA TECNOLOGIA PARA MEDIÇÃO CONTÍNUA DA TEMPERATURA

- Precisão do sensor de cavidade de corpo negro (tubo+detector): $\pm 1,5^\circ C$.*
- Faixa de medição: $700^\circ C$ à $1.400^\circ C$ (para pré-aquecimento do tundish)
 $1.400^\circ C$ à $1.600^\circ C$ (para aço líquido)
- Erro de medição do sistema CTMST: $\leq \pm 3^\circ C$ (de $1.400^\circ C$ à $1.600^\circ C$).
- Vida útil do tubo de Al_2O_3+C : de 15 horas à 40 horas (podendo variar de acordo com o tipo de aço a ser lingotado).
- Tempo de resposta da medição: é de 6 minutos a 8 minutos para tubos sem pré-aquecimento e de 1,5 min para tubos pré-aquecidos.

* Quando a profundidade de imersão do tubo de Al_2O_3+C for maior ou igual a 300 mm.



42º Seminário de Aciaria Internacional

42nd Steelmaking Seminar - International

15 a 18 de maio de 2011 / May 15th - 18th 2011



Tabela 1 - Dados dos testes comparativos entre medição com Termopar Descartável e Medição Contínua, na China Steel (2000)

Corrida	Horário	Medição Descartável (°C)	Medição Contínua CTMST (°C)	Diferença de Temperatura (°C)
6J781	17:38	1547	1547	0
	17:49		1550	
5E485	18:16		1544	
	18:19	1544	1545	1
	18:27		1546	
	18:30	1546	1547	1
	18:54		1547	
4G340	18:58	1541	1546	5
	19:07		1540	
	19:09	1541	1540	-1
	19:16	1546	1545	-1
	19:28	1548	1548	0
6J782	19:52		1540	
	20:02	1556	1556	0
	20:14	1558	1559	1
	20:36		1551	
5E486	20:39		1549	
	20:49	1552	1552	0
	20:52		1555	

Tabela 2 – Dados obtidos nos testes comparativos na CSN - MCC 04 (25 de Março de 2010).

Corrida	Horário	Medição Descartável (°C)	Medição Contínua CTMST (°C)	Diferença de Temperatura (°C)
C1759	16:16	1544	1542	-2
	16:26	1543	1545	2
	16:35	1550	1548	-2
A1589	17:03	1543	1540	-3
	17:13	1549	1548	-1
	17:26	1552	1553	1
B1489	17:44	1554	1549	-5
	17:49	1553	1553	0
	18:02	1554	1553	-1
	18:13	1552	1552	0



