

## ESTUDO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO PARA PANEAS DE FUNDIÇÃO DE MÉDIO PORTE<sup>1</sup>

Jorge Azevedo<sup>2</sup>  
André Ferraz<sup>3</sup>  
Antônio Machado<sup>4</sup>  
Ivan Rocha<sup>5</sup>  
Ricardo Konishi<sup>6</sup>  
Walter Piazza<sup>7</sup>  
Willian Lehmkuh<sup>8</sup>  
Max Hermann<sup>9</sup>  
Orlando Preti<sup>10</sup>

### Resumo

Considerando-se o atual cenário dos processos de fundição executados no estado de Santa Catarina, verificou-se uma evidente necessidade de melhoria nos sistemas de aquecimento empregados nas panelas de vazamento. O presente trabalho traz uma análise dos métodos vigentes baseada em visitas realizadas a sete empresas de médio porte das regiões norte e nordeste catarinense, evidenciando suas necessidades no que tange à segurança e, em especial, no que se refere a sua eficiência energética em processos cujo aproveitamento não ultrapasse a margem de 10%. Tal estudo possibilitou a identificação de pontos definidos de melhoria, bem como o alinhamento de novas soluções de projeto com as características específicas e preferências das empresas de fundição estudadas. Como resultado final da pesquisa foi apresentado um protótipo de panela de médio porte para a fundição de ferro nodular com sistema de aquecimento otimizado, o qual permitiu o controle de diversos parâmetros do processo, tal como temperatura, pressão e vazão do gás combustível utilizado. Isto possibilitou o desenvolvimento de um método com maior eficiência energética e maior segurança, mediante a utilização de um energético de aquecimento menos poluente (gás natural), oferecendo maior vida útil ao equipamento.

**Palavras-chave:** Panela de fundição; Eficiência energética; Metal-mecânica.

### STUDY OF MEDIUM-SIZED METALLURGICAL VESSEL HEATING SYSTEM

#### Abstract

Considering the current scenario of casting processes in Santa Catarina state, there is a clear need for improvements in systems used for heating metallurgical vessels. This paper presents an analysis of existing methods based on visits to seven medium-sized companies in northern and northeastern regions of Santa Catarina, which made evident that there were necessities regarding safety and energy efficiency. This study enabled the identification of aspects that needed improvement, and proposes new design solutions with the specific characteristics and preferences of the foundry companies studied. As a result, a prototype of a medium-sized vessel with an optimized heating system was built for casting ductile iron, which allowed the control of several parameters of the process, such as temperature, pressure and natural gas flow. This enabled the development of a method of vessel heating with higher efficiency and security using natural gas as fuel that is more environmentally friendly and provides longer life to the equipment.

**Key words:** Metallurgical pouring vessel; Energetic efficiency; Metalworking.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 32º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 26º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 16 a 19 de agosto de 2011, Salvador, BA.

<sup>2</sup> Mestre, engenheiro químico – SCGÁS.

<sup>3</sup> Engenheiro civil – SCGÁS.

<sup>4</sup> Mestre, engenheiro químico / engenheiro ambiental – SCGÁS.

<sup>5</sup> Especialista, engenheiro elétrico – SCGÁS.

<sup>6</sup> Especialista, engenheiro de produção – SCGÁS.

<sup>7</sup> Mestre, engenheiro civil / engenheiro de petróleo – Petrobras

<sup>8</sup> Mestre, engenheiro mecânico – SCGÁS.

<sup>9</sup> Especialista, Engenheiro metalúrgico – SOCIESC.

<sup>10</sup> Mestre, engenheiro de materiais – SOCIESC.

## 1 INTRODUÇÃO

Em uma fundição, panela de vazamento é o recipiente utilizado para transportar o metal líquido, saído do forno de fusão, até o molde ou outro equipamento intermediário (forno vazador ou forno de espera). Tipicamente, nas fundições de ferrosos, o metal encontra-se a temperaturas superiores a 1.300°C e para evitar perda de energia térmica e, conseqüentemente, de produtividade, a panela deve estar aquecida por volta de 1.000°C para transportá-lo.<sup>(1)</sup> Comumente o aquecimento é realizado por meio de queimadores a gás (GLP ou GN). As fundições, em linhas gerais, operam com queimadores a gás-ar comprimido, de construção própria (artesanais), sem dispositivos de ajuste e controle adequados, e, portanto, apresentam eficiências muito baixas, inferiores a 10%.<sup>(2)</sup> Essa baixa eficiência motivou a realização deste estudo, além disso, observa-se pouco interesse por parte dos gestores de fundição, na utilização do gás natural para aquecimento de panelas, talvez devido à desinformação, pela carência de trabalhos técnicos sobre sua aplicação eficaz e racional no sistema de aquecimento. O presente estudo propõe mudar este conceito de aquecimento adotado, através da construção de uma panela de fundição de médio porte de alta eficiência térmica. A panela foi construída com revestimento refratário comercial, queimadores industriais/comerciais de gás-ar aspirado, utilizando o gás natural como combustível e dotando toda a instalação de aquecimento de uma melhor proteção contra perdas e de controles contra emissões de poluentes. A pesquisa experimental foi realizada na fundição da Sociedade Educacional de Santa Catarina - Sociesc.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

