

OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE GÁS NO AQUECIMENTO DE DISPOSITIVOS REFRAATÓRIOS ATRAVÉS DO CONTROLE ESTEQUIOMÉTRICO NA COMPANHIA SIDERÚRGICA DO PECÉM

¹Charlie Denis Cordeiro Silva
²Marcos Daniel Gouveia Filho

Resumo

A necessidade de adequação dos equipamentos de secagem e aquecimento de materiais refratários devido a substituição do fornecimento de gás natural sintético (GNS) pelo gás natural (GN), de menor preço, na planta de lingotamento contínuo da Companhia Siderúrgica de Pecém, possibilitou ganhos adicionais advindos do aumento da eficiência na queima, por meio de um controle das vazões do combustível e do comburente baseado na correta relação estequiométrica.

A preparação e os testes foram feitos previamente em um secador de distribuidores e depois as modificações foram estendidas aos dois aquecedores de distribuidores, todos eles com consumo de 37 m³/h gás e poder calorífico de 57.3 MJ/m³.

A análise dos resultados no consumo de gás, decorrente desta modificação foi de 20% nos aquecedores e de 40 % para o secador de distribuidores. O volume mensal de gás economizado foi de 6364,5 m³ para o Secador, 23040 m³ para o aquecedor 1 e de 14190 m³ para o aquecedor 2.

Palavras-chave: Estequiometria; Controle de processos; Gás Natural; Lingotamento Contínuo.

OPTIMIZATION OF THE CONSUMPTION OF NATURAL GAS IN THE REFRACTORY HEATING DEVICES THROUGH THE STOICHIOMETRIC CONTROL AT THE PECÉM STEEL COMPANY

Abstract

Due the necessity to adapt the Tundish Dryer and Tundish Pre-Heater devices during the substitution of the Synthetic Natural Gas supplying for the Natural Gas, which is cheaper, at the continuous casting plant of Companhia Siderúrgica de Pecém, have brought additional gains through the increase in burning efficiency, by means of flow control of the fuel and of the oxidizer based on the best stoichiometric ratio.

All the preparation and tests were previously done in a Tundish Dryer, afterward these modifications were extended to the two Tundish Pre-heaters, all of them with gas consumption of 37 m³/h and a heating power of 57.3 MJ/m³.

The reducing at the gas consumption resulting from this modification was 20% at the Tundish Pre-heaters and 40% at the Tundish Dryer. The monthly volume of gas saved was 6364.5 m³ for the Tundish Dryer, 23040 m³ for the Tundish Pre-heater 1 and 14190 m³ for Tundish Pre-heater 2.

Keywords: Stoichiometric; Process control; Natural gas; Continuous Casting.

¹ Engenheiro Eletricista, Especialista em Controle de Processos, Especialista em Manutenção Elétrica Lingotamento Contínuo, Manutenção, Companhia Siderúrgica do Pecém, São Gonçalo do Amarante, Ceará Brasil.

² *Mestre em Engenharia e Ciência de Materiais, Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processo de Lingotamento Contínuo, Unidade Técnica, Companhia Siderúrgica do Pecém, São Gonçalo do Amarante, Ceará Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O fomento da competitividade nas indústrias de commodities é fator fundamental para a sobrevivência e liderança dessas empresas neste mercado.

No setor siderúrgico, onde se utilizam diversos insumos para a produção de aço, o aumento da margem de lucro frequentemente é obtido através da redução dos custos de produção por meio da otimização dos processos.

Alinhado a essa estratégia, este trabalho tem por objetivo apresentar as modificações efetuadas no sistema de controle dos equipamentos utilizados na secagem e aquecimento dos materiais refratários que fazem o isolamento térmico dos distribuidores de aço empregados no processo de lingotamento contínuo que resultaram no aumento da eficiência nos ciclos de aquecimentos, por meio do emprego de um controle de vazões do combustível e do comburente baseado na correta relação estequiométrica entre eles.

A estequiometria estuda o balanço da equação química de combustão completa. A combustão completa é a queima de um hidrocarboneto gerando somente CO₂ e H₂O. A combustão industrial adota o conceito dos gases ideais para formulação teórica dos parâmetros de processo, admitindo que a fração molar do gás é igual a sua fração volumétrica. Na utilização de ar atmosférico como oxidante adota-se como conceito de eficiência na combustão um resultado de composição química da mistura gasosa após queima de aproximadamente 12%CO₂, 2%O₂ e 0,003%CO. Para isso, utiliza-se uma mistura rica em oxidante na ordem de 5 a 10% em excesso.

2.1 Descrição do sistema de secagem e aquecimento de distribuidores

Conforme a Figura 1, o lingotamento contínuo, é a etapa do processo siderúrgico responsável pela transformação do aço líquido em placas solidificadas, tendo em sua etapa inicial diversos equipamentos que, por estarem em contato direto com o aço líquido em temperaturas próximas à 1600 °C, precisam estar envoltos em material refratário, livre de qualquer umidade que possa ocasionar reações indesejadas durante o processo.

