



IBP30200

CONVERSÃO DE FORNOS CERÂMICOS PARA GÁS NATURAL – A EXPERIÊNCIA DO CTGÁS NO RIO GRANDE DO NORTE

Judas Tadeu da C. F. Neri,¹ Wellington P. da Silva,²
Zanoni T. S. dos Santos³ e Gilson G. de Medeiros⁴

Copyright 2000, Brazilian Petroleum Institute - IBP

This paper was prepared for presentation at the Rio Oil & Gas Conference held in Rio de Janeiro, Brazil, 16-19 October, 2000. This paper was selected for presentation by the Event Technical Committee following review of information contained in an abstract submitted by the author(s). Contents of the paper, as presented, have not been reviewed by the IBP. *Organizers will neither translate nor correct texts received.* The material, as presented, does not necessarily reflect any position of the Brazilian Petroleum Institute, its officers, or members.

Abstract

Structural red ceramics is produced in Rio Grande do Norte state by traditional processes, using wood as main energy source. Indiscriminate and uncontrolled wood cutting for this purpose has become an important environmental problem in the region. The devastation of vital areas has increased significantly the conditions to desertification in some areas. Converting wood fired to natural gas fired furnaces is considered the most appropriate solution, since natural gas is a clean and regionally abundant fuel and can provide better quality standards to the products. This paper presents a methodology of conversion for ceramics furnaces that includes experimental data collection of air flow rates, pressure and temperature distribution of the existing furnace, during wood firings. The same data is collected in consecutive natural gas firing sections. From data compilation in this experimental phase, a proposal of conversion can be made, involving burners replacement, burners space distribution, furnace size modifications, new operating parameters and operation staff training.

Resumo

A cerâmica estrutural ou cerâmica vermelha é produzida hoje no Rio Grande do Norte utilizando processos tradicionais, tendo a queima da lenha como principal fonte de calor. Como não há reflorestamento, o problema do desmatamento, sem nenhum critério, de áreas vitais torna-se muito grave, alimentando cada vez mais e de forma decisiva a desertificação da região. A substituição da lenha pelo gás natural, combustível limpo e ecologicamente correto, além de abundante no Estado, como fonte energética na indústria de cerâmica estrutural vem ao encontro dessa legítima preocupação ambientalista, trazendo, como benefícios adicionais, uma redução nos custos e uma melhoria na qualidade do produto final. Neste trabalho, é apresentada a metodologia de conversão dos fornos cerâmicos, iniciando-se com um estudo experimental prévio, a partir do sensoriamento de temperatura, pressão e vazão de ar em vários pontos no interior do forno previamente existente, durante queimas consecutivas usando lenha e, depois, com o emprego de queimadores a gás natural. A partir da compilação dos dados coletados na fase experimental, pode-se apresentar uma proposta de conversão envolvendo, entre outras etapas, a substituição e a redistribuição dos queimadores, a modificação nas dimensões internas do forno, a determinação de novos parâmetros de queima e ainda o treinamento de pessoal.

Introdução

Constata-se que, no Nordeste do país, e no Rio Grande do Norte em particular, onde o problema do desmatamento é agravado pelo rigor das condições climáticas, o elevado consumo de lenha empregada como combustível nos fornos cerâmicos de muitas indústrias contribui fortemente para a devastação das áreas verdes. Partindo-se desse ponto, procurou-se analisar a viabilidade

técnica da substituição da lenha por gás natural, energético do qual o Estado é um grande produtor. Depois da realização de um estudo experimental, propôs-se uma metodologia para a conversão dos fornos existentes, verificando-se a obtenção de vantagens técnicas e operacionais e a redução das agressões ao meio ambiente.

A produção de cerâmica e os problemas ambientais

No Brasil, estão hoje instalados mais de dez mil estabelecimentos de cerâmica estrutural, ou cerâmica vermelha, constituindo-se num importante segmento industrial que produz mais de dois bilhões de peças por ano e emprega mais de quatrocentas mil pessoas. O Estado do Rio Grande do Norte, por sua vez, possui atualmente três grandes pólos de cerâmica estrutural, que compreendem a produção de tijolos, telhas, blocos, lajotas etc., sendo os principais fornecedores de insumos básicos para o setor de construção civil, ao mesmo tempo em que absorve um contingente significativo de mão-de-obra. Tais pólos, localizados nas regiões do Baixo Assu, Seridó/Trairi e Grande Natal, utilizam processos tradicionais, tendo a lenha como principal fonte de calor. O desmatamento de áreas vitais, realizado sem nenhum critério com vistas à obtenção de lenha, associado à falta de uma prática de reflorestamento das áreas devastadas, áreas estas que se encontram dentro do chamado “polígono das secas”, alimentam cada vez mais e de forma decisiva o problema da desertificação da região. Dados significativos podem ser encontrados abaixo:

Empresas cadastradas na FIERN	108
Nº. aproximado de empregos diretos	5.000
Peças produzidas por mês	90.000.000
Faturamento anual aproximado	R\$ 72.000.000,00
Consumo de lenha	De 1,7 a 4,1 m ³ /1000 peças
Consumo médio de lenha	2,0 m ³ /1000 peças
Consumo mensal de lenha	180.000 m ³
Custo do metro cúbico de lenha	R\$ 3,50 a R\$ 8,00
Desmatamento do setor	37.384 ha/ano*
Área devastada pelo setor	0,64% da área verde nativa do RN/ano

* 1ha = 52 m³ de lenha (Já há dificuldade de obtenção de lenha em algumas localidades).

(FONTE: FIERN/CTGÁS)

Quadro 1 - Perfil da indústria cerâmica estrutural no Rio Grande do Norte.

Uma medida que pode contribuir para a redução desse problema consiste na substituição da lenha por gás natural (GN) como fonte energética dos fornos cerâmicos. Os benefícios relativos ao meio ambiente são ainda maiores se considerarmos que o controle sobre a combustão do GN é muito mais eficiente, levando a uma queima completa. Por isso, em relação ao uso de lenha ou de outros combustíveis, as chaminés dos fornos a gás emitem menos poluentes, tais como os óxidos nitrosos (NO_x) e principalmente o monóxido de carbono (CO). Ao lado da questão ambiental, porém, foram considerados também os aspectos econômicos (não aprofundados no presente trabalho), principalmente no que diz respeito a:

- período de recuperação do investimento aplicado na conversão do forno;
- influência das modificações do processo de queima sobre a qualidade do produto final.

Metodologia empregada

Como passo inicial, foi desenvolvido um projeto piloto de conversão de um forno de cerâmica vermelha instalado em uma indústria da região da Grande Natal. A conversão efetuada foi de lenha para gás liquefeito de petróleo (GLP), em virtude da ausência de rede local de dutos de gás natural. Em um forno de operação intermitente, de forma retangular, foram instalados quatro queimadores, dois em cada um dos lados menores do forno. A pressão inicial nos cilindros de GLP era de 9,5 kgf/cm². As temperaturas na abóbada (topo) e na base do forno foram acompanhadas por termopares. Foram efetuadas cinco queimas, com uma carga de tijolos correspondente a 35.000 kg em cada vez. A primeira queima teve a duração de 13 horas, sendo que as demais foram prolongadas até 16 horas. A partir da segunda queima, buscou-se atingir uma curva de aquecimento empírica que conduzisse a um menor consumo de GLP e, ao mesmo tempo, a uma produção de tijolos de melhor qualidade que aqueles obtidos com o forno a lenha. Para acompanhar melhor esse desenvolvimento, foram instalados mais termopares ao longo do forno e nas saídas para a chaminé, além de um medidor de vazão de gás. Das últimas queimas, foram coletadas, ao longo do forno, amostras de 40 tijolos que foram identificadas e submetidas aos seguintes ensaios de caracterização, realizados no Laboratório de Engenharia Civil da UFRN:

- características visuais;
- características geométricas - Norma ABNT NBR 7171;
- espessura de parede;
- forma;
- planeza das faces;
- características mecânicas e físicas - Norma ABNT NBR 8947 e 6461;
- ensaios físicos e mecânicos quanto à absorção de água e resistência à compressão.