42º Seminário de Aciaria Internacional

42nd Steelmaking Seminar - International

15 a 18 de maio de 2011 / May 15th - 18th 2011

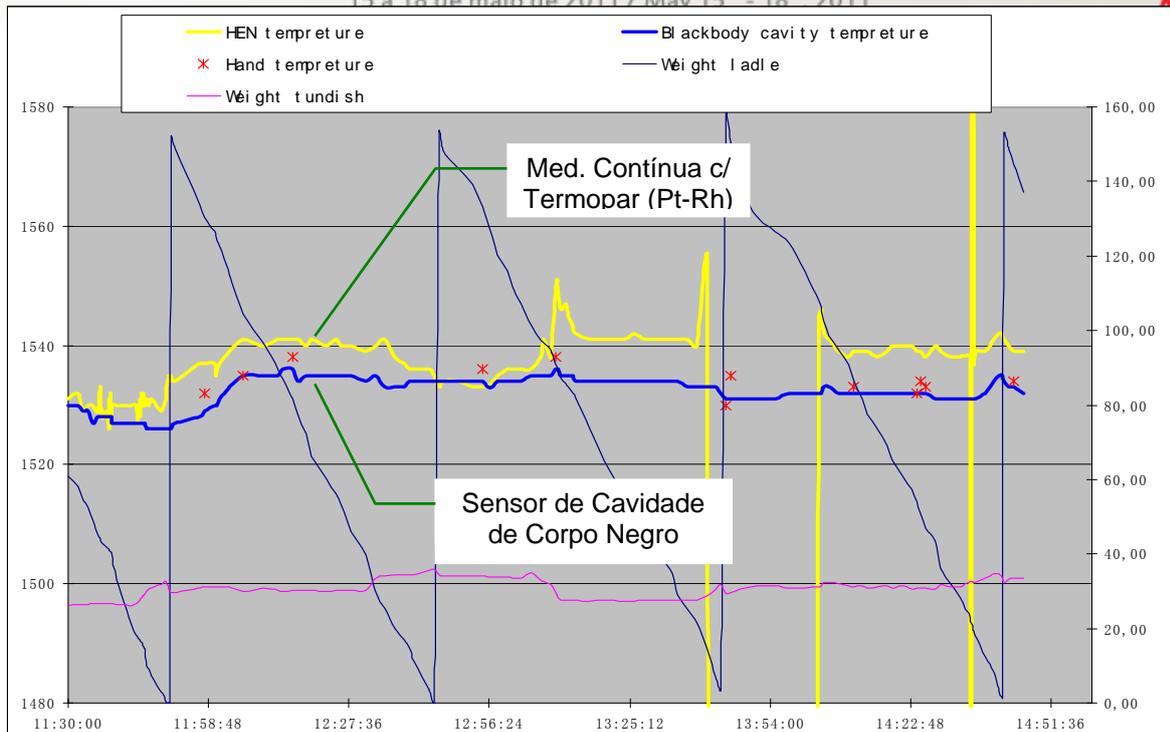


Figura 4 – Gráfico das medições obtidas no teste comparativo entre medição com Termopar Descartável, Medição Contínua Convencional e Medição Contínua CTMST, em Luxemburgo (09 de Abril de 2002).

Tabela 3 – Dados obtidos nos testes comparativos na CSN - MCC 04 (14 de Abril de 2010).

Corrida	Horário	Medição Descartável (°C)	Medição Contínua CTMST (°C)	Diferença de Temperatura (°C)
C2213	13:41	1575	1569	-6
	13:48	1575	1573	-2
	13:50	1575	1574	-1
	14:01	1576	1575	-1
	14:13	1569	1570	1
C2214	14:20	1564	1567	3
	14:26	1570	1570	0
	14:38	1571	1573	2
	14:49	1572	1572	0
C2216	15:10	1574	1573	-1
	15:21	1576	1576	0
	15:34	1576	1575	-1
	15:46	1573	1572	-1
C2217	15:54	1568	1568	0
	16:01	1571	1569	-2
	16:16	1570	1571	1
	16:25	1570	1569	-1

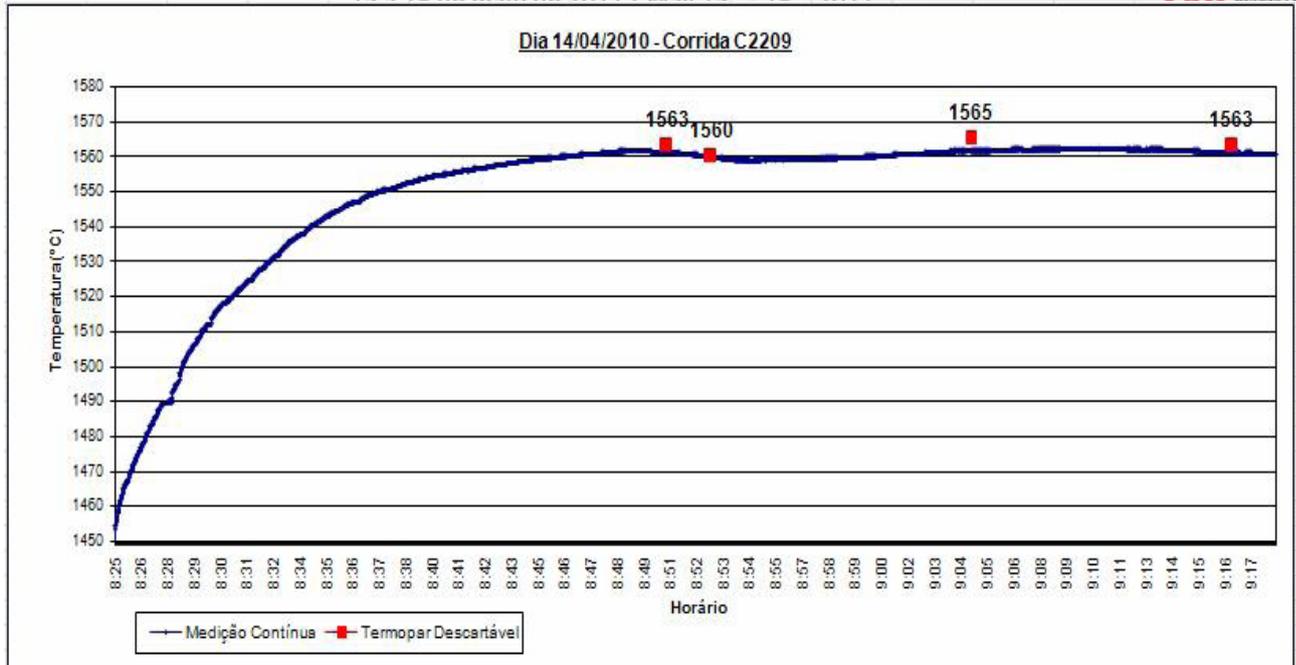


Figura 5 – Gráfico das medições obtidas no teste comparativo na CSN - MCC 04 (Abril de 2010).

