

SERRAGEM E GÁS NATURAL COMO FONTES ENERGÉTICAS EM FORNOS TÚNEIS NA INDÚSTRIA CERÂMICA VERMELHA

Gabriel M. dos Santos – mann@emc.ufsc.br

Edson Bazzo – ebazzo@emc.ufsc.br

Vicente de P. Nicolau – vicente@lmpt.ufsc.br

Amir A. M. Oliveira – amirol@emc.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica
88040-900 – Florianópolis, SC, Brasil

***Resumo.** A indústria cerâmica vermelha responde por expressiva parcela do consumo de energia térmica, sobretudo nos processos de secagem e queima dos produtos cerâmicos. Apesar do sucesso alcançado na queima de serragem como combustível principal em fornos túneis, as cerâmicas catarinenses estão buscando alternativas para sua substituição. O interesse decorre sobretudo devido à iminente falta da serragem no mercado e à possibilidade de usar gás natural como uma opção ambientalmente favorável e vantajosa na redução do consumo específico dos fornos, no aumento da produtividade e na melhoria da qualidade dos produtos. Entretanto, do ponto de vista puramente energético, seu custo ainda é relativamente elevado para o setor quando comparado ao custo da serragem. Estudos precisam ser aprofundados, no sentido de viabilizar a utilização do gás natural como alternativa energética para as cerâmicas.*

***Palavras-chave:** Cerâmica vermelha, Forno túnel, Gás natural, Análise termoeconômica*

1. INTRODUÇÃO

É consenso geral na indústria cerâmica vermelha que a substituição da serragem por um outro combustível ambientalmente favorável deverá refletir no aumento da produtividade e na melhoria da qualidade dos produtos, agregando valores que permitirão a sobrevivência no mercado. Dentre as principais desvantagens da serragem estão a sua disponibilidade cada vez menor, as barreiras impostas pela legislação ambiental ao corte de lenha nativa, os níveis de emissão de CO₂, o difícil controle da queima devido às variações de composição da serragem e às alterações no seu teor de umidade frente às mudanças climáticas, o maior número de funcionários para o manuseio e a necessidade de áreas de estocagem cobertas e de transporte interno.

Algumas empresas, cientes dessas desvantagens e buscando maior qualidade nos produtos, estão procurando substituir a serragem por outros energéticos. O gás natural é uma opção vantajosa para a substituição da serragem. Além de não possuir as desvantagens da serragem, ele permite uma queima com temperaturas controladas, possibilitando a fabricação

de produtos de maior valor agregado. A viabilidade de sua utilização dependerá dos preços praticados, da produtividade e da aceitação de produtos com maior qualidade pelo mercado.

Neste trabalho atenção especial é dedicada a utilização da serragem e do gás natural como energéticos para a indústria de cerâmica vermelha catarinense, tendo em vista sua disponibilidade na matriz energética e implicações tecnológicas, econômicas e ambientais que ambos os combustíveis podem trazer ao mercado. Para a questão do gás natural, a análise de viabilidade consiste basicamente da análise do consumo específico, dos níveis de emissão de CO₂ e dos custos em quatro cerâmicas pesquisadas, representativas das cerâmicas de maior produtividade do setor em Santa Catarina.

2. PROCESSO DE QUEIMA

Os processos de queima e secagem consomem a maior parte do combustível utilizado na fabricação dos produtos cerâmicos. A queima dá aos produtos cerâmicos suas características finais típicas, como resistência, cor, entre outras, atingidas por uma série de transformações estruturais e químicas, que ocorrem quando as argilas são submetidas ao calor. As temperaturas de queima são da ordem de 750°C a 900°C para tijolos, de 900°C a 950°C para telhas e 950°C a 1200°C para tubos cerâmicos (Wittwer & Faria, 1997).