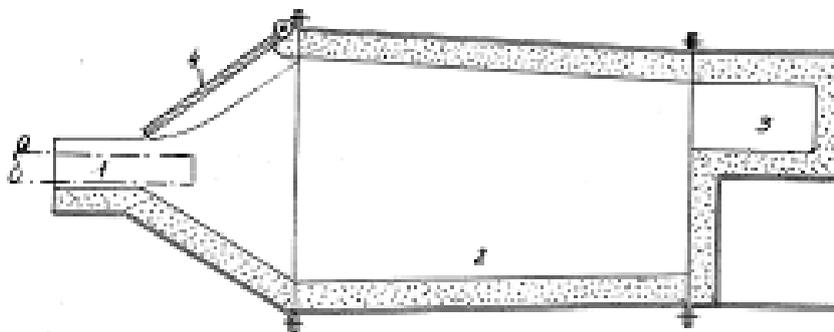
A primeira parte do estudo foi fazer um diagnóstico da estrutura e funcionamento de sistemas de aquecimento de panelas de uma amostra representativa de fundições da região norte/nordeste de Santa Catarina, por se tratar do pólo metal-mecânico do estado. Para isso foram visitados e avaliados os setores de aquecimento de panelas de sete fundições de médio porte com capacidade de até 2.000 toneladas/mês de metais ferrosos da região.

Para realizar o trabalho proposto de eficiência energética foi construída uma panela de fundição de médio porte de 450 kg de capacidade. Escolheu-se uma panela de nodularização porque o ferro fundido nodular é o metal ferroso mais produzido na região. Em uma fundição de ferros fundidos, a panela de nodularização é o recipiente utilizado para realizar o tratamento (reação) do ferro fundido líquido com uma liga nodularizante (ferro – silício – magnésio) depositada no fundo desta panela, com objetivo de obter o ferro fundido nodular. Portanto, o ferro fundido líquido saído do forno de fusão, a uma temperatura de 1.500°C é transferido diretamente para esta panela (nodularização), e após a reação com o nodularizante (aproximadamente 30 s), o metal resultante (Ferro Fundido Nodular) é transferido para panelas de vazamento, para a fundição dos moldes/peças. Optou-se por construir uma panela tipo conversor que apresenta como principais vantagens:

- maior rendimento da liga de nodularização (Fe-Si-Mg ou Mg puro);
- facilidade de remoção da escória após tratamento; e
- facilidade de transferência do metal tratado para as panelas de vazamento.

A panela foi revestida, internamente, com uma camada de concreto refratário sílico-aluminoso comercial, com espessura uniforme de 60 mm. A panela contém dez furos, com profundidade aproximada de 55 mm – 60 mm (pontos 1 a 10) e diâmetro

de 5 mm, estrategicamente distribuídos ao longo da geratriz do corpo principal. Estes furos servem de alojamento para termopares de isolamento mineral, tipo K, de 3 mm de diâmetro, para tomada da evolução da temperatura durante o aquecimento até o limite de 1.000°C.



**Figura 1.** Esquema de panela de nodularização tipo conversor Georg Fischer. 1) bica de vazamento e transferência do metal (forno / panela); 2) reservatório e câmara de reação; 3) reservatório para liga nodularizante; 4) tampa da boca da panela (basculante).<sup>(3)</sup>



**Figura 2.** Fotos da panela de nodularização.<sup>(3)</sup>

Como o estudo tem por objetivo a eficiência energética de aquecimento de panelas de fundição, desenvolveu-se o projeto (desenho) de um módulo de aquecimento, com características físicas diferenciadas dos modelos geralmente utilizados nas fundições da região. Enquanto nas fundições da região normalmente utilizam-se terminais de aquecimento com ar comprimido e gás, no terminal do presente projeto foi incluída uma rede de oxigênio para testes comparativos. Foi utilizado um queimador a gás natural do tipo ar aspirado, porque durante as visitas várias empresas demonstraram-se inclinadas para o uso deste tipo de queimador, visando substituir o uso de ar comprimido nos queimadores por considerarem um insumo de elevado custo. Um módulo portátil para medir vazão, temperatura e pressão do gás foi concebido para permitir uma maior flexibilidade no levantamento de dados, podendo ser acoplado em diferentes terminais.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Visitas às Fundições do Norte/Nordeste de Santa Catarina

Os setores de aquecimento de panelas encontrados nas empresas visitadas apresentam características parecidas com as apresentadas nas Figuras 3 e 4.