Dentre estes equipamentos que utilizam materiais refratários, o distribuidor de aço, demonstrado na Figura 2, é um dos mais importantes no processo. Sua função é assegurar uma vazão constante do aço líquido ao molde, independentemente do nível na panela de lingotamento e proporcionar uma distribuição equilibrada dentre os veios Araújo [2].

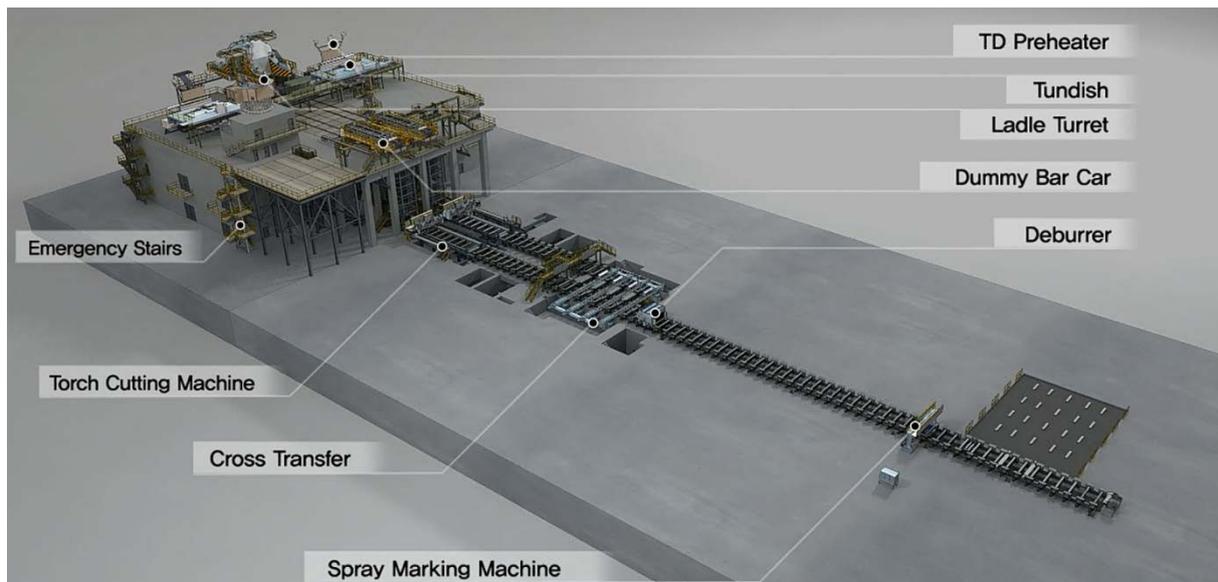


Figura 1. Principais equipamentos que compõem a máquina de lingotamento contínuo.

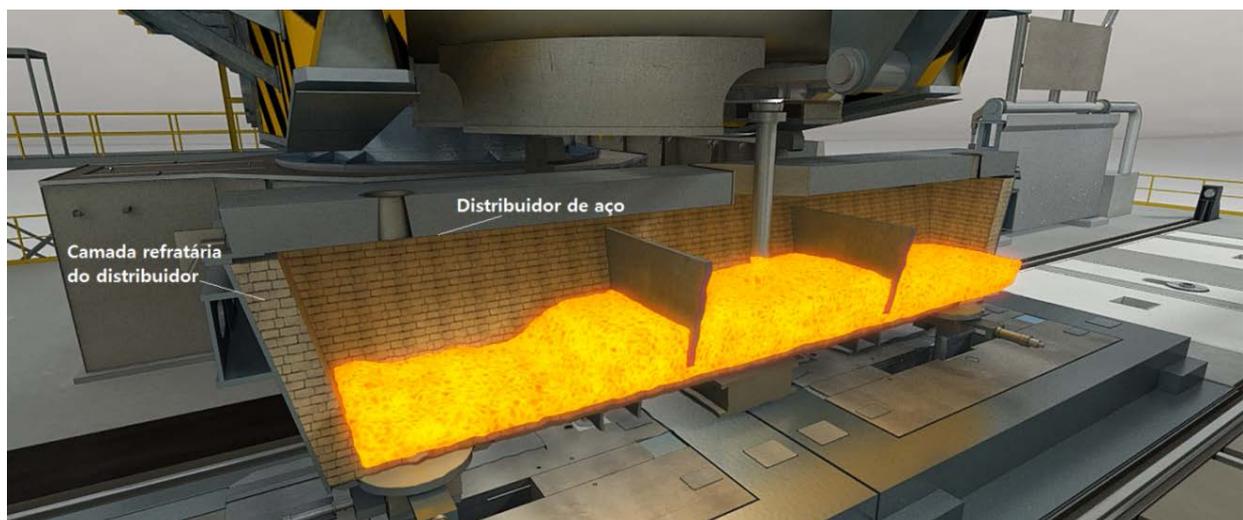


Figura 2. Representação em corte de um distribuidor de aço líquido

A adequação dos distribuidores às premissas de temperatura e umidade do seu preenchimento refratário é assegurado em duas etapas que antecedem o seu uso na máquina de lingotamento, sendo eles:

- Retirada de umidade no Secador do Distribuidor, onde ocorre o aquecimento em ciclos controlados até 550 °C;
- Aquecimento no pré-aquecedor do Distribuidor, onde ocorre o aquecimento em ciclos controlados até 1100 °C

Em todas estas duas etapas, o combustível utilizado é o gás sintético ou o gás natural, cuja queima produz a quantidade de energia térmica necessária para a adequação do refratário ao processo. Na Figura3 é mostrado uma foto de um secador utilizado na oficina de distribuidores da CSP.



Figura 3. Foto de um secador de distribuidores em fase de aquecimento

O fornecimento de ar é feito por um soprador de 7,5 kW, 35 Nm³/h submetidos à pressão de 5,0 – 7,0 kPa cuja vazão é controlada por uma válvula proporcional pneumática tipo borboleta.

A tubulação de gás, natural ou sintético, trabalha sob uma pressão de 5,0 – 8,7 kPa, 37 Nm³/h, controlada por uma válvula proporcional pneumática tipo globo.

Cada um dos 03 queimadores produz 500.00 kcal/h [3]

Um CLP (Controlador Lógico Programável) da família Siemens, modelo S7-300 trabalha em conjunto com um controlador dedicado de temperatura modelo KP 1000 para monitorar as vazões de ar e gás que são mensuradas por meio de transmissores de vazão.

Estes controladores modulam a abertura das válvulas proporcionais de acordo com valores de set-point definidos para possibilitar o aquecimento dos distribuidores

2.2 Descrição do novo algoritmo de controle dos secadores e aquecedores dos distribuidores

Em automação de processos industriais, uma estratégia de controle muito utilizada é o controle por malha-fechada (CMC), nele informações sobre como a saída de controle está evoluindo são utilizadas para determinar o sinal de correção que deve ser aplicado ao processo em um instante específico. Isto é feito a partir de uma realimentação da saída para a entrada. A Figura 4 mostra o diagrama básico de um sistema de controle em malha-fechada Silva [4].

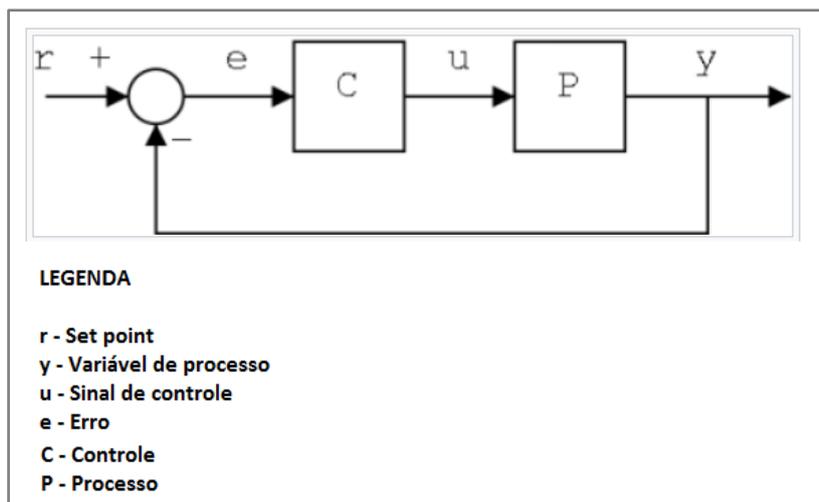


Figura 4. Diagrama de um sistema em malha-fechada

O controle em malha-fechada serviu como base para os sistemas de secagem e aquecimento a gás utilizados neste projeto.

Na Figura 5 é demonstrado o diagrama P&I (Piping and Instrumentation) do sistema de controle objeto de estudo deste trabalho, onde podemos destacar:

- Y_{gas} - Variável de processo vazão de gás
- Y_{ar} - Variável de processo vazão de ar
- R_{gas} - Set point de gás
- R_{ar} - Set point de ar
- U_{gas} - Sinal de controle para a válvula proporcional de gás
- U_{ar} - Sinal de controle para a válvula proporcional de ar

