

# SISTEMA DE CONTROLE PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE CALOR NAS BATERIAS DE COQUE<sup>1</sup>

Leonardo Matsumota<sup>2</sup>  
Luiz Cláudio Costa<sup>3</sup>  
Nilson Magalhães Bueno<sup>4</sup>

## Resumo

Implantação de um sistema de controle do tempo de *coqueificação* que reduza o consumo de calor para as baterias de Coque 4 e 5 da Usina de Cubatão. Este sistema possui um modelo matemático que determina o tempo líquido de *coqueificação* através dos termopares instalados nos tubos de ascensão. Desta forma possibilita saber a relação da temperatura dos gases com o final da coqueificação e obter a redução de calor que implicará na economia anual de aproximadamente R\$ 1 milhão em compra de gás natural.

**Palavras chave:** coqueria; *coqueificação*; termopares; sistema de controle.

## CONTROL SYSTEM TO REDUCE CONSUMPTION OF GAS IN COKE BATTERIES

## Abstract

Implement a control system of the *coking* time to reduce the use of heat to the batteries of Coke Plant 4 and 5 from Cubatão city. This system has a mathematical model that determines the net *coking* time by the thermocouples installed in the tube rise. This form allows knowing the ratio of the gas temperature with the end of coking and get the heat reduction will involve in annual savings of approximately \$ 1 million in purchase of natural gas

**Key words:** coke; *coking*; thermocouples; control system.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 14º Seminário de Automação de Processos, 6 a 8 de outubro de 2010, Belo Horizonte, MG.

<sup>2</sup> Titulação: MBA. Empresa: Usiminas.

<sup>3</sup> Titulação: Mestrado. Empresa: Usiminas.

<sup>4</sup> Titulação: Especialização. Empresa: Usiminas.

## 1 INTRODUÇÃO

Numa siderúrgica, a área de redução é a unidade que mais agrega custo ao produto final e, portanto, é a área onde a redução de custos é mais efetiva para o resultado final da empresa. O coque, combustível permeabilizador e redutor do processo dos altos fornos é responsável por grande parte desse custo. Assim, quanto menor for o custo do coque e a quantidade utilizada nos altos fornos, menor será o custo final do gusa produzido. A redução da quantidade de coque nos altos fornos requer melhor qualidade que por sua vez requer maior custo. Desta forma, a redução do custo do coque torna-se um desafio que deve ser encarado tanto na escolha da matéria prima do coque quanto no seu custo de transformação. O presente trabalho apresenta uma solução para redução do custo de transformação do coque na Coqueria 2 da Usina 2 da Usiminas, mais especificamente da redução do combustível para o processo de coqueificação.