**Figura 3.** Sistema de aquecimento de painéis.<sup>(3)</sup>



**Figura 4.** Detalhes das redes de gás e ar, válvulas e reguladora de pressão.<sup>(3)</sup>

Os levantamentos efetuados nas diversas empresas visitadas e a análise dos dados permitiram fazer as seguintes observações:

- há precariedade de instrumentos que permitam a regulação e o controle de pressão, vazão e temperatura indispensáveis para a busca da efficientização;
- não há recursos como ignição ou regulação automática da chama (chama piloto);

- em geral, há uma grande variedade de tipos de queimadores, sendo a maioria deles, de construção própria e portanto de poucos recursos tecnológicos (Figura 5);
- algumas empresas mostraram-se inclinadas a usar queimadores a ar aspirado, visando com isto, economia da energia do ar comprimido;
- em aciaria, onde é comum o uso de O<sub>2</sub>, já se começa a pensar em alternativas (evitar uso de O<sub>2</sub>) para desonerar custos;

A Figura 5 apresenta os queimadores utilizados nas empresas visitadas da região e panelas de vazamento tipicamente utilizadas nessas empresas, e a Figura 6, as panelas de nodularização.

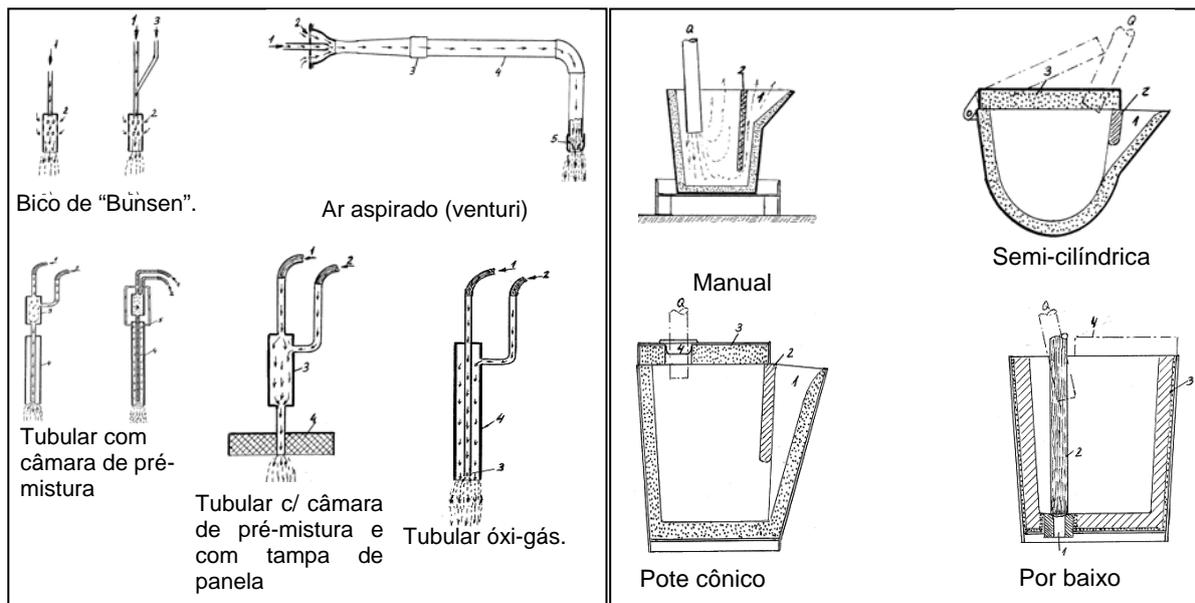


Figura 5. Tipos de queimadores e panelas de vazamento encontrados na região norte e nordeste de Santa Catarina.<sup>(3)</sup>

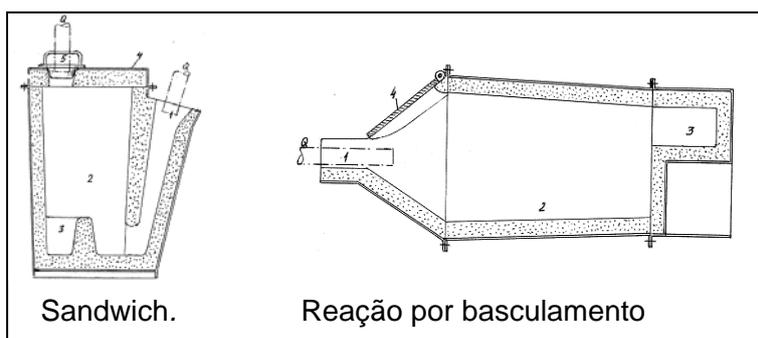


Figura 6. Tipos de panelas de nodularização encontrados nas visitas.<sup>(3)</sup>

### 3.2. Panela de Teste Auxiliar

Testes preliminares sobre a eficiência térmica foram realizados primeiramente em uma panela de teste, devido à demora para esfriar a parede refratária.<sup>(4)</sup> Se os testes fossem feitos na panela de nodularização retardaria demasiadamente o início dos sucessivos testes com novos parâmetros de reajuste do queimador (pressão, vazão de gás e entrada de ar).