O processo de queima é conduzido em fornos contínuos ou intermitentes, cujo gradiente térmico mostra uma grande variação. Tal processo segue uma curva pré-estabelecida que relaciona a temperatura da peça e o tempo de aquecimento, em função das características térmicas e químicas da matéria-prima utilizada e da geometria do produto. Durante o ciclo de aquecimento e resfriamento em temperaturas bem definidas (variável em função do tipo de argila), ocorrem transformações mineralógicas (reversíveis ou irreversíveis) das substâncias que compõem a argila, com aumento ou diminuição brusca de volume (Queiroz *et al.*, 1988).

Segundo Henriques Jr. *et al.* (1993), não somente a temperatura da peça é importante no processo, mas também o tempo para que as reações aconteçam. Não existe um tempo e uma curva de queima geral, uma vez que estes parâmetros irão variar de acordo com o tipo de forno, tipo de argila, eficiência de queima, distribuição do calor no interior do forno e condições ambientais.

Na operação do forno cerâmico é muito importante controlar o processo de aquecimento e resfriamento, isto é, a velocidade com que a temperatura aumenta ou diminui ao longo do tempo. Esse cuidado se deve em virtude das variações dimensionais das peças (expansão e contração) que ocorrem durante o aquecimento ou resfriamento, significando que se os tempos adequados não forem obedecidos, poderão ocorrer deformações, fissuras ou quebras das peças. Cada argila tem sua curva de processamento individual, que deve ser seguida pelos operadores dos fornos.

A combinação do tempo total de queima e temperatura além de ser muito importante na qualidade final dos produtos tem influência no consumo de energia. Peças queimadas durante muito tempo e a temperaturas muito altas elevam o consumo de energia e podem ficar sobrequeimadas, o que é indesejável. Por outro lado, temperaturas muito baixas ou tempos de queima muito curtos, podem determinar peças cruas, principalmente nos pontos mais frios da fornalha. O alinhamento e regulação dos queimadores dos fornos, também são fundamentais para uma boa homogeneização do calor no interior do forno. Calor mal distribuído resulta em peças, numa mesma fornada, cruas, sobrequeimadas e boas, dependendo do posicionamento no forno. Portanto, a função do estabelecimento da curva de queima é determinar as faixas de temperatura onde o aquecimento ou o resfriamento deve ser acelerado ou retardado. A qualidade do produto final e o rendimento da queima, em termos do aproveitamento, é uma função do modo como a queima é conduzida.

2.1 Fornos

Os fornos empregados para a queima das peças na indústria de cerâmica vermelha podem ser contínuos ou intermitentes o que acarreta níveis de eficiência diferenciados. Os fornos mais empregados (Wittwer & Faria, 1997) são:

- **Intermitentes** – Podem ser dos tipos Caieira, Chama Reversível ou Forno Circular, Paulistinha/Abóbada e Plataforma. Nestes fornos o processo de queima se dá sob a forma de bateladas. Apresentam as seguintes vantagens: concepção simples, construção fácil e rápida, baixo custo de construção. As desvantagens são: não há controle dos gases, aquecimento irregular, grande consumo específico, difícil aproveitamento dos gases de exaustão.
- **Contínuos** – Podem ser dos tipos Anular (Hoffmann) e Túnel. Nestes fornos o processo de queima se faz de forma contínua, sem interrupção para descarga ou carregamento das peças. Enquanto um lote de peças está chegando ao final da queima, outra quantidade igual ou semelhante está sendo iniciada, sem descontinuidade do processo. Apresentam as seguintes vantagens: menor consumo específico, baixo ciclo de queima, controle e aproveitamento dos gases de exaustão, aquecimento mais homogêneo. As desvantagens são: concepção mais complexa, construção mais demorada e de custo mais elevado que os intermitentes.