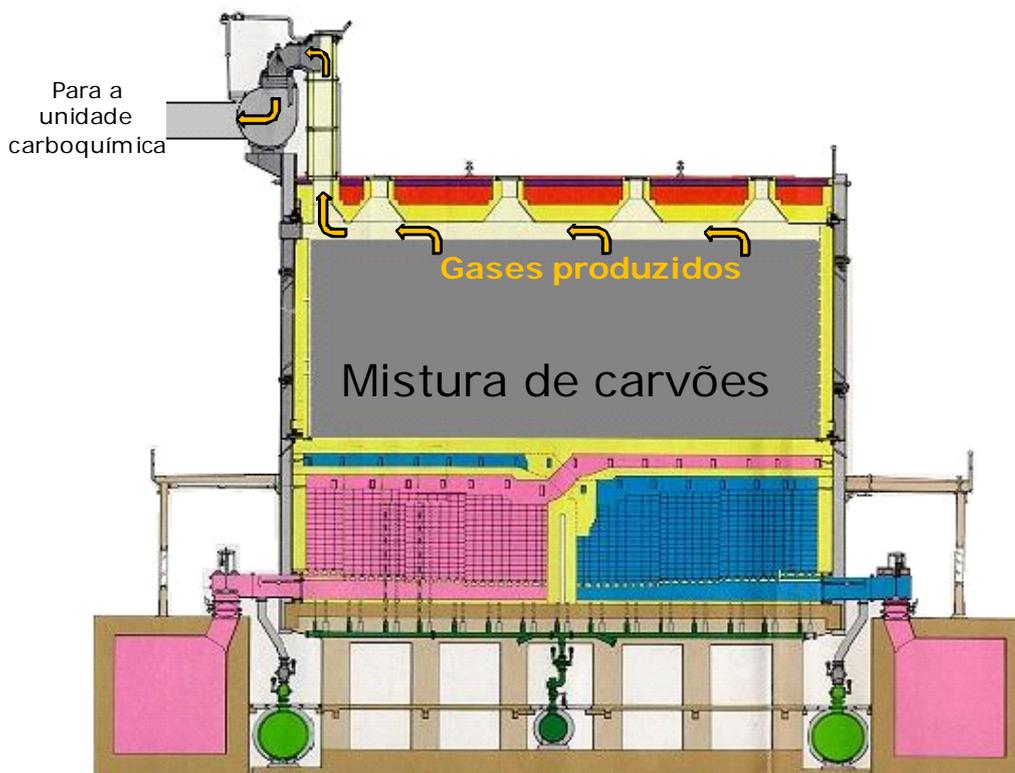
O processo de coqueificação consiste no aquecimento (na ausência de ar) de uma mistura de carvões, especialmente escolhidos para esse fim, que, ao final do processo se transforma em coque. Durante o processo há desprendimento de material volátil que é recolhido e tratado em uma unidade carboquímica. O aquecimento dos fornos, onde se processa a coqueificação, é feito por gases oriundos do próprio processo siderúrgico, no caso, o gás de alto forno e o próprio gás de coqueria depois de limpo. O consumo desses gases representa 50% do custo de transformação do coque e no caso da Usina 2 da Usiminas, uma redução do consumo desses gases reduz a compra de gás natural.

Em cada forno da coqueria, a coqueificação leva de 17 horas a 20 horas para terminar e produzir um coque com as características que atendem aos altos fornos. Esse tempo é dividido em tempo líquido de coqueificação e o tempo de supercoqueificação. O primeiro é o tempo gasto para o processo de coqueificação e o segundo é necessário para que toda a massa de coque formada tenha uma característica o mais homogênea possível e atinja os níveis exigidos pelos altos fornos. Atualmente, o tempo líquido de coqueificação é obtido pela inspeção individual dos fornos através da visualização dos gases gerados pelo processo. Se os gases estão esbranquiçados e com pouco volume, então o operador anota a hora que se atingiu essa situação do forno. Após cumprir o tempo de supercoqueificação estipulado, o forno é desenformado.

Como a visualização do final do processo de coqueificação é feito pela análise da coloração da fumaça pelo operador, esse tempo é influenciado pelo humor e experiência do observador. No caso de necessidade de produção, esse operador começa a enxergar tempo líquido mais cedo e no caso de problemas na retirada do coque (agarramento dentro do forno) ele já enxerga um tempo líquido de coqueificação mais tardio. Assim a precisão do método é precária. Um indicador mais preciso do final da coqueificação é feito através de medição da temperatura da massa enfiada por termopares. Quando a temperatura do centro da carga atinge uma temperatura próxima da massa que está encostada na parede do forno é porque se chegou ao final da coqueificação.