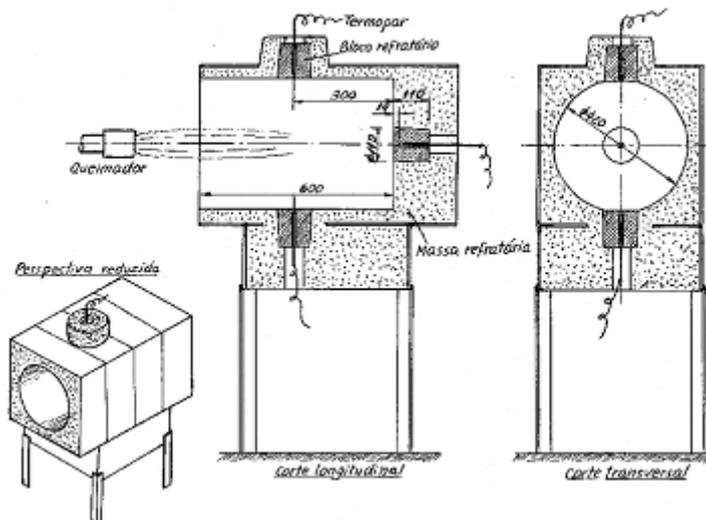


Figura 7. Painela de teste.<sup>(3)</sup>

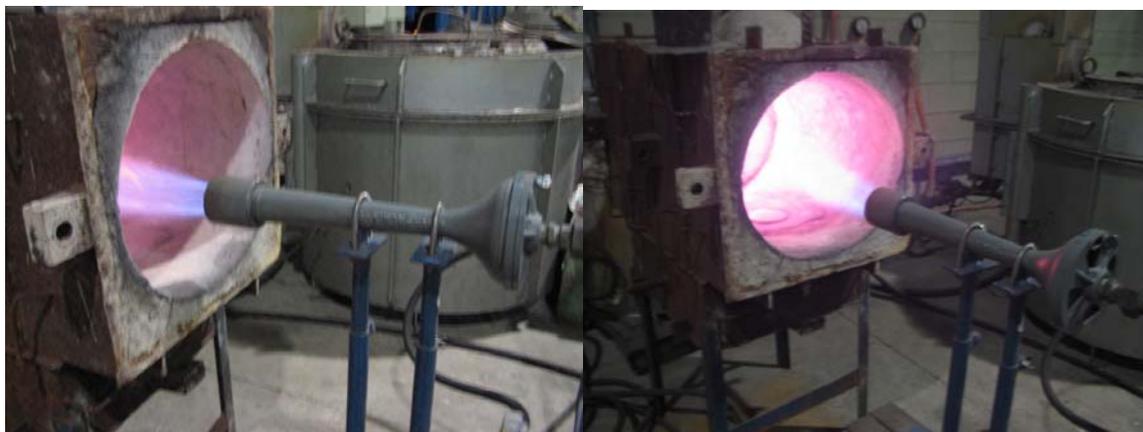


Figura 8. Painela de teste.<sup>(3)</sup>

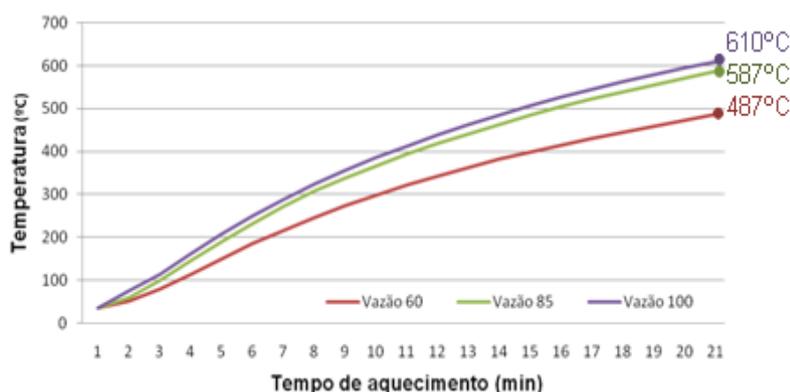


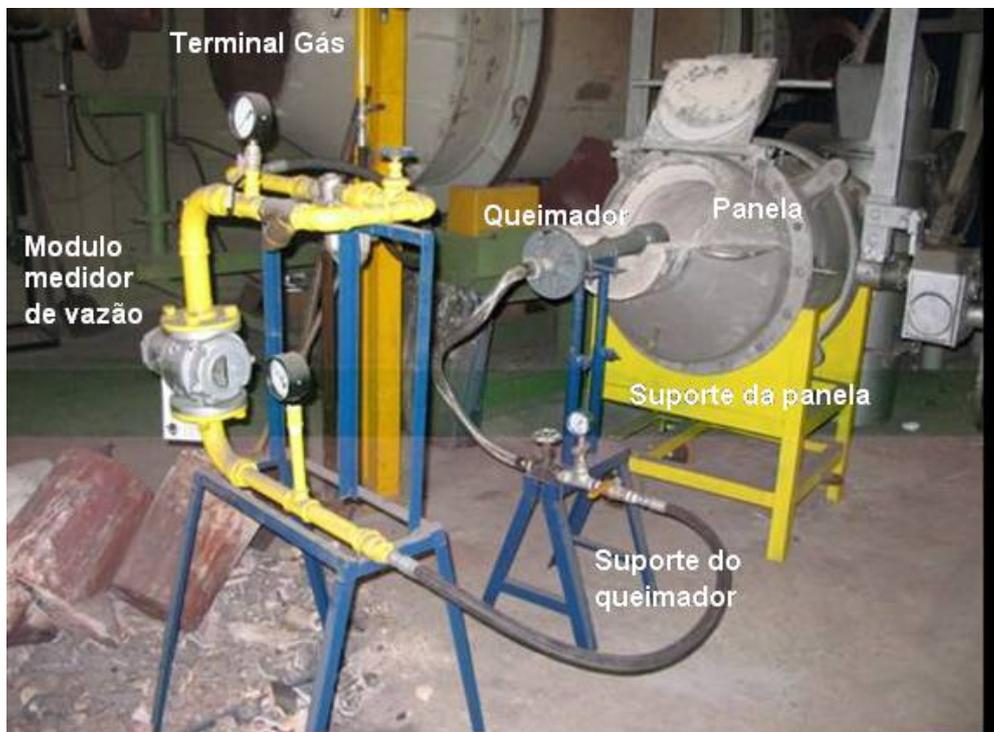
Figura 9. Perfil térmico de aquecimento da painela auxiliar de teste. (Pressão do gás 2,0 Bar e abertura da entrada de ar no queimador de 50%).<sup>(3)</sup>

Durante os testes de aquecimento foi feita tomada de temperatura a cada minuto (no fundo da painela, a 12 mm da superfície interna, onde incide a chama) durante um tempo total de 21 minutos, ao final do que se obteve um aquecimento superficial da parede interna no fundo da painela auxiliar de teste de aproximadamente 900°C, medido com auxílio de um pirômetro tipo pistola. Os resultados destes testes estão apresentados na Figura 9.

Observa-se na Figura 9, que a vazão de gás a 100% (8,4 m<sup>3</sup>/h) apresentou a maior temperatura de aquecimento do refratário da panela auxiliar de teste e a vazão de 60% (5,0 m<sup>3</sup>/h) apresentou menor eficiência, entretanto com a vazão de 85% (7,2 m<sup>3</sup>/h), as temperaturas de aquecimento se apresentaram muito próximas das temperaturas obtidas com 100% de vazão de gás. Considerando o consumo em relação à temperatura alcançada, observa-se que a condição da vazão de gás de 85% apresentou-se melhor, por utilizar menor volume de gás, sem perdas significativas das temperaturas em relação à vazão de 100%.