Forno contínuo tipo túnel. São fornos mais modernos e eficientes no uso de energia. Possuem três seções, preaquecimento, queima e resfriamento, havendo o aproveitamento de calor de uma seção para outra. O ar quente, que sai da zona de resfriamento, é injetado na zona de queima e serve como ar de combustão. Os gases de combustão que deixam a zona de queima são dirigidos à zona de preaquecimento, aproveitando-se o calor residual (“Fig. 1”). O transporte do material é realizado por meio de carrinhos ou esteiras móveis, acionados através de sistema automático. Este tipo de forno é bastante utilizado na cerâmica branca. Entretanto, devido as suas vantagens de baixo consumo específico, baixo custo de mão-de-obra, pequena perda de rejeitos e melhor qualidade do produto, vem sendo empregado com sucesso também em empresas de cerâmica vermelha.

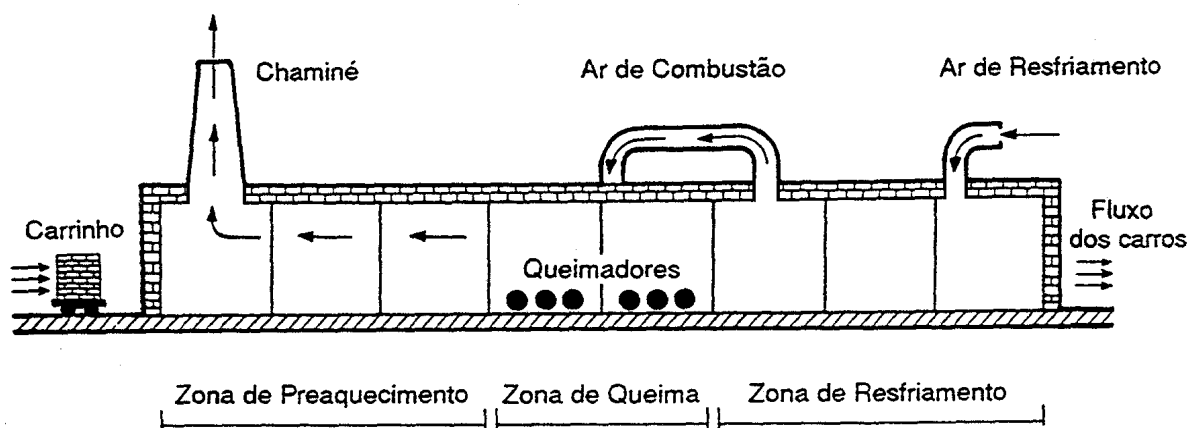


Figura 1 – Esquema de funcionamento de um forno túnel (Henriques Jr. et al., 1993).

2.2 Balanço de energia nos fornos

A energia utilizada nos fornos é fornecida pela queima de combustíveis, geralmente lenha, óleo combustível ou GLP. A energia é destinada para aquecer a carga, evaporar a umidade e fornecer o calor necessário para a decomposição e cristalização dos componentes químicos do material cerâmico. Em termos gerais, para realizar o balanço energético nos fornos, deve-se levar em conta:

- Aquecimento da carga;
- Evaporação da umidade;
- Reações químicas;
- Perdas para aquecimento da estrutura do forno (fornos intermitentes);
- Perdas por radiação e convecção para o ambiente;
- Perdas devido a infiltrações de ar por aberturas e frestas;
- Perdas associadas às massas inertes, como carrinhos e suportes das peças;
- Perdas pelos gases de exaustão.

Os valores percentuais para cada um destes itens são variáveis, dependendo do tipo de forno, capacidade do mesmo, eficiência de operação, eficiência de combustão, entre outros. Valores para o balanço térmico em alguns fornos podem ser encontrados em Queiroz *et al.* (1988), em Henriques Jr. *et al.* (1993) e em Wittwer & Faria (1997), demonstrando sensíveis discrepâncias nos percentuais de energia. Para o forno túnel, as perdas para aquecimento da estrutura tornam-se negligenciáveis quando o forno entra em regime permanente de operação. O objetivo, neste caso, deve se concentrar na redução do percentual do calor associado aos gases na chaminé, ao produto e ao carrinho na saída do forno e na minimização das perdas por radiação e convecção para o ambiente.