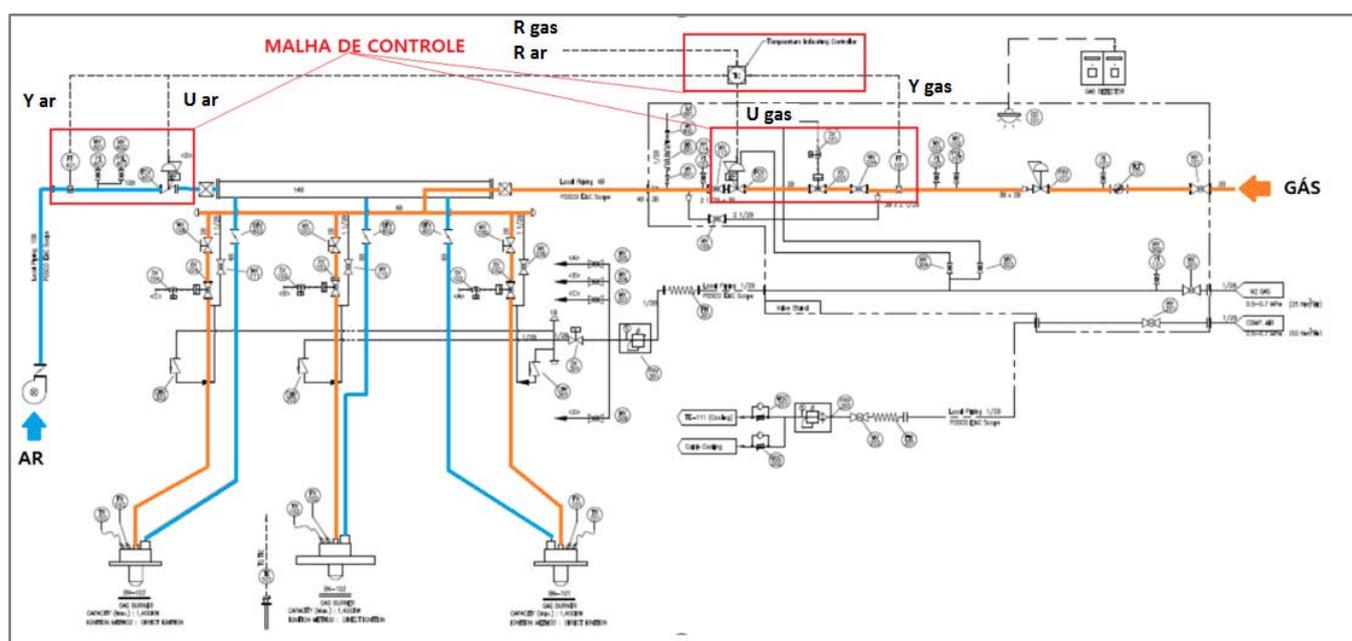


Figura 5. Diagrama P&I de um aquecedor de distribuidor

O programa que é executado nos controladores dos sistemas de secagem e aquecimento baseia-se em 03 CMCs, sendo um para o controle da vazão do gás, outro para a vazão de ar e o terceiro, cujo controle depende dos dois anteriores, para a temperatura dos distribuidores.

O sistema de controle anteriormente utilizado também era composto por três CMCs, porém a malha-fechada de vazão de ar obedecia à valores fixos de set point para diferentes faixas de vazão de gás ao longo da curva de aquecimento, conforme Tabela 1.

Tal modelo de controle mostrou-se inviável para processos suscetíveis à necessidade de flexibilidade no fornecimento do tipo de gás combustível, pois toda a lógica de ajuste do set point da vazão de ar teria que ser alterada e obtida novamente de forma empírica, através de um novo comissionamento, além disso, análises anteriores evidenciaram a baixa eficiência da queima, com elevadas quantidades de comburente.

Partindo dessas premissas, um novo algoritmo baseado na estequiometria do combustível utilizado na queima foi incorporado ao programa de controle, eliminando as faixas fixas que relacionavam o set-point de vazão de ar às diferentes faixas de vazão de gás, conforme a Figura 6, permitindo assim que futuras alterações no tipo de combustível utilizado somente necessitassem alterar alguns poucos parâmetros relacionados à razão combustível / comburente.

Tabela 1 –Correlação de vazões de gás e ar do programa de controle anterior

Faixa de vazão de gás (m3/h)					Set point de vazão de ar (m3/h)	
0	≤	Vazão	≤	30	→	3000
30	≤	Vazão	≤	50	→	3200
50	≤	Vazão	≤	100	→	3350
100	≤	Vazão	≤	130	→	3500
130	≤	Vazão	≤	150	→	3650
150	≤	Vazão	≤	180	→	3800
180	≤	Vazão	≤	210	→	3950
210	≤	Vazão	≤	240	→	4100
240	≤	Vazão	≤	270	→	4150
270	≤	Vazão	≤	330	→	4200
330	≤	Vazão	≤	350	→	4250

Para o desenvolvimento do novo sistema de controle, todos os CMC foram mantidos no CLP existente, porém as instruções de controle baseada em valores fixos que correlacionavam r_{ar} com r_{terg} foram retirados do programa. No lugar foram introduzidas equações, conforme demonstrado nas Equações 1 e 2, definidas de acordo com a estequiometria do gás para se definir os novos valores de set-point de vazão de ar.