### 3.3. Painela de Nodularização de Médio Porte

Depois de concluídos os testes preliminares (levantamentos básicos) obtendo os parâmetros de operação do queimador para o aquecimento mais eficiente de uma panela de fundição de porte médio de teste, estudou-se a eficiência de aquecimento da panela de fundição de médio porte.



**Figura 10.** Sistema de aquecimento de panelas (protótipo da panela de nodularização construída e o módulo portátil de medição e regulação do gás natural).<sup>(3)</sup>

Para realizar estes testes utilizaram-se os parâmetros considerados ideais do estudo realizados, os quais foram: pressão de gás 2,0 Bar; vazão de gás 85%; e abertura de entrada de ar no queimador de 50%.

O posicionamento do queimador em relação à panela foi ajustado mediante algumas experiências preliminares, sendo os testes realizados conforme posição mostrada de forma esquemática na Figura 11.

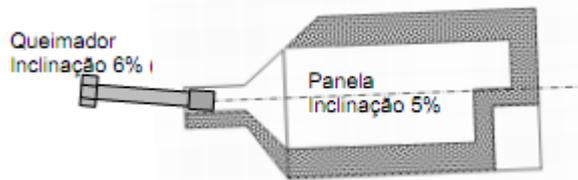


Figura 11. Posicionamento do queimador na nova panela de nodularização.<sup>(3)</sup>

O perfil de aquecimento na nova panela de nodularização foi obtido, mediante aquecimento da panela durante um tempo de uma hora, sendo as leituras de temperatura realizadas periodicamente de 5 em 5 minutos com a instalação estratégica de seis termopares dispostos ao corpo lateral e no fundo da panela, com profundidades correspondentes a 10 mm de espessura de refratário (espessura do refratário entre a parede interna da panela e a ponta do termopar), para os pontos T1, T2 e T6, sendo que o ponto T3 apresenta uma espessura de refratário de 14 mm, o ponto T4 com espessura de 32 e T5 com espessura de 50, conforme é mostrado na Figura 12 e 13.