3. CONSUMO ESPECÍFICO

As cerâmicas pesquisadas garantem informações suficientes e representativas para o setor de cerâmica vermelha em Santa Catarina (ver “Tabela 1”). Um grande número de empresas ainda utilizam fornos intermitentes (Cerâmica A). Parte significativa delas estão agora com a preocupação de aumentar produtividade e competitividade, construindo fornos túneis e se adaptando à nova realidade do setor (Cerâmicas B e C). Algumas empresas estão um pouco mais além, produzindo produtos mais nobres visando inclusive o mercado internacional (Cerâmica D). A Cerâmica E foi simulada para o caso de um forno túnel a gás natural com a mesma produção e a mesma eficiência de queima do forno da Cerâmica D. A Cerâmica F foi simulada como tendo um forno a gás natural com a mesma produção e uma eficiência de queima 40% maior que a do forno da Cerâmica E.

Na análise comparativa do desempenho das cerâmicas chegou-se aos valores de consumo específico mostrados na “Tabela 1”. Os fornos túneis permitem o aproveitamento racional de combustíveis mais nobres como o gás natural. A produtividade dos fornos túneis (dada pelo consumo específico de combustível em tonelada equivalente de petróleo por tonelada de produto queimado) é pelo menos duas vezes maior que a dos fornos intermitentes. Por sua vez, a produtividade dos fornos túneis a gás natural simulada para os casos da Cerâmica E e da Cerâmica F, é aproximadamente duas vezes maior que a dos fornos túneis a serragem. Como o uso do gás natural também aumenta a eficiência de queima, o consumo específico cai dos 0,047 tep/ton-produto da Cerâmica E para os 0,034 tep/ton-produto da Cerâmica F, resultando na redução do custo total.

Tabela 1 – Análise comparativa do desempenho das cerâmicas.

| Item \ Empresa | Cerâmica A | Cerâmica B | Cerâmica C | Cerâmica D | Cerâmica E | Cerâmica F |
|--|--------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Tipo de Forno | Intermitente | Túnel | Túnel | Túnel | Túnel | Túnel |
| Combustível | Serragem | Serragem | Serragem | GLP | Gás Natural | Gás Natural |
| Produção Total (ton/mês) | 4200 | 2000 | 3000 | 5000 | 5000 | 5000 |
| Consumo Específico (tep/ton-produto) | 0,214 | 0,090 | 0,089 | 0,048 | 0,047 | 0,034 |
| Razão Relativa | 100 | 42 | 41 | 22 | 22 | 16 |
| Emissão de CO ₂ (ton-CO ₂ /ton-produto) | 1,28 | 0,54 | 0,53 | 0,13 | 0,12 | 0,08 |
| Razão Relativa | 100 | 42 | 41 | 10 | 9 | 6 |
| Custos Combustível (R\$/ton-produto) | 8,33 | 3,50 | 3,45 | 30,80 | 18,06 | 12,90 |
| Custos com Mão-de-Obra (R\$/ton-produto) | 4,37 | 6,12 | 3,40 | 1,09 | 1,09 | 1,09 |
| Outros Custos (R\$/ton-produto) | 0,60 | 0,75 | 0,50 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| Custo Total (R\$/ton-produto) | 13,30 | 10,37 | 7,35 | 32,05 | 19,30 | 14,15 |
| Razão Relativa | 100 | 78 | 55 | 241 | 145 | 106 |

4. EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO

O principal combustível utilizado entre as cerâmicas catarinenses é a serragem, que possui uma taxa de geração específica de CO₂ (dada em kg-CO₂/GJ) três vezes maior que a do gás natural, como pode ser observado na “Tabela 2”, que mostra as características dos combustíveis utilizados pelas cerâmicas. Do ponto de vista ambiental, há que se considerar ainda a disponibilidade progressivamente menor de lenha e seus rejeitos, sobretudo devido à pouca existência de áreas reflorestadas e às crescentes barreiras impostas pela legislação ambiental ao corte e uso de lenha nativa.