Com estas alterações, o diagrama de controle em malha-fechadas para o controle de aquecimento ficou representado conforme a Figura 6, sendo que AL executa a versão digitalizada das (Equações 1 e 2).

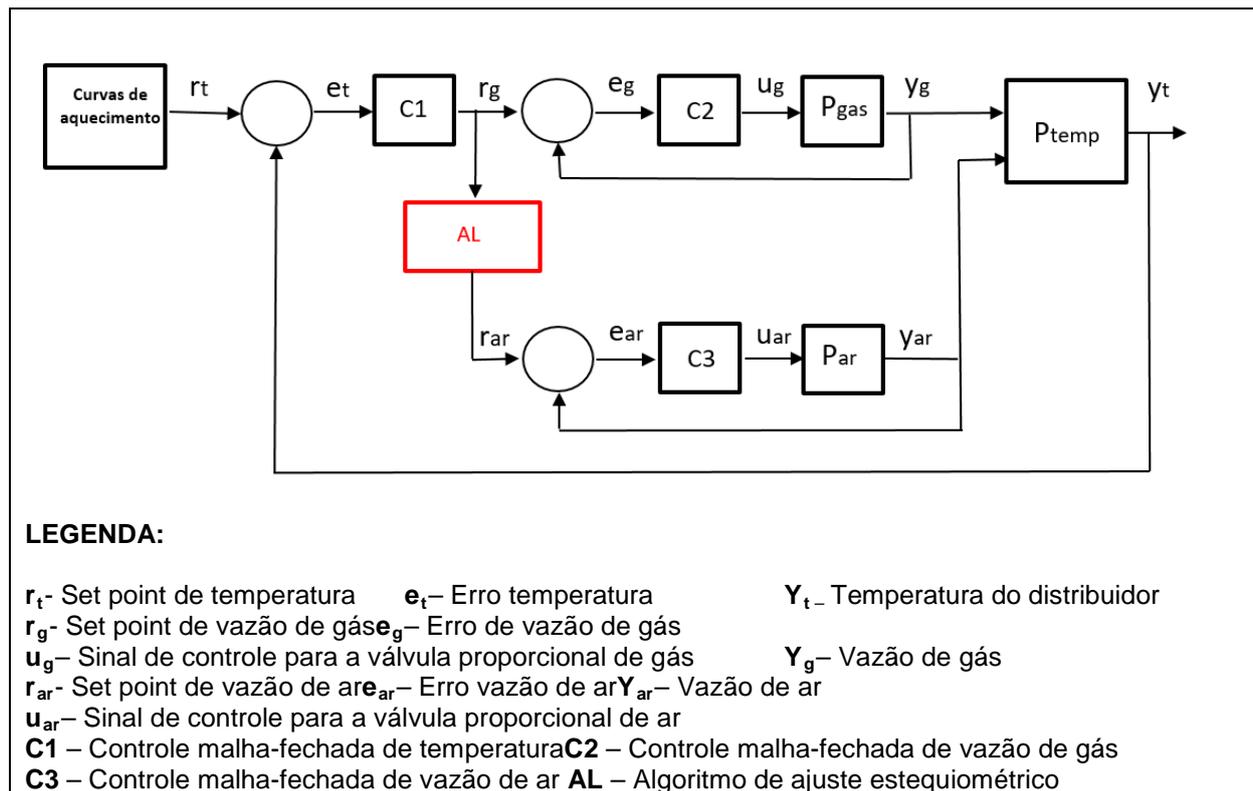


Figura 6. Diagrama do sistema de controle dos secadores e aquecedores dos distribuidores

O algoritmo de ajuste estequiométrico foi baseado nas (Equações 1 e 2)

$$SE Y_t \leq 150C \rightarrow r_{ar} = Y_g \times EST_{GN1}. (1)$$

$$SE Y_t > 150C \rightarrow r_{ar} = Y_g \times EST_{GN2}. (2)$$

Onde:

r_{ar} - Set point de vazão de ar Y_g - Vazão de gás
 EST_{GN1} - Relação estequiométrica utilizada para o passo de secagem 1, igual a 20
 EST_{GN2} - Relação estequiométrica utilizada para o passo de secagem 2, igual a 14

Ao estabelecer um melhor controle da mistura combustível e comburente seguindo a adequada relação estequiométrica do gás utilizado, menor volume de gás é necessário para se atingir a temperatura desejada. Numa mistura onde a relação estequiométrica é maior que a correta, o excesso de comburente age no sentido de resfriar o distribuidor, dessa forma mais tempo e energia são necessários para se atingir o set-point de temperatura desejado, e conseqüentemente, maior volume de combustível é necessário.