Mas essa medição de temperatura não pode ser feita no processo industrial. Ela somente é feita em fornos pilotos. Precisa-se, então, de um método que possa medir o final de coqueificação. Tanaka et alli <sup>1</sup>, mostraram que o gás produzido pelo processo de coqueificação sofre uma variação característica da sua temperatura momentos antes do tempo líquido de coqueificação. Essa variação pode ser captada por termopares instalados nas partes curvas do tubo de ascensão dos fornos. A

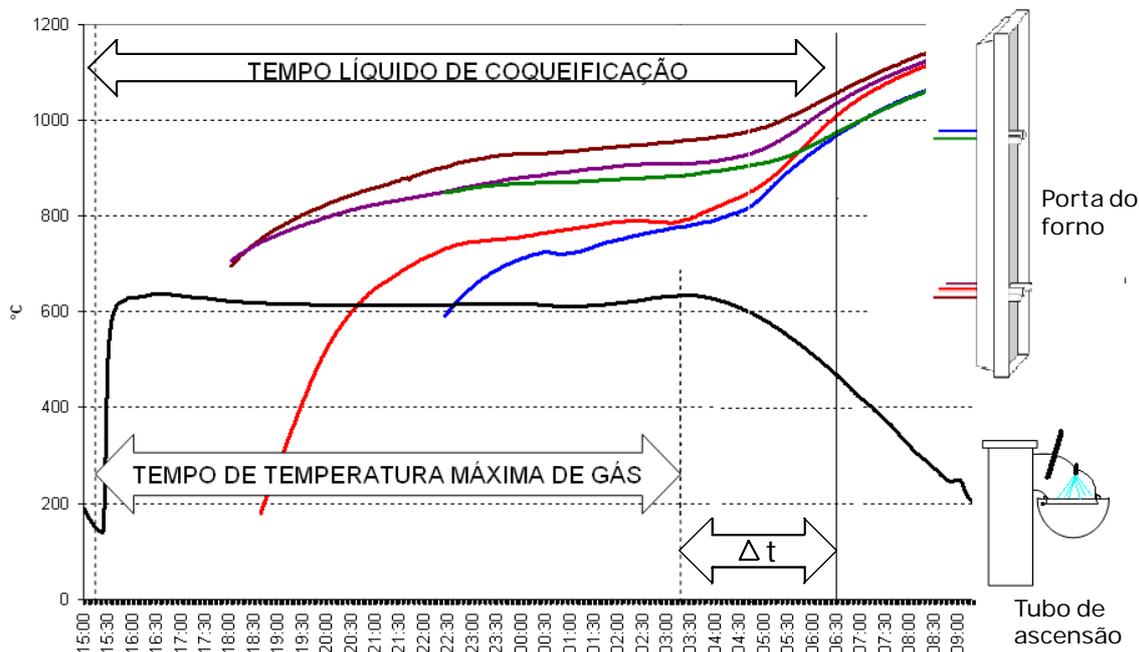
Figura 1 mostra um forno em corte com o tubo de ascensão e o coletor de gás por onde passa o gás gerado na coqueificação. O gráfico da Figura 2 apresenta o perfil da temperatura desse gás durante o processo de coqueificação. Esse gráfico apresenta também a temperatura da carga do forno, no caso, de um forno da bateria 5 da Coqueria 2 da Usina 2 da Usiminas. As temperaturas da carga foram obtidas através de termopares inseridos em furos na porta do forno. A dificuldade de conseguir que o termopar do furo do centro da porta, cujo poço tem 3 metros de comprimento é evidente no gráfico. Essa é uma das dificuldades de medir diretamente a carga do forno industrial, sem contar, o mais difícil que é a colocação e retirada desses termopares todas as vezes que o forno vai ser desenfundado.



**Figura 1** – Desenho esquemático de um forno de coqueria em corte recém enfundado mostrando o fluxo de gás produzido.

No caso dessa experiência, todos os termopares foram perdidos no momento de abrir o forno. Nesse mesmo forno foi colocado um termopar na parte curva do tubo coletor de gás bruto, o tubo de ascensão, de onde foram obtidos os dados da temperatura do gás do gráfico da Figura 2. Como relatado por Costa e Ramirez-Fernandez,<sup>(2)</sup> a determinação do tempo líquido de coqueificação é feita no ponto onde as curvas das temperaturas dos vários termopares da carga começam a ter uma mesma inclinação, ou seja, o processo de coqueificação, endotérmico, já terminou e a carga do forno começa a ter elevação de temperatura na mesma velocidade. Para transferir essa indicação para o gráfico da temperatura dos gases produzidos, é determinado o delta t, ou seja, o tempo entre o momento de temperatura máxima atingida pelos gases produzidos e o ponto de tempo líquido determinado pelos termopares da carga. Esse delta t é assumido como constante para todos os fornos e assim, através do ponto de temperatura máxima dos gases

que podemos chamar de  $t_{max}$ , é possível determinar o tempo líquido de coqueificação.