Tabela 2 – Composição e taxa de geração específica de CO₂ dos combustíveis utilizados.

| Composição \ Combustível | Serragem | GLP(*) | Gás Natural |
|--------------------------------------|----------|--------|-------------|
| Percentagens de: C | 50 | | |
| CH ₄ | | | 91,8 |
| C ₂ H ₆ | | | 5,6 |
| C ₃ H ₈ | | 90 | 1 |
| C ₄ H ₁₀ | | 10 | |
| (kg-CO ₂ /kg-combustível) | 1,83 | 3,00 | 2,72 |
| (kg-CO ₂ /GJ) | 151 | 61 | 54 |

(*) Composição estimada.

A “Tabela 1” mostra que a emissão de CO₂ por tonelada de produto é cerca de cinco vezes maior nos fornos túneis a serragem do que nos fornos túneis a gás natural. Considerando o caso da Cerâmica F, a emissão de CO₂ é 60% da emissão no forno túnel a GLP e é cerca de dezesseis vezes menor que a emissão dos fornos intermitentes.

5. ANÁLISE DE CUSTOS

O forno túnel a GLP, apesar de apresentar maior produtividade, apresenta um custo de combustível total elevado, quando comparado aos fornos a serragem, como pode ser observado na “Tabela 1”. O uso de gás natural no forno túnel em substituição ao GLP, reduziria o custo total em mais de 50%, considerando as Cerâmicas D e F. O uso do gás natural no forno túnel em substituição à serragem, causaria um aumento de custo total de 50%, considerando as Cerâmicas B e F, e de 100%, considerando as Cerâmicas C e F. Porém, os custos operacionais com pessoal dos fornos túneis a serragem aumentam com a produção, devido ao aumento do tamanho das instalações para armazenagem e ao aumento da movimentação do combustível. Assim, para produções e produtividades equivalentes, o custo total do forno a gás natural aproximaria-se mais do custo total do forno a serragem. Outros custos como custos com energia elétrica e manutenção também entram na composição do custo total, entretanto, têm pequena influência sobre o mesmo. Na “Tabela 3”, que apresenta detalhes da análise comparativa do desempenho das cerâmicas, os valores desses custos foram estimados com base em informações fornecidas pelas empresas pesquisadas.

Tabela 3 – Detalhes da análise comparativa do desempenho das cerâmicas.

| Item \ Empresa | Cerâmica A | Cerâmica B | Cerâmica C | Cerâmica D | Cerâmica E | Cerâmica F |
|---|--------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Tipo de Forno | Intermitente | Túnel | Túnel | Túnel | Túnel | Túnel |
| Combustível | Serragem | Serragem | Serragem | GLP | Gás Natural | Gás Natural |
| Consumo Total | | | | | | |
| (ton/mês) | | | | 220 | | |
| (m ³ /mês) | 7000 | 1400 | 2070 | | 275000 | 196429 |
| Energia Total | | | | | | |
| (GJ/mês) | 35690 | 7138 | 10554 | 10821 | 10821 | 10821 |
| (tep/mês) | 900 | 180 | 266 | 240 | 236 | 168 |
| Produção Total | | | | | | |
| (ton/mês) | 4200 | 2000 | 3000 | 5000 | 5000 | 5000 |
| Consumo Específico | | | | | | |
| (ton-combustível/ton-produto) | | | | 0,044 | | |
| (m ³ -combustível/ton-produto) | 1,7 | 0,7 | 0,7 | | 55,0 | 39,3 |
| (GJ/ton-produto) | 8,50 | 3,57 | 3,52 | 2,16 | 2,16 | 2,16 |
| (tep/ton-produto) | 0,214 | 0,090 | 0,089 | 0,048 | 0,047 | 0,034 |
| Razão Relativa | 100 | 42 | 41 | 22 | 22 | 16 |
| Emissão de CO₂ | | | | | | |
| (ton-CO ₂ /mês) | 5390 | 1078 | 1594 | 661 | 583 | 417 |
| (ton-CO ₂ /tep) | 5,99 | 5,99 | 5,99 | 2,76 | 2,47 | 2,47 |
| (ton-CO ₂ /ton-produto) | 1,28 | 0,54 | 0,53 | 0,13 | 0,12 | 0,08 |
| Razão Relativa | 100 | 42 | 41 | 10 | 9 | 6 |