3. RESULTADOS

3.1 Método de armazenamento e coleta dos dados dos ciclos de secagem e aquecimento dos distribuidores

Para se avaliar os ganhos de eficiência e comparar os resultados entre os dois métodos de controle de secagem e aquecimento dos distribuidores, foi necessário a instalação de um sistema para armazenar os dados referentes à vazão do gás, do ar e da temperatura do distribuidor nos vários ciclos de utilização do sistema.

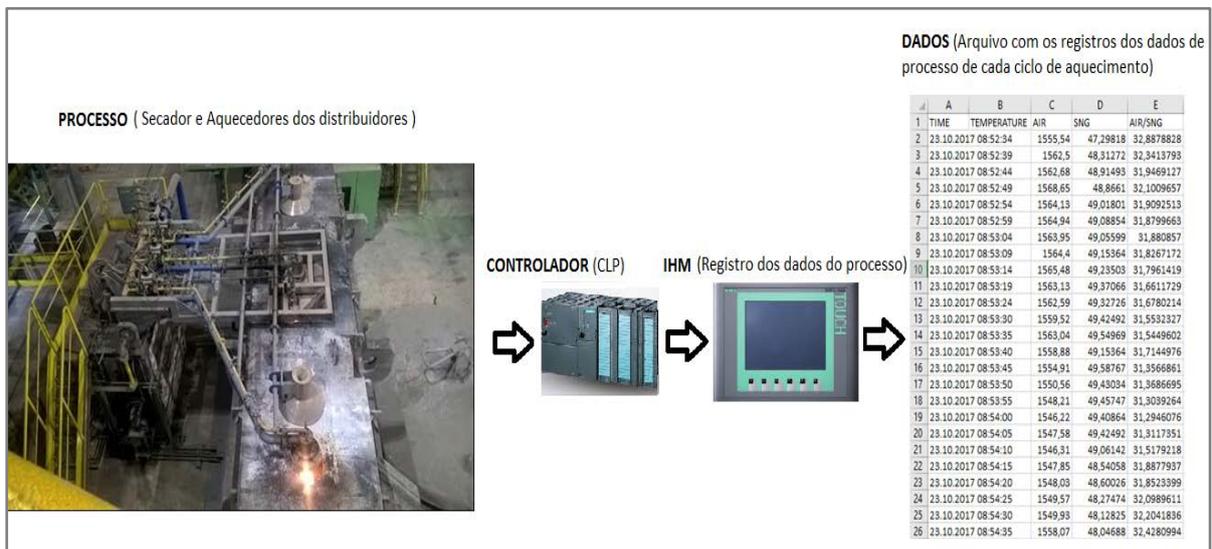


Figura 7. Representação simplificada da arquitetura do sistema de automação

O equipamento escolhido foi um painel de Interface Homem-Máquina – IHM modelo KP 400, interligado à um Controlador Lógico Programável – CLP via rede de campo Profibus DP. O CLP, responsável pela execução de todas as funções de controle do secador já era existente no equipamento.

A Figura 7 representa a arquitetura do sistema de controle, supervisão e histórico de dados do secador de distribuidores.

Neste sistema de IHM interligado ao PLC foram acumuladas as variáveis do processo, sendo amostradas a cada ciclo de 5 segundos, permitindo o levantamento das curvas de vazão e aquecimento, bem como o cálculo do volume de combustível e comburente consumidos em cada ciclo pela integração da vazão.

A sequência dos ciclos de testes para a obtenção dos dados de volume consumido durante as etapas de aquecimento dos distribuidores é demonstrada na Figura 8



Figura 8. Etapas do método de coleta dos dados dos ciclos de aquecimento.

3.2 Análise dos dados dos ciclos de secagem e aquecimento dos distribuidores

Os dados foram analisados comparando-se os resultados obtidos para dois ciclos de secagem de um mesmo distribuidor, considerando a mesma temperatura inicial, porém em cada ciclo foram utilizadas versões diferentes do programa do controlador, sendo um ciclo com a versão antiga e outra com o novo algoritmo que mantém a relação estequiométrica entre o combustível e o comburente dentro de valores pré-definidos.

A Figura 9 compara a curva de aquecimento entre os dois métodos, sendo que no método novo as temperaturas objetivadas foram atingidas mais rapidamente.

A Figura 10 compara as vazões de SNG para os dois métodos. O volume total obtido com o novo algoritmo de controle foi 40,2 % menor que o método antigo.