Posteriormente, procedeu-se o levantamento *in loco* da imagem térmica de um forno intermitente de chama reversível, comparando-se a queima de lenha com a de GN, visando encontrar parâmetros térmicos a serem usados no desenvolvimento de processos de conversão para a substituição do uso da lenha. As características do forno utilizado são dadas a seguir:

- dimensões: altura interna (centro da abóbada): 2,50 m; largura interna (base): 3,70 m; comprimento (interno): 5,40 m
- capacidade: 7100 peças (tijolos de 0,20 x 0,20 x 0,10 m)

O consumo de lenha por fornada foi de aproximadamente 10 m³ (considerando-se o uso de diferentes tipos de lenha, inclusive a chamada “baca” de coqueiro, de baixo poder calorífico e que consiste, principalmente, do talo da palha). O abastecimento de lenha foi feito da forma tradicional, alimentando-se manualmente as bocas de queima (em número de quatro) no início e durante o processo, em intervalos mais ou menos regulares (dependendo da velocidade de consumo da lenha), até que a carga estivesse completamente queimada, de acordo com o julgamento visual do operador. Para as queimas a gás natural, foram instalados três queimadores marca Termotec, com potência aproximada de 500 mil kcal/h cada. Os queimadores foram instalados nas posições onde foi introduzida a lenha (isto é, nas bocas de queima), utilizando um sistema de alimentação adequado, dotado de uma EMRP (Estação de Medição e Redução de Pressão), além de válvulas de redução de pressão próximas a cada queimador. Tendo em vista a capacidade térmica dos queimadores, o forno sofreu uma pequena reforma, reduzindo-se para três o número de bocas de queima.

Nesse forno, foram introduzidos ao longo da carga 27 sensores de temperatura (termopares do tipo K), distribuídos em três seções (Fig. 1), com coleta de dados a cada 40 segundos. Os termopares foram conectados a um sistema de gerenciamento de dados acoplado a um computador. Foram monitoradas três queimas sequenciais de lenha e depois mais três queimas

seqüenciais de GN, sendo coletadas as diversas curvas de aquecimento, levando-se em conta a posição dos sensores distribuídos nas três seções do forno. Nas queimas de GN, foram acompanhadas a pressão (a jusante da EMRP e a montante da válvula reguladora, junto ao forno), a temperatura de saída dos gases (na chaminé de tiragem forçada) e a quantidade de gás natural consumido, a cada 30 minutos, gerando-se uma tabela para elaboração dos gráficos de consumo.

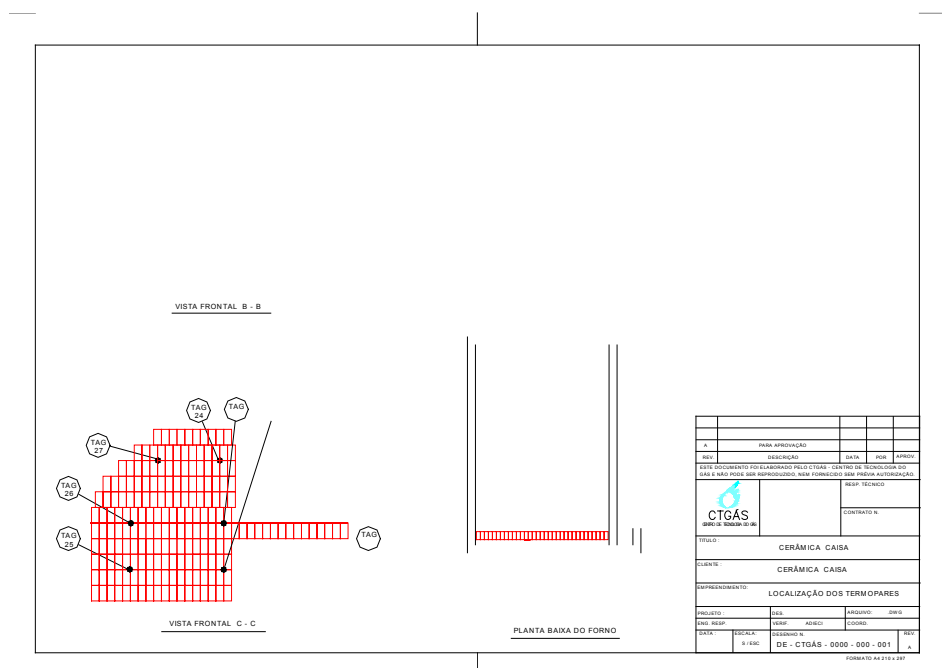


Fig. 1 - Distribuição dos termopares ao longo da carga, em 3 (três) seções.

Dados obtidos

Com base nas queimas realizadas no forno cerâmico convertido para GLP, obteve-se um consumo de energia de 497,37 kcal/kg de produto. A Fig. 2 mostra a variação de temperatura na abóbada e na base do forno durante a primeira queima e a quinta queima (esta, a que apresentou o melhor resultado em termos de economia de combustível e qualidade do produto obtido).