**Figura 2** – Gráfico de temperatura do gás e da mistura de carvão enfiada ao longo do tempo de coqueificação. Os desenhos da porta e do tubo de ascensão dão uma idéia do ponto de instalação dos termopares que efetuaram as medidas.<sup>(2)</sup>

Este trabalho apresenta uma metodologia de controle do tempo líquido de coqueificação através da temperatura dos gases gerados pelo processo. A sua abordagem mostra a forma de instalação, a metodologia de controle e os resultados iniciais do sistema instalado.

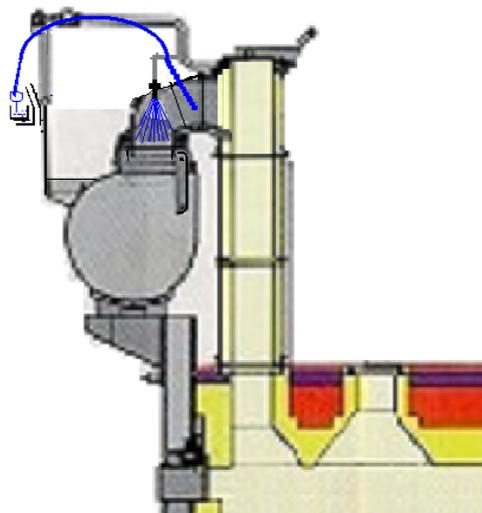
## 2 O PROJETO DE INSTALAÇÃO

A instalação de novos sistemas em equipamentos em operação, principalmente uma coqueria com mais de 30 anos de operação requer cuidados especiais tanto quanto para sua durabilidade e confiabilidade quanto para a facilidade de manutenção. Alguns critérios têm que ser levados em conta para atender a esses princípios. Na Figura 3 há uma ilustração do ponto de medição feita através de termopar. O local foi escolhido baseado nas premissas: que o ponto de medição não receba radiação das paredes do forno ou da massa enfiada; que esse ponto não receba respingo do chuveiro de resfriamento do gás também instalado na curva do tubo de ascensão; que ele não agregue muito resíduo ao longo do tempo.

Essas condições foram estudadas através de observação de vários fornos durante dois anos, onde foram inseridos alguns termopares em fornos aleatórios da coqueria. Assim determinou uma região mais adequada para a instalação do termopar. Outro critério levado em conta foi a facilidade de manutenção, pois, a agressividade da região exigirá constantes intervenções de troca de termopares, seja por contaminação, seja por queima de cabos devido a fogo de tubo de ascensão aberto ou por falta de água no sistema de selagem. E também a qualidade

do termopar mais adequado para essa medição foi levado em conta, numa relação de custo e benefício.

Dentro de todos esses critérios, o principal objetivo foi buscar uma maior robustez dos dados adquiridos, pois, a confiabilidade desses dados é que irão realmente propiciar a correta utilização desse sistema para controle de tempo líquido pelos operadores da planta. Sobre esses operadores pesa a responsabilidade de liberar o desenformamento de cada forno dentro de uma qualidade adequada e erros nessa deliberação geram conseqüências graves no processo da própria planta ou do processo seguinte, no caso, os altos fornos. Há relatos de sistemas semelhantes a este implantados em outras usinas que foram deixados de lado exatamente pela falta de confiabilidade ou o sistema é apenas uma referência do controle que continua sendo visual pelo operador.