Tabela 3 – Detalhes da análise comparativa do desempenho das cerâmicas (continuação).

| Item \ Empresa | Cerâmica A | Cerâmica B | Cerâmica C | Cerâmica D | Cerâmica E | Cerâmica F |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Custo com Combustível | | | | | | |
| (R\$/kg) | | | | 0,70 | | |
| (R\$/m ³) | 5,00 | 5,00 | 5,00 | | 0,33 | 0,33 |
| Custo Combustível | | | | | | |
| (R\$/mês) | 35000,00 | 7000,00 | 10350,00 | 154000,00 | 90282,50 | 64487,50 |
| Custo Combustível Específico | | | | | | |
| (R\$/tep) | 38,90 | 38,90 | 38,90 | 642,93 | 383,08 | 383,08 |
| (R\$/ton-produto) | 8,33 | 3,50 | 3,45 | 30,80 | 18,06 | 12,90 |
| Custo com Mão-de-Obra | | | | | | |
| Número Funcionários Operação | | | | | | |
| (funcionários/dia) | 16 | 10 | 9 | 4 | 4 | 4 |
| Custo Pessoal Operação | | | | | | |
| (R\$/mês) | 16320,00 | 10200,00 | 9180,00 | 5440,00 | 5440,00 | 5440,00 |
| Número Funcionários Movimentação | | | | | | |
| (funcionários/dia) | 6 | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Custo Pessoal Movimentação | | | | | | |
| (R\$/mês) | 2040,00 | 2040,00 | 1020,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Custo Pessoal Total Específico | | | | | | |
| (R\$/tep) | 20,41 | 68,03 | 38,34 | 22,71 | 23,08 | 32,32 |
| (R\$/ton-produto) | 4,37 | 6,12 | 3,40 | 1,09 | 1,09 | 1,09 |
| Outros Custos | | | | | | |
| Custo Manutenção (*) | | | | | | |
| (R\$/mês) | 2000,00 | 1000,00 | 1000,00 | 500,00 | 500,00 | 500,00 |
| Custo Energia Elétrica (*) | | | | | | |
| (R\$/mês) | 500,00 | 500,00 | 500,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 |
| Custo Total Específico | | | | | | |
| (R\$/tep) | 2,78 | 8,34 | 5,64 | 3,34 | 3,39 | 4,75 |
| (R\$/ton-produto) | 0,60 | 0,75 | 0,50 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| Custo Total | | | | | | |
| (R\$/tep) | 62,09 | 115,27 | 82,88 | 668,98 | 409,56 | 420,15 |
| (R\$/ton-produto) | 13,30 | 10,37 | 7,35 | 32,05 | 19,30 | 14,15 |
| Razão Relativa | 100 | 78 | 55 | 241 | 145 | 106 |

(*) Custos estimados com base em informações fornecidas pelas empresas.