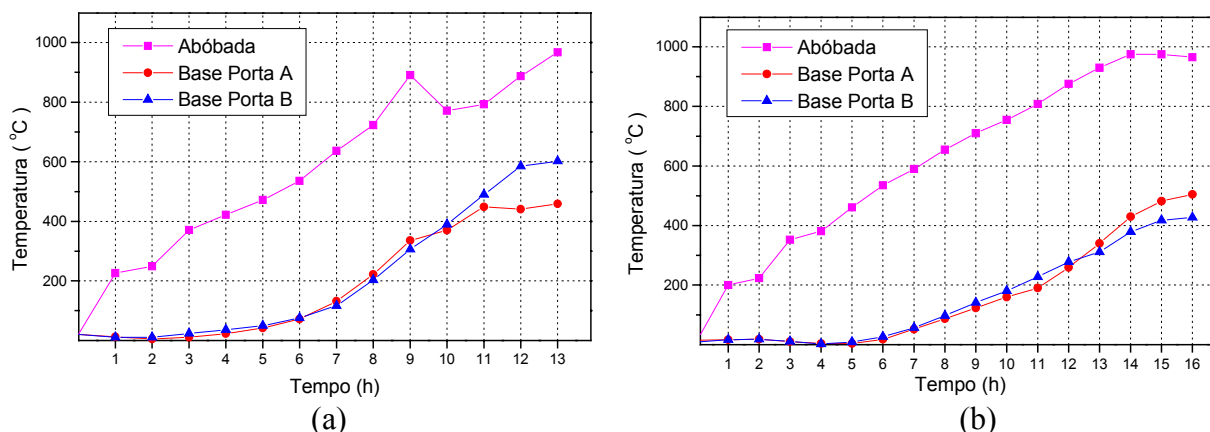


Fig. 2 – Variação de temperatura do forno durante a 1ª. queima (a) e a 5ª. queima (b).

Quanto à qualidade dos produtos finais, obtida com a queima de GLP, os tijolos que foram submetidos aos testes e inspeções, já referidos, obtiveram sempre níveis de aprovação superiores a 95%. É interessante notar que, na queima com lenha, esses níveis situam-se entre 50 e 60% para os mesmos testes.

Na determinação dos perfis térmicos do forno cerâmico, podemos visualizar a influência do tipo de combustível empregado. A Fig. 3 permite comparar a temperatura no topo da carga na terceira queima com lenha (a) e na terceira queima com gás (b). Esses gráficos mostram a temperatura durante a queima (quando o pico de temperatura é atingido) e também durante o resfriamento da carga. Fica visível a falta de estabilização da temperatura durante o aquecimento do forno, em decorrência da maneira irregular (manual) do abastecimento da lenha. Também durante o resfriamento, que é feito com as bocas de queima abertas, verificam-se grandes oscilações na temperatura. Na queima com gás, a temperatura de operação é mais homogênea e constante, devido ao maior controle sobre a alimentação do combustível e ao fato de o resfriamento se dar com o forno fechado (as bocas de queimas foram substituídas pelos queimadores).

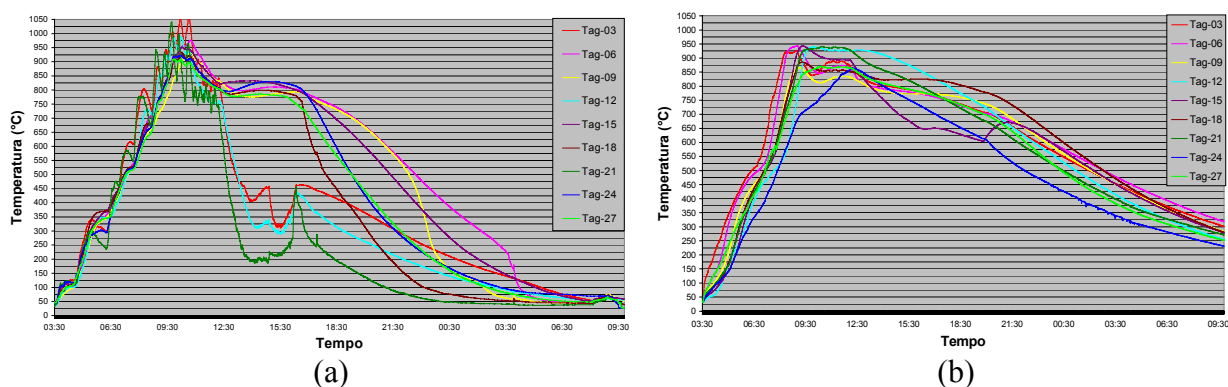


Fig. 3 – Curvas das temperaturas do topo da carga, em queimas com lenha (a) e com gás (b).