**Figura 3** – Desenho esquemático da instalação dos termopares nos tubos de ascensão. O poço é toda parte curva até dentro do gooseneck, O cabo de extensão fica protegido dentro do bandejamento longe dos tubos de ascensão.

A Coqueria 2 possui duas baterias de 53 fornos cada com altura de 6 metros e volume útil de 36,37 m<sup>3</sup>. A produção anual é de 1,1 milhões de toneladas com um tempo total médio de coqueificação em torno de 17 horas e 30 minutos. Cada bateria tem dois coletores de gás bruto com 26 e 27 tubos de ascensão ligados a eles e um duto secundário (recolhedor) que encaminha o gás para a unidade carboquímica. A instalação dos termopares foi feita conforme desenho da Figura 3. O poço em curva facilita a troca sem que seja necessário aproximar da região quente do tubo de ascensão. O termopar tem isolamento mineral até chegar no bandejamento do lado externo do corrimão do coletor, ficando longe do calor do fogo de um tubo de ascensão aberto. O cabo de extensão de cada termopar é encaminhado num bandejamento com isolamento térmico até o tubo secundário onde tem uma caixa de junção e desse ponto, um multicabo liga essa caixa de junção com o CLP, localizado na torre de carvão. Assim, são 106 termopares encaminhados por cabo de extensão até 4 caixas de junção de onde saem 4 multicabos de extensão até o CLP e deste CLP sai uma fibra ótica até o sistema supervisório na sala de controle central.

O CLP (controlador lógico programável) adotado no projeto de fornecimento da Altus é constituído em seu barramento de uma CPU AL2003 e dois cartões de comunicação: AL3145 (*Ethernet*) e AL3406 (*Profibus*). Para o barramento *Profibus*,

foram distribuídos em duas régua, sendo a primeira para atender os 53 termopares dos fornos da Bateria 4 e a segunda voltada aos 53 termopares dos fornos da Bateria 5. Cada régua (barramento) possui em seu I/O (Entrada/Saída) um *Profibus Head* (PO5063) e oito cartões de entrada analógica (PO1112 8AI) com oito pontos (*analogic input*) cada um. Por fim, o CLP na sua configuração de tempo de varredura de todas as variáveis (*scan*) possui autonomia para atender as requisições feitas pelo sistema supervisorio. A Figura 4 ilustra a arquitetura do sistema de supervisão:

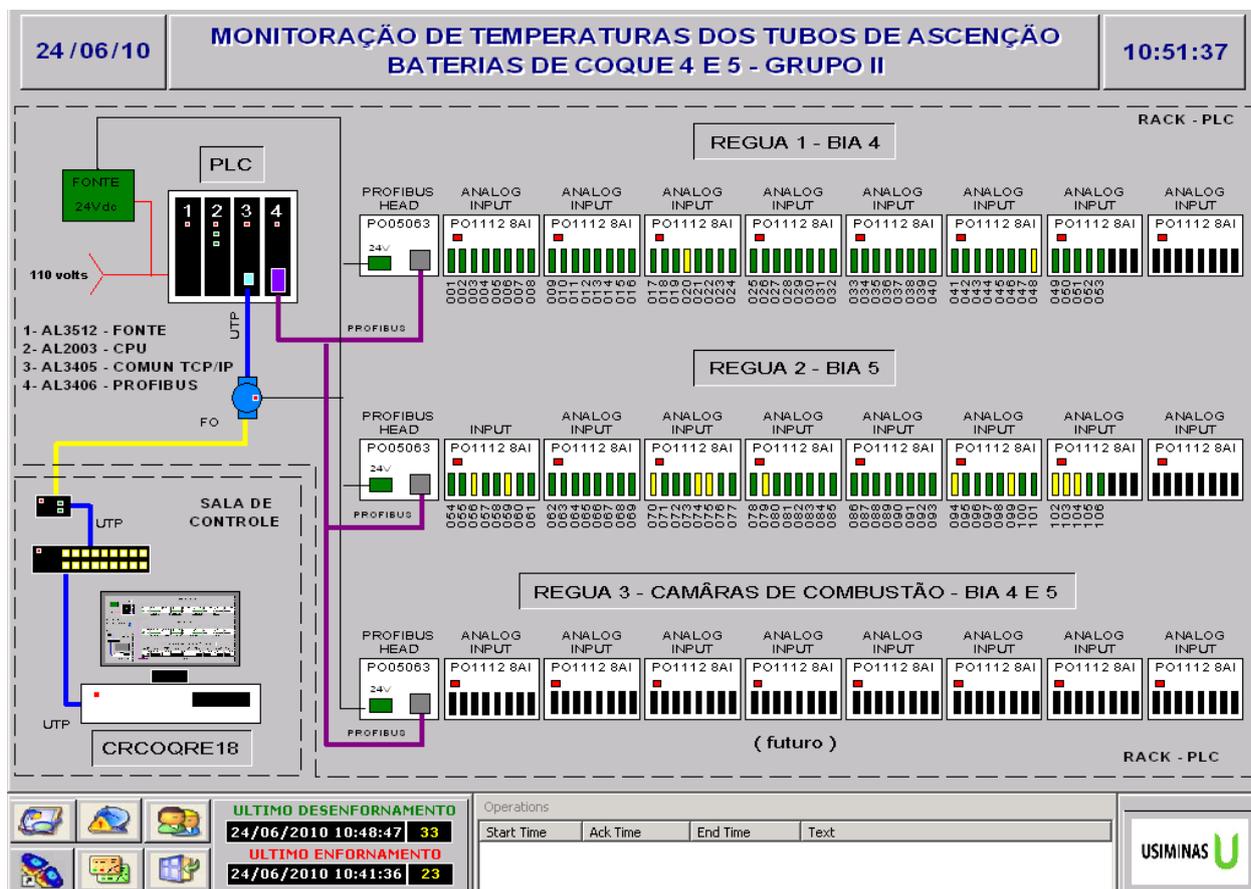


Figura 4 – Monitoração de temperaturas dos tubos de ascensão – Baterias de Coque 4 e 5.

Em relação ao sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Aquisition*), foi utilizado o *Wizcon 9.4* que possui driver de comunicação *Ethernet* com o CLP e interface de comunicação com banco de dados relacional. Neste ponto, são configuradas as TAGs para relacionar os endereços de memória do CLP com as indicações apresentadas em *interface* gráfica, e parâmetros de aquisição para capacitar o sistema a consultar as temperaturas presentes em todos os termopares. Para atender o projeto, foi necessário desenvolver uma rotina de aquisição dos dados, onde o supervisorio, através desta comunicação mencionada com o CLP, faz a leitura das temperaturas presentes em cada termopar em função do tempo, com uma taxa de aquisição a cada minuto (60 segundos). Logo após, as informações são armazenadas no banco de dados *Oracle*, onde o modelo matemático desenvolvido em *C#* (*Dot Net*) trabalha com os dados para determinação do tempo líquido de coqueificação de cada forno.

### 3 O TRATAMENTO DOS DADOS

A determinação do tempo líquido de coqueificação depende da seqüência de eventos que são estabelecidas no sistema de nível 2 da Coqueria. O ponto inicial do tratamento dos dados é a identificação da data de enforamento que é capturada pelo evento de “forno nivelado”, operação realizada pelas Máquinas Desenforadoras.

Após o evento de “forno nivelado”, o modelo matemático determina outro ponto importante: a temperatura média dos fornos, registrada entre 6 e 8 horas após o enforamento (período de estabilidade no processo, onde há pouca variação na temperatura do gás). A média é calculada para definir a data de ocorrência da primeira temperatura abaixo desta média e definir assim o ponto máximo de procura da Temperatura Máxima (TMax). A Temperatura Máxima (TMax) é então procurada no intervalo entre 11 horas após o enforamento e a data da primeira temperatura abaixo da média. Com a temperatura máxima definida, calcula-se o tempo líquido de coqueificação. Esses pontos de eventos de tempo foram determinados para um tempo líquido previsto entre 16 horas e 20 horas. A utilização desses pontos é para facilitar a procura da temperatura máxima do gás durante a coqueificação. O método evita que variações anormais de medição ou mesmo do processo interfiram na determinação da temperatura máxima.