Os custos com combustíveis (R\$/m³) são os que exercem maior influência sobre o custo total (R\$/ton-produto) das cerâmicas. A “Fig. 2” mostra essa influência para os casos da Cerâmica C, Cerâmica E e para cerâmicas com fornos a gás natural com a mesma produção da Cerâmica E mas com eficiências de queima 20%, 40% (caso da Cerâmica F), 60% e 80% maiores. Pode-se ver pela “Fig. 2” que, com um aumento do preço da serragem para cerca de R\$ 14,50/m³, o custo total da Cerâmica C se igualaria ao da Cerâmica F e o preço atual do gás natural começaria a se tornar competitivo. Aumentos no preço da lenha e seus rejeitos são esperados, sobretudo, devido à escassez de madeira no mercado internacional com o esgotamento das florestas no sudeste asiático e, no Brasil, devido às crescentes barreiras impostas pela legislação ambiental. Ainda pela “Fig. 2” e para o caso das Cerâmicas C e F, nota-se que o gás natural também tornaria-se competitivo frente à serragem se seu preço fosse reduzido para cerca de R\$ 0,16/m³, o que poderia ser parte de algum tipo de estratégia das empresas distribuidoras para penetração no setor de cerâmica vermelha. Nota-se também que, à medida que a eficiência de queima aumenta, menor deve ser a redução no preço atual do gás natural ou o aumento no preço atual da serragem para que o gás natural torne-se competitivo frente a serragem.

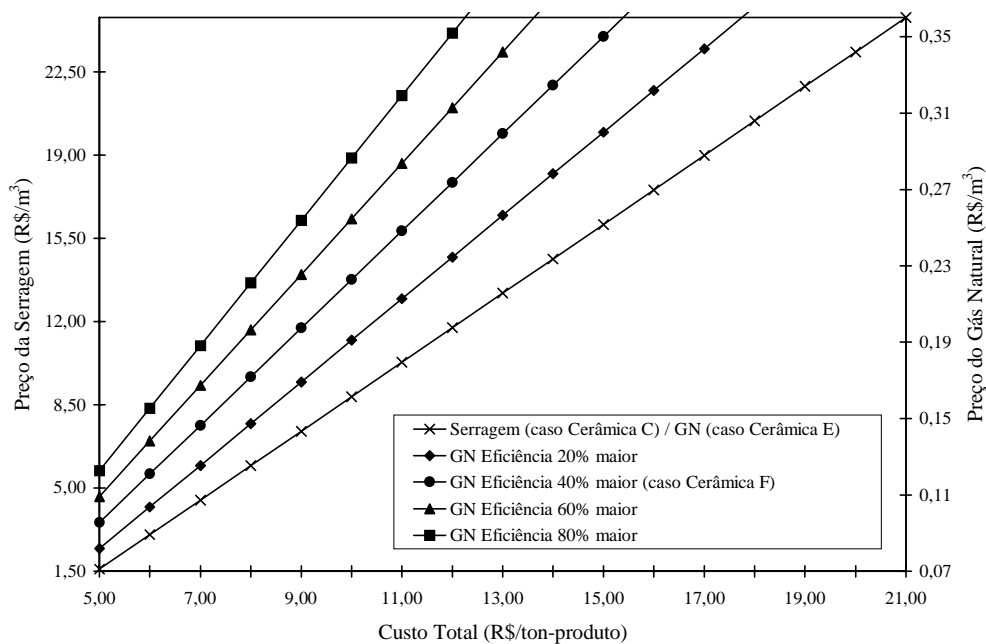


Figura 2 – Influência do custo dos combustíveis sobre o custo total das cerâmicas.

O gás natural permite um melhor controle da queima e um baixo nível de emissões de partículas e gases. Com isto, consegue-se obter produtos finais de maior qualidade e conseqüentemente maior valor agregado, tendo-se ainda um menor nível de rejeitos, o que poderia compensar o aumento dos custos das cerâmicas com a substituição do combustível utilizado. Com o atual movimento das empresas do setor na direção de normalizar a qualidade dos produtos, existe um aumento da importância da garantia de qualidade na produção. O gás natural também permite uma relativamente fácil e