A Fig. 4 mostra que a elevação da temperatura dos diversos pontos na base do forno, durante a queima com lenha (a), ocorreu de forma agrupada e muito abrupta, enquanto que, na queima com gás (b), esta elevação foi mais dispersa, porém antecipada em relação à queima com lenha. A dispersão deveu-se à diferente sucção dos canais da tiragem, o que provocou melhor circulação de ar (e, conseqüentemente, de calor) no forno. As distintas maneiras de efetuar o resfriamento permitiram também manter a carga a uma temperatura mais alta por mais tempo na queima com gás.

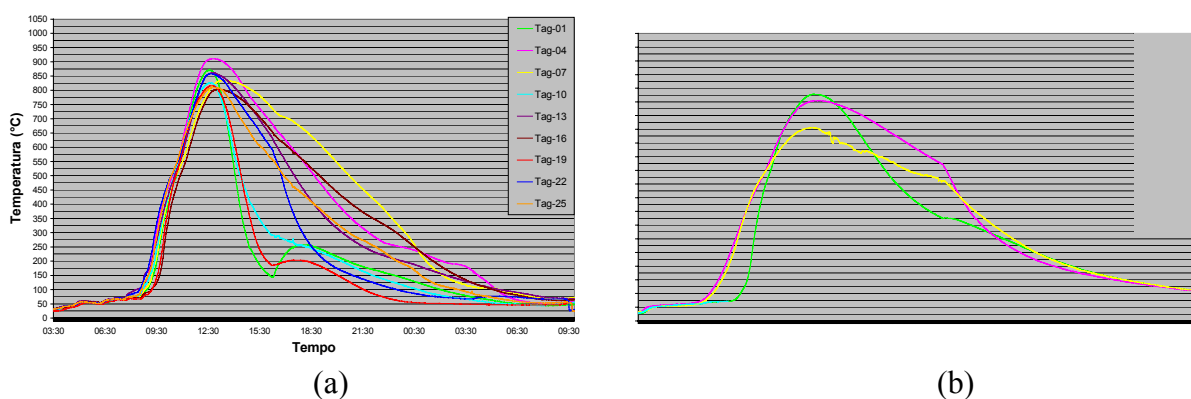


Fig. 4 – Curvas das temperaturas da base da carga, na queima com lenha (a) e com gás (b).

As queimas seqüenciais com o uso de GN permitiram otimizar os parâmetros operacionais. O Quadro 2 resume os principais resultados obtidos. Para definir a quantidade de tijolos rejeitados, assumiu-se um controle de qualidade com base nas amostras da queima com GLP, já citada.

Queima	1a.	2a.	3a.
Temperatura do topo da carga	900 °C	965 °C	950 °C
Tempo de queima	8 horas	9 horas	8 horas e 30 minutos
Quantidade de tijolos rejeitados	500	200	20

Quadro 2 – Comparação entre parâmetros e resultados das queimas seqüenciais com GN.

Na primeira queima, o grande número de tijolos rejeitados deveu-se à limitação da temperatura no topo do forno, fazendo com que as temperaturas intermediárias não alcançassem um bom patamar. Com isso, as peças da parte de baixo da carga ficaram mal queimadas. Na segunda queima, a rejeição foi bem menor por causa do aumento da temperatura no topo do forno e do tempo de queima. Isto fez com que as temperaturas intermediárias se elevassem mais que o caso anterior, melhorando a queima das peças inferiores da carga. Já na terceira queima, o material rejeitado foi insignificante, mesmo com uma redução no tempo de queima, uma vez que, em virtude da taxa de aquecimento empregada (como se vê na Fig. 5), pelo menos 25 dos 27 pontos de medição alcançaram temperaturas acima de 800 °C, ou seja, houve mais homogeneidade na distribuição de temperaturas pela carga. É importante ressaltar que não há comparação possível com o produto usualmente obtido (através de queimas com lenha) pela indústria onde os testes foram realizados. Ali, o rejeito é mínimo pela inexistência de um controle usual de qualidade, fazendo com que sejam comercializadas peças mal cozidas (o que se nota facilmente pela coloração), e também com deformações ou trincas.