Com o algoritmo utilizado dentro das premissas acima, houve um acerto de 95% das medidas num primeiro momento, sendo que os dados incorretos foram fruto de erros de medição, seja por mal contato dos termopares ou por defeito dos mesmos. Após a troca dos termopares defeituosos e acerto da instalação houve melhora nos resultados.

### 4 DISCUSSÃO

Segundo os dados obtidos por Lia<sup>(3)</sup> em seu modelo matemático, o tempo líquido de coqueificação depende também da umidade da mistura de carvões e da porosidade do meio e os valores obtidos por sua equação foram 12% menores, em média, em relação aos valores medidos nos experimentos do forno piloto. O valor da porosidade utilizada foi baseado em uma equação utilizada por Lia, a partir da densidade aparente. Não foi encontrado um motivo claro porque o fator umidade não afetou o tempo líquido de coqueificação. Uma hipótese é o fato de o forno ter controle para manter a temperatura da parede constante, mantendo, assim, a velocidade da frente de coqueificação e conseqüentemente, o tempo líquido, consumindo-se mais energia. No processo industrial, o fluxo de calor é constante ao longo do processo de coqueificação e, nesse caso, uma variação da umidade pode afetar o tempo líquido de coqueificação.

Resolvido o problema da medição do tempo líquido de coqueificação para o forno industrial, resta equacionar a medição do consumo de calor. Teoricamente, todas as paredes de uma bateria recebem uma mesma quantidade de fluxo térmico, mas devido às obstruções dos regeneradores e dutos, há sempre diferenças entre elas. Como a medida de fluxo é feita para a bateria toda, não é possível saber, com boa precisão, qual é o fluxo de calor que cada parede recebe. No caso de um projeto de experimentos com o forno industrial, esse fluxo de calor deverá ser estimado. Outra diferença do consumo de calor entre o forno piloto e o forno industrial que precisa ser levada em conta é que, no forno piloto, o fluxo de calor não é constante, ele varia de acordo com a necessidade de manter a temperatura da

parede. Já no forno industrial o fluxo térmico é constante e a temperatura da parede é que varia ao longo do tempo de coqueificação. Essa é uma diferença que deverá ser levada em conta na interpretação dos dados e na comparação com os resultados do forno piloto.

## 5 CONCLUSÃO

O sistema utilizado na determinação do tempo líquido de coqueificação atendeu aos objetivos do projeto em estabelecer o momento da temperatura máxima do gás bruto ( $t_{max}$ ) do tempo de coqueificação. O valor do tempo líquido será determinado pela comparação inicial dos tempos observados visualmente e o de  $t_{max}$ , obtendo-se uma constante. Com essa constante os novos valores de tempo líquido serão função de  $T_{max}$ .

## Agradecimentos

Equipes de automação, instrumentação e elétrica da Usiminas.

## REFERÊNCIAS

- 1 SADAKI, J.; TANAKA, K.; NAGANUMA, Y. Automatic coking control system. In: IEEE CONFERENCE ON CONTROL APPLICATIONS, 2. Vancouver, Proceedings. Vancouver: IEEE, 1993. v. 2, p.531-538.
- 2 COSTA, Luiz Cláudio; RAMIREZ-FERNANDEZ, Francisco Javier. Parameters fo the cokemaking process control. In: III International Meeting on Ironmaking, 2008, São Luiz - MA. Annals 3rd International Meeting on Ironmaking. São Paulo : ABM.
- 3 LIA, L. R. B. Modelo matemático unidimensional do processo de coqueificação. 1987. 173p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1987.