Figura 12. Distribuição dos termopares (T1, T2, T3, T4, T5 e T6) no corpo da nova panela de nodularização.<sup>(3)</sup>

Os termopares T3, T4 e T5 foram instalados em profundidades distintas na parede do refratário, conforme mostra a Figura 12, para possibilitar a determinação do perfil de aquecimento ao longo da espessura da parede refratária.

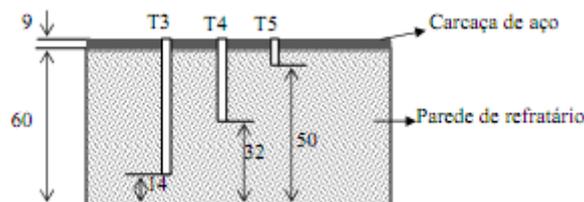
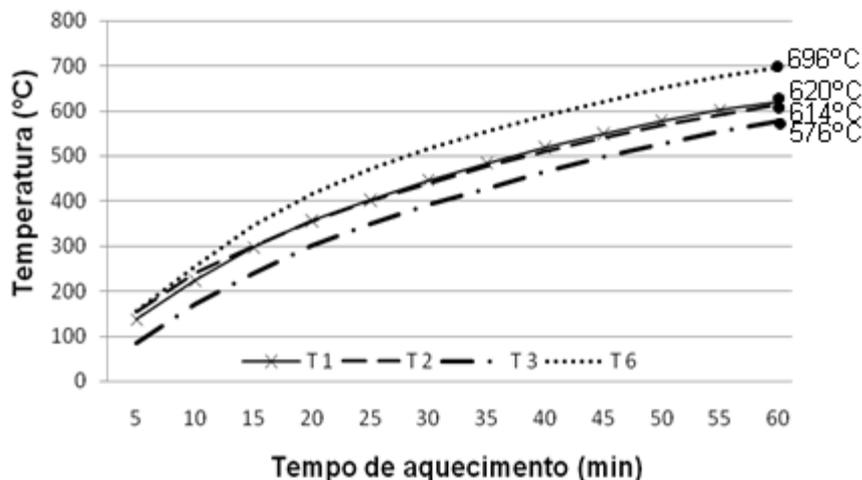


Figura 13. Profundidade de posicionamento dos termopares na parede refratária da panela.<sup>(3)</sup>

Após a realização de dois ciclos de aquecimento e compilação das médias das temperaturas, estruturou-se o gráfico mostrado na Figura 14.

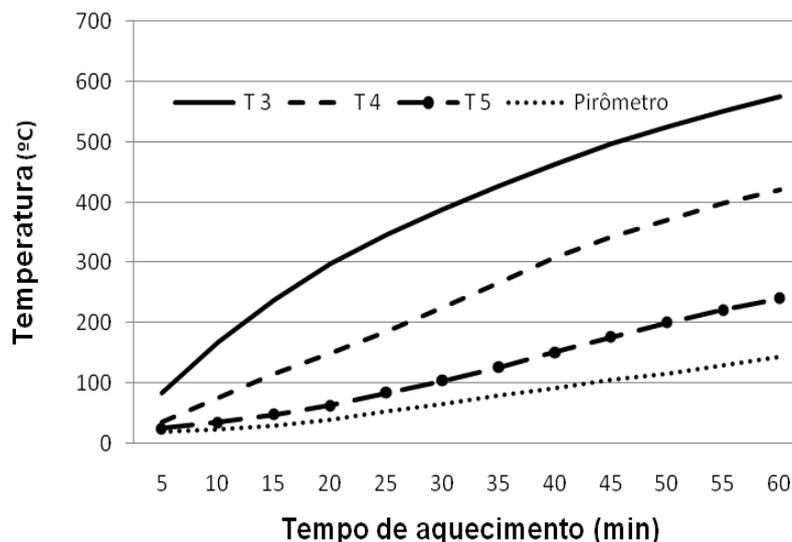


**Figura 14.** Perfil térmico próximo a superfície interna da parede refratária da panela de nodularização (parâmetros vazão de gás 85%; pressão de gás 2,0 Bar e abertura de entrada de ar no queimador de 50%).<sup>(3)</sup>

Fazendo uma análise do gráfico na Figura 14, observa-se que as temperaturas aumentam gradativamente em função do tempo de aquecimento até 60 minutos (tempo de teste), chegando a temperaturas entre 576°C a 696°C, correspondendo as espessuras de parede refratária de 10 mm (T1, T2 e T6) e 14 mm (T3).