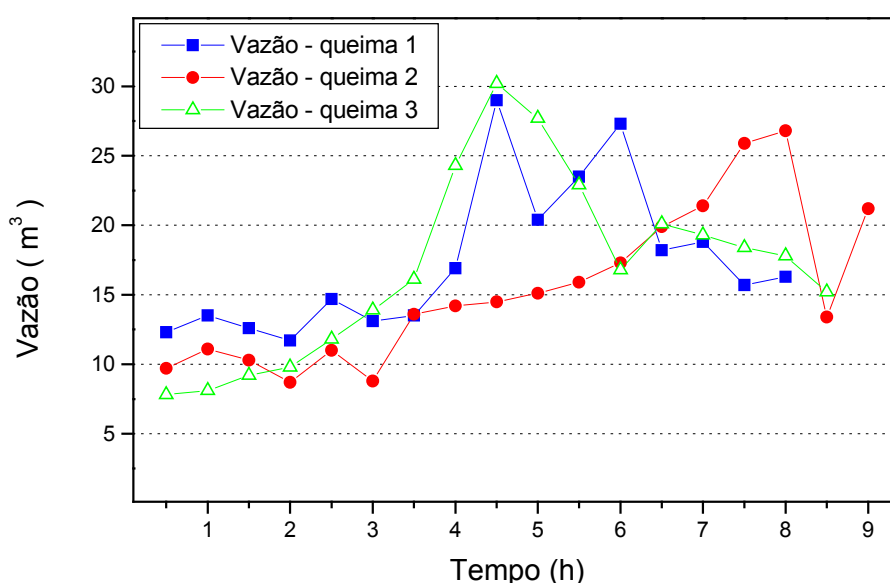


Fig. 5 – Curvas das vazões de consumo de gás natural.

Os gráficos de consumo de gás, nas três queimas seqüenciais, são mostrados na Fig. 5. A taxa de propagação do calor ao longo da carga pode ser alterada mudando-se a inclinação da curva de

vazão de gás de combustão, ou seja, mudando-se a quantidade de calor fornecido pelo queimador (através do ajuste dos formatos de chama adequados a cada aplicação) e a sucção da chaminé. Porém, é importante que a curva de temperatura obedeça a um aumento gradativo no início da queima, para que o material tenha tempo para desidratar. Esta curva poderá ser mais acentuada após a temperatura dos gases na chaminé alcançar 100 °C, conforme medições realizadas.

Análise do consumo de gás natural

A partir dos resultados dos estudos técnicos realizados, foi efetuada uma análise dos custos de conversão de fornos substituindo a lenha pelo gás natural. Para isso, foi tomada como base a rotina da produção de 28 cerâmicas da região do Baixo Assu. Verificou-se que, como os fornos são de operação intermitente, intercalando as operações de carregar, queimar, descarregar e carregar novamente, somente dois fornos por cerâmica queimam simultaneamente. Considerando apenas a produção de tijolos, têm-se, então, a seguinte análise:

a) Dados do forno:⁵

Capacidade média da fornada	– 16.000 tijolos (18 x 18 x 8 cm)
Peso médio do tijolo	– 1,9 kg (após a queima)
Peso aproximado da carga	– 30.400 kg
Nº de fornos em queima simultânea	– 2 (máximo)
Consumo médio de lenha	– 32 m ³ por fornada

b) Cálculos e conversões:

Para o forno a lenha, tem-se:

- 1 m³ lenha = 340 kg (valor obtido junto ao IBAMA)
- Poder calorífico (médio) da lenha = 2.527,2 kcal/kg lenha
- Consumo médio de lenha para produção de 16.000 tijolos:
 $32 \text{ m}^3 \times 340 \text{ kg lenha/m}^3 = 10.900 \text{ kg lenha}$
 - Consumo de energia por fornada:
 $10.900 \text{ kg lenha} \times 2.527,2 \text{ kcal/kg lenha} = 27.546.480 \text{ kcal}$
 - Consumo de energia por kg de produto:
 $27.546.480 \text{ kcal} / 30400 \text{ kg produto} = 906,13 \text{ kcal/kg produto}$