As Figuras 11 e 12 evidenciam a grande diferença entre a razão combustível e comburente existente nos dois métodos, sendo que no novo método a relação é mantida conforme programado

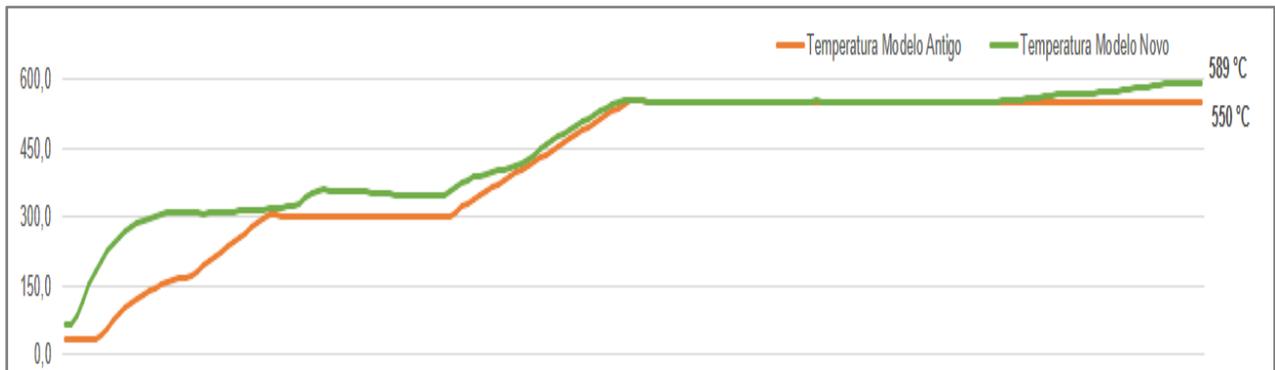


Figura 9. Curvas de aquecimento para os dois sistemas de controle - 25/10/2017

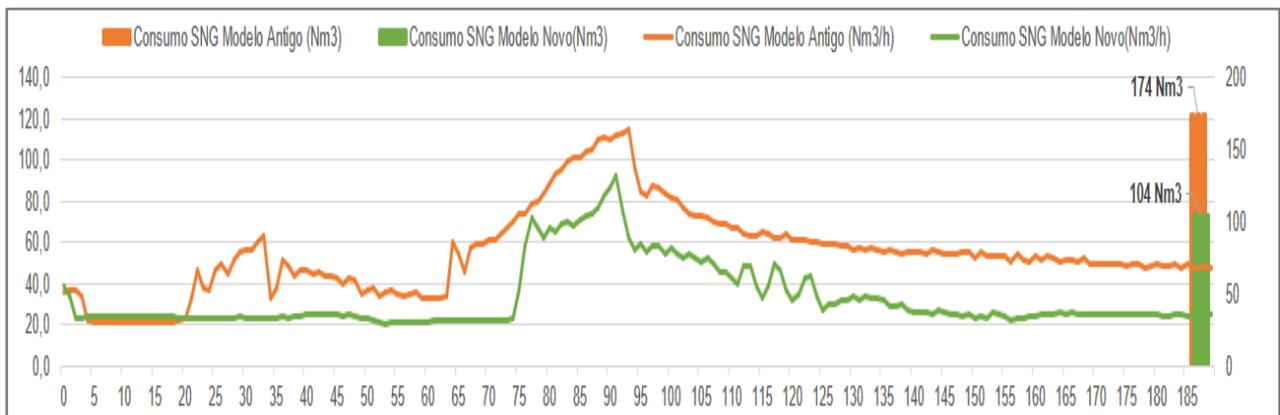


Figura 10. Curvas de aquecimento para os dois sistemas de controle - 25/10/2017

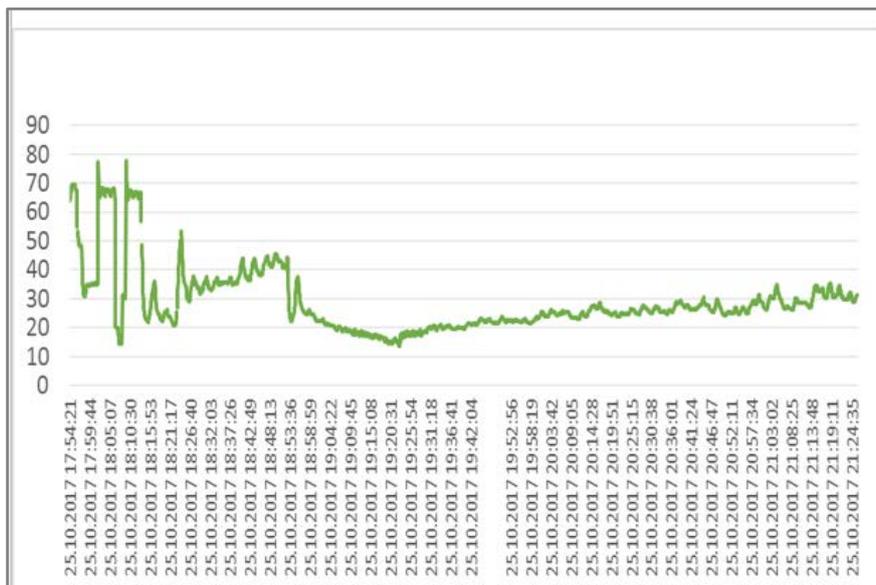


Figura 11. Curva da relação gás e ar para o método de controle antigo - 25/10/2017