O perfil de aquecimento do fundo da panela (T6) apresenta maior temperatura, justificado pela incidência direta da chama. O perfil de aquecimento correspondente ao termopar T3 apresenta menor temperatura, justificado pela maior espessura de parede (14 mm).

A Figura 15 mostra o perfil térmico ao longo da espessura da parede refratária da parte cilíndrica, à 25 cm do fundo, da nova panela de nodularização.



**Figura 15.** Perfil térmico ao longo da espessura da parede refratária.<sup>(3)</sup>

Observam-se na Figura 15, os perfis de temperatura nas diferentes espessuras da parede refratário (profundidade de aquecimento), sendo T3 com espessura de parede igual a 14 mm, T4 espessura de parede igual a 32 mm (aproximadamente na metade da espessura da parede refratária) e T5 com espessura de parede igual

50 mm (próxima a superfície externa – carcaça da panela) e leitura feita com pirômetro tipo pistola, na parte externa de chapa de aço (carcaça).

Assim, a temperatura no interior da panela foi medida com auxílio de um pirômetro tipo pistola, após tempo de aquecimento do refratário interno da panela de 60 minutos, indicando que:

- na parede interna, no fundo da panela, apresentou temperaturas maiores do que 900°C (limite do pirômetro);
- na parede interna, na lateral da panela, apresentou uma temperatura próximo de 900°C; e
- na parede interna, próximo a boca da panela, apresentou temperatura de aproximadamente 880°C.

As temperaturas internas (medidas com o pirômetro tipo pistola), após aquecimento de 60 minutos, mostraram ser homogêneas (temperatura entre 880°C a 950°C). Isto pode ser considerado um aquecimento com uma boa eficiência térmica, para esta panela, de geometria relativamente mais complexa (grande relação profundidade/diâmetro de 2,5 / 1).

### 3.4. Comparativo entre Queimador a Ar Aspirado e a com Ar Comprimido

Uma comparação entre o queimador com ar aspirado e um queimador com ar comprimido foi realizada para verificar a diferença no aquecimento da panela entre eles. O teste experimental comparativo de levantamento de dados foi desenvolvido num período de 60 minutos, com as tomadas de temperaturas (termopares tipo K) nas diferentes posições, conforme Figuras 12 e 13, realizadas após 30 min, 45 min e 60 min de aquecimento. A Figura 16 mostra a vista da parede interna da panela durante e após a etapa experimental de 60 minutos de aquecimento (imagem logo após ter sido desligado) com o queimador tipo tradicional a ar comprimido.



Figura 16. Panela de nodularização aquecida com queimador a ar comprimido.<sup>(3)</sup>

Os resultados obtidos neste teste experimental estão apresentados na Figura 17, comparativamente com os dados obtidos em condições idênticas aos testes realizados com o queimador tipo ar aspirado.

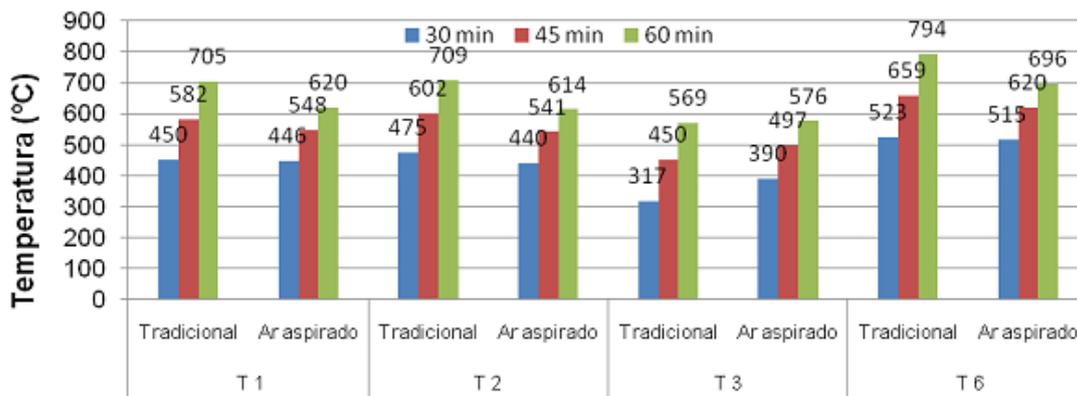


Figura 17. Perfil térmico de aquecimento da panela de nodularização com queimador tradicional e ar aspirado.<sup>(3)</sup>

Em análise comparativa ao queimador tipo ar aspirado, este ponto (fundo da panela – T6) apresenta temperatura superior. Entretanto, temos que considerar que este pico deve-se a uma incidência mais direta da chama promovida pelo ar comprimido e uma maior vazão de GN em 17,2% superior ao operado com queimador ar aspirado (vazão queimador tradicional 8,2 m<sup>3</sup>/h e queimador ar aspirado 6,96 m<sup>3</sup>/h). O perfil de aquecimento correspondente ao termopar T3 apresenta menor temperatura, justificado pela maior espessura de parede (14 mm), já referenciado anteriormente. Verifica-se que neste ponto as temperaturas obtidas com os dois queimadores (ar aspirado e tradicional) foram semelhantes para o tempo de 60 minutos. Este comportamento, não se verificou nos demais pontos, onde as temperaturas alcançadas com o queimador tradicional foram superiores.