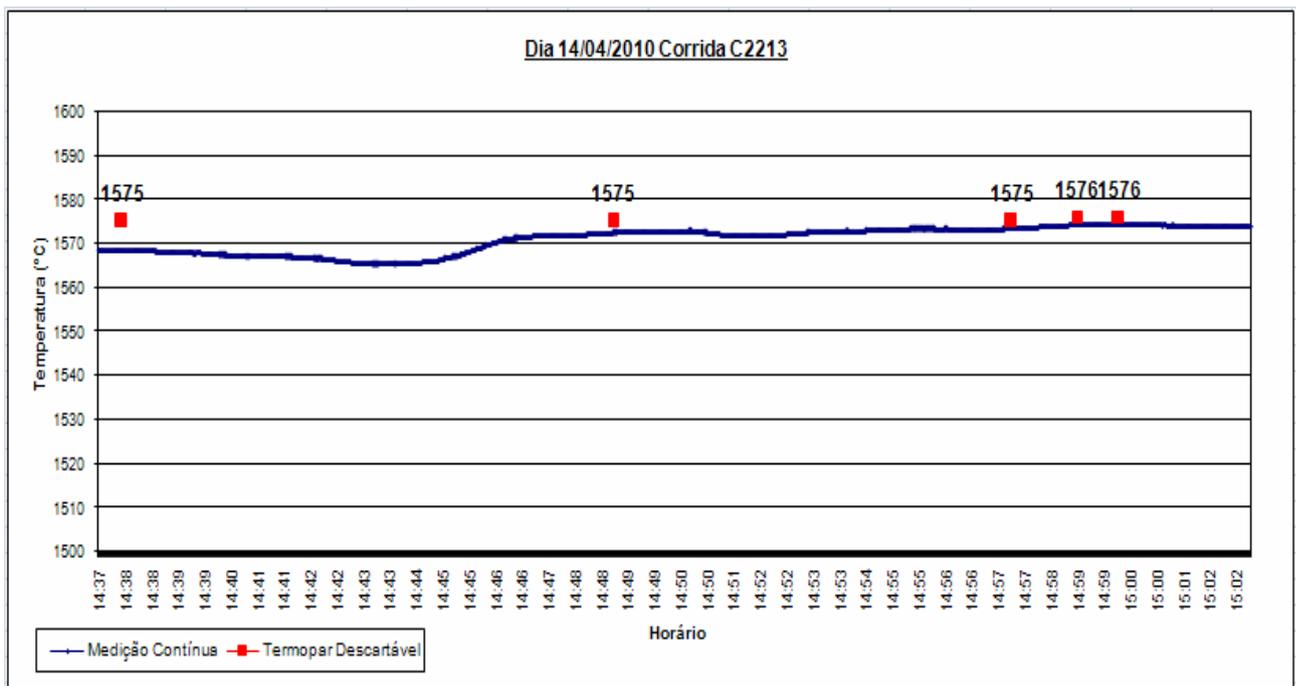


Figura 6 – Gráfico das medições obtidas no teste comparativo na CSN - MCC 04 (Abril de 2010).

4 SISTEMA DE MEDIÇÃO CONTÍNUA DA TEMPERATURA EM TUNDISH (CTMST)

Um sistema de medição contínua de temperatura do aço líquido no tundish é composto de 2 detectores de medição de temperatura (sondas), 2 processadores de sinal e um display de dígitos grandes para visualização externa.

O CTMST mede a temperatura do aço que está sendo lingotado e monitora a temperatura de pré-aquecimento do distribuidor.