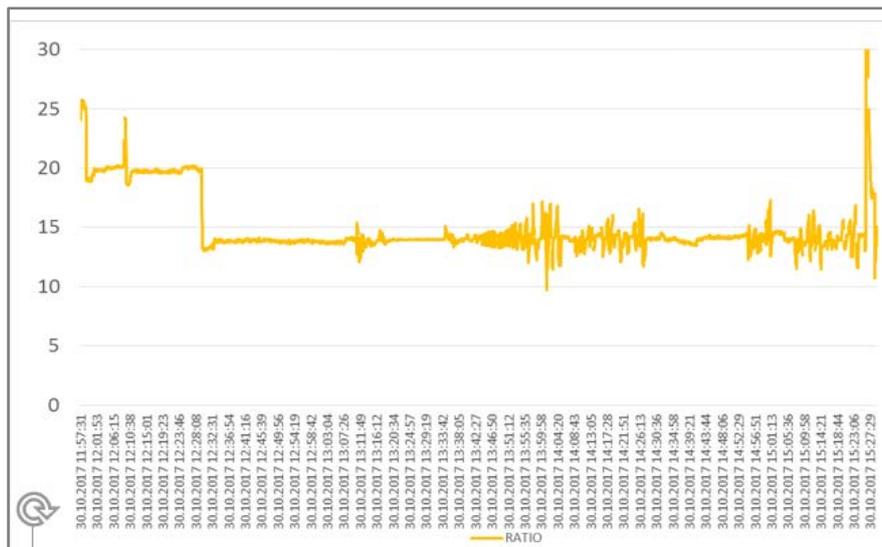


Figura 12. Curva da relação gás e ar para o método de controle novo - 30/10/2017

A Tabela 2 compara quantitativamente os dois métodos e evidencia a redução de custos para cada ciclo de secagem dos distribuidores

Tabela 2 – Resultados quantitativos dos testes

Item	Controle Antigo	Controle Novo
Primeiro Patamar (60 - 300 °C)	34 min	15 min
Segundo Patamar (300 - 550 °C)	92 min	89 min
Tempo Total de Secagem	190 min	190 min
Temperatura Média / Final	419 / 550 °C	455 / 589 °C
Consumo Total de SNG (Nm ³)	174	104
Custo da Operação (R\$)	831,72	497,12

*Preço considerado do SNG = 4,78 R\$/Nm³.

3 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os resultados obtidos através de um novo algoritmo de controle de queima dos gases nos equipamentos de secagem e aquecimento dos distribuidores de aço líquido na planta de lingotamento contínuo na Companhia Siderúrgica do Pecém, em São Gonçalo do Amarante, Ceará.

A necessidade de adequar estes equipamentos para a utilização de um novo tipo de gás, (do GNS para o GN) possibilitou identificar as deficiências existentes no ajuste da mistura combustível e comburente nos equipamentos instalados, de forma a instigar a busca de um algoritmo de controle mais flexível, no tocante à facilidade de adequação dos equipamentos às futuras alterações dos tipos de gases combustíveis.

A solução encontrada, baseada no ajuste do set point de vazão do comburente, ar, conforme a relação estequiométrica do combustível se mostrou muito adequada, possibilitando a flexibilidade necessária para efetuar os ajustes diante da troca do tipo de gás, trazendo a vantagem adicional da economia de combustível, decorrente da queima sem excesso de ar. Este excesso, gerado no algoritmo anterior,

ocasionava resfriamento dos distribuidores, portanto maior volume de gás era necessário em cada ciclo de aquecimento.

As alterações efetuadas nos programa de controle não geraram custos adicionais e permitiram a transição entre os dois tipos de gases sem a necessidade de perda de produtividade em função de ajustes complexos no controle.

A economia obtida também foi observada após a transição para gás natural, mesmo este tendo poder calorífico inferior ao gás natural sintético

REFERÊNCIAS

1. PULKRABEK, Willard W. Engineering fundamentals of the internal combustion engine. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004.
2. ARAUJO, Luiz Antonio de. Manual de Siderurgia. São Paulo; Editora Arte & Ciência; 1997
3. POSCO E&C Steel Plant Project – Operation & Maintenance Manual. Doc. N°:CSP-1-CA-227-EZ610-00001
4. SILVA, Joao Manoel Gomes da - 2000-04-03 [acesso em 28 abr.2018] Disponível em:<http://www.ece.ufrgs.br/~jmgomes/pid/Apostila/apostila/node6.html>