A obtenção de um consumo energético foi cerca de 45% mais baixo por kg de produto no forno convertido para GLP (igual a 497,37 kcal/kg produto). Isso deveu-se, entre outros fatores, à qualidade do projeto térmico, à escolha de queimadores adequados, ao nível de treinamento do pessoal de operação, ao regime de operação (permanente), à melhoria no turbilhonamento da massa gasosa no interior do forno e na relação ar-combustível, e particularmente a um melhor controle da combustão (possibilitando uma queima completa). A maior eficiência da combustão do gás natural evita o desperdício de energia (calor) que é dissipado no ambiente, em grande parte próximo ao forno, levando o desconforto para os profissionais que trabalham em suas redondezas. Pode-se inferir que, com uma conversão para gás natural, obter-se-á um consumo de energia da mesma ordem, desde que o projeto seja bem desenvolvido. Assim, para um forno convertido para gás natural, o consumo de combustível é assim estimado:

- Poder Calorífico Superior do gás natural = 9.400 kcal/m³ GN @ 20 °C e 1 atm
- Consumo de energia por fornada:
 $30.400 \text{ kg produto} \times 497,37 \text{ kcal/kg produto} = 15.120.048 \text{ kcal}$
- Consumo de GN estimado por fornada:
 $15.120.048 \text{ kcal} / 9400 \text{ kcal/m}^3 \text{ GN} \cong 1.609 \text{ m}^3 \text{ GN}$

Conclusões

Através deste trabalho, conseguiu-se validar um grande número de vantagens da utilização do sistema a gás, que podem ajudar no desenvolvimento de processos de conversão. Por exemplo, a taxa de aquecimento do forno, dada pela inclinação da curva de queima, pode ser alterada para cada tipo de forno ou sistema de operação, proporcionando maior controle no processo produtivo e menor consumo de energia.

A distribuição dos queimadores, seu princípio de funcionamento e a geometria do forno são de fundamental importância para a distribuição térmica no interior da carga e para a eficiência da queima, influenciando no rendimento na conversão. Em função disso, quando necessário, testes adicionais podem ser realizados para um forno particular para a otimização de sua operação.

A principal conclusão é que a conversão de fornos cerâmicos de lenha para gás natural não só é possível, como também, em decorrência do uso deste último combustível, além da melhoria das condições ambientais, ocorre melhoria na qualidade do produto final.

Bibliografia consultada

- HENRIQUE JR., M. F. Manual de Conservação de Energia na Indústria Cerâmica Vermelha. Rio de Janeiro: INT, 1993.
- KATZ, D. L. Handbook of Natural Gas Engineering. New York: McGraw-Hill, 1959.
- NÉRI, J. T. C. F., SILVA, A. V., NUNES, W. L. P. Levantamento de Imagem Térmica de um Forno Intermitente de Chama Reversível para Cerâmica Vermelha, usando Lenha como Combustível, em Comparação à Queima com Gás Natural. Natal: SENAI/RN (Relatório Interno), 1999.
- POULALLION, P. Manual do Gás Natural. Brasília: CNI, 1986.
- SENAI/DN. Estudo sobre a Utilização do Gás Natural na Indústria Cerâmica. Rio de Janeiro: SENAI/NETEC, 1998.
- SENAI/DN. O Gás Natural como Combustível Industrial. Rio de Janeiro: SENAI/NETEC, 1998.
- SINGER, F., SINGER, S. S. Cerâmica Industrial. Bilbao: Urmo, 1971.
- SPINGLER, K. Manual de Técnica Ladrillera. Barcelona: Reverté, 1954.
- ZAKIA, M. J. B., VERSLYPE, C. Guia para Levantamento do Consumo e Fluxo de Produtos Florestais – Projeto PNUD/FAO/IBAMA/BRA/87/007 – Documento N°. 6, Brasil, 1992.

¹ Engenheiro Químico - Centro de Tecnologias do Gás (CTGás-SENAI/RN)

² Engenheiro Eletricista - Centro de Tecnologias do Gás (CTGás-SENAI/RN)

³ Mestre em Engenharia Mecânica, Professor - CEFET/RN

⁴ Doutor em Engenharia Química, Professor – Depto. de Eng. Química/UFRN e CEFET/RN

⁵ As diferenças entre os valores aqui apresentados e os do forno a partir do qual se obteve a imagem térmica são decorrentes das dimensões distintas entre os fornos considerados.