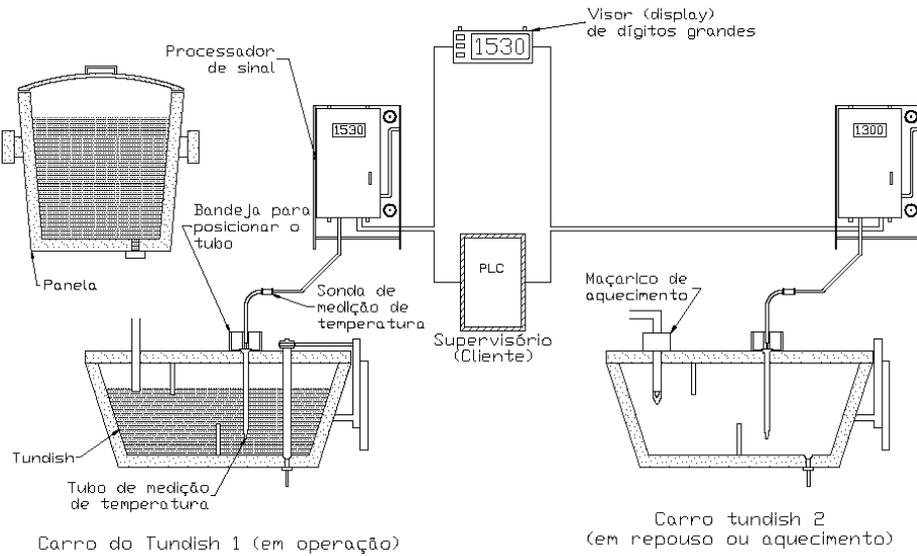


Figura 7 – Layout de Lingotamento Contínuo com sistema de medição contínua de temperatura CTMST.

5 RESULTADOS

Os testes com o sensor de cavidade de corpo negro para medição contínua de temperatura foram realizados em plataformas de Lingotamento Contínuo de usinas chinesas, conforme os padrões operacionais chineses.

Os resultados mostrados abaixo foram encontrados nos inúmeros testes realizados nas usinas chinesas, no período de 2000 a 2006 e no Brasil, no período de 2008 até o presente momento.

É importante salientar que até Novembro de 2008 havia mais de 150 sistemas de medição contínua de temperatura CTMST instalados nas usinas chinesas.

Tabela 4 – Comparativo entre características do CTMST e termopar descartável (Pt-Rh)

	Sensor de Cavidade de Corpo Negro	Termopar Descartável
Custo	Equivalente	—
Precisão	$\pm 3^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$
Segurança dos operadores	Muito maior	Menor
Medição	Automática, Contínua	Manual, Descontinuada

Tabela 5 – Comparativo entre características do CTMST e demais sistemas de medição contínua

	Sensor de Cavidade de Corpo Negro	Concorrente "A"	Concorrente "B"
Precisão da Medição	$\pm 3^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	$\pm 5^{\circ}\text{C}$
Estabilidade	Mais estável	Estável	Mais estável
Aplicações na China (até 2006)	102	2	0



6 BENEFÍCIOS NO USO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO CONTÍNUA DA TEMPERATURA EM TUNDISH (CTMST)

Os principais benefícios na utilização dessa nova tecnologia (CTMST) vão de encontro às expectativas e anseios do mercado siderúrgico. Entre eles, podemos destacar:

- *Baixo custo* (custo da medição equivalente aos sensores descartáveis);
- *Estabilidade operacional* (temperatura confiável e contínua, sem erros de operação manual, isso que permite monitorar as possíveis variações que causam break-outs e freeze ups, redução do super heat, etc);
- *Melhora na qualidade do produto final* (com base na medição contínua da temperatura faz-se o ajuste do resfriamento secundário e da velocidade de lingotamento);
- *Segurança* (medição de temperatura automática, não expõe o operador ao splash/respingos de aço causados pelo termopar descartável);
- *Monitoramento do pré-aquecimento do tundish em stand-by* (assegurar que o tundish entre em operação com a temperatura de trabalho ideal, após cumprido o ciclo de pré-aquecimento).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de medição contínua de temperatura do aço líquido em tundish (CTMST) mostrou as vantagens óbvias que o sensor de cavidade de corpo negro tem em relação aos sistemas tradicionais. Dentre as vantagens destaca-se: maior segurança; pois não expõe o operador (o operador só atuará na troca dos tubos), baixo custo, maior precisão na medição, produto final de melhor qualidade (o controle contínuo da temperatura permite o ajuste do resfriamento secundário e da velocidade de lingotamento), etc.

Devido às severas condições de utilização deste sensor/sistema torna-se essencial o emprego de materiais de alta pureza e um processo de aplicação controlado que garanta precisão e repetibilidade.

Isto só foi possível com o trabalho desenvolvido em parceria entre a ECIL MET TEC e a Universidade do Nordeste da China.

REFERÊNCIAS

- 1 ASTM E1256, "Standard Test Methods for Radiation Thermometers", ASTM, 1995.
- 2 Xie Zhi, "Theory and Technology of Thermometry Based on Infrared Radiation", China Northeastern University, 1989.
- 3 Okita, K. Ebato, T. Yasui, M Kimura K. Imiya, and M. Shimizu, "Start Up of a Tough, User Friendly and Highly Sophisticated Slab Caster", Steelmaking Conference Proceedings, ISS, 1993 pp. 237-241.
- 4 J. Usher, K Ray, and J Uhlenbush, "Continuous Measurement of Liquid Steel Temperature in the Tundish", "MPT International", 1998 Vol. 4 Pag. 124-131.