Portanto, fazendo uma análise dos testes comparativos entre os queimadores tradicional da Sociesc (GN e ar comprimido) e o queimador a ar aspirado deste projeto de pesquisa, no aquecimento da panela de nodularização, podem ser destacados os seguintes pontos.

### 3.4.1 Pontos positivos do queimador a ar aspirado

- apresenta uma melhor combustão;
- a combustão (queima) ocorre mais no interior da panela de nodularização, que proporciona uma maior eficiência térmica;
- a chama é mais estável e homogênea;
- não necessita de um sistema de ar comprimido;
- aquece a parede interna da panela, de forma mais homogênea (menor gradiente térmico), o que sugere um menor risco de trinca no refratário; e
- a ponta do queimador opera fora da panela de nodularização o que aumenta a vida do bico devido a menor exposição à chama.

### 3.4.2 Pontos positivos do queimador tradicional

- construção simples e de menor custo de fabricação;
- o funcionamento (estabilidade da chama) não é muito afetado pela posição do bico em relação à panela, podendo, inclusive ser operado dentro da mesma;
- pode ser operado com mais pressão de ar o que por conseqüência, promove um aquecimento mais rápido.

### 3.5 Avaliação das Condições Ambientais

Uma avaliação das condições do ambiente foi realizada através de medições de ruídos e de emissão de monóxido de carbono (CO). Medidas com o decibelímetro posicionado a uma distância de 1 metro do bico do queimador registraram uma média de 98 decibéis e a emissão de 4ppm de CO foi detectada em condições de excesso de combustível, perto de 100% da capacidade de vazão do queimador a ar aspirado.

### 4 CONCLUSÃO

Durante as visitas às empresas da região, ficou evidenciado o baixo rendimento do sistema de aquecimento, além da precariedade das instalações no tocante à segurança, à exposição ao calor, à emissão de gases e ruído muito intenso. Foi observado que predominam os queimadores de fabricação própria e por conseqüência não existe um padrão característico. Normalmente as fundições possuem uma área estruturada para o aquecimento de panelas, situada próxima aos fornos, porém, em empresas de maior porte utiliza-se um prédio próprio junto ao setor de manutenção e revestimento de refratário. Nas visitas realizadas observou-se que nenhuma das empresas apresentou um sistema de exaustão e/ou preocupação adequada com aspectos ambientais do sistema de aquecimento de panelas. Foram constatadas certas precariedades no tocante a segurança, especialmente as mangueiras ficam exposta ao calor, com possibilidade de queima, vazamento e explosão, que coloca em risco o processo. Nenhuma das empresas possuía um sistema de regulação e controle de vazão, pressão e temperatura adequada de forma a permitir operações mais racionais, no quesito consumo de gás e ar/O<sub>2</sub> para o aquecimento das panelas. Normalmente operam com pressões normais da própria rede interna da empresa, que correspondem a cerca de 2 kgf/cm<sup>2</sup> para GN e 6 kgf/cm<sup>2</sup> para ar comprimido.

O módulo de aquecimento de panelas de fundição de médio porte desenvolvido trouxe as seguintes vantagens:

- economizar combustível (30%);
- trabalhar com um gás menos poluente (GN);
- oferecer maior segurança, por não expor as mangueiras de gás ao calor;
- reduzir o ruído e a dissipação térmica para o ambiente de trabalho; e
- aumentar a vida útil do revestimento da panela, por reduzir substancialmente a fadiga térmica.

### Agradecimento

À Sociesc pela realização deste estudo.

### REFERÊNCIAS

- 1 METALS HANDBOOK - Casting, Vol 15, 1998
- 2 PINHEIRO, P.C.C. O gás natural e sua utilização em equipamentos térmicos. Seminário de Gerenciamento Energético da Indústria Química e Petroquímica. SP. 12 – 13 de junho 1996.

- 3 HERMANN, MAX; PRETI, ORLANDO, Relatório Eficiência no Aquecimento de Panelas de Fundição a Gás Natural. Joinville, 2010.
- 4 INCROPÉRA, F. P.; DeVITT, D. P.. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 4º edição. LTC Editora S.A. Rio de Janeiro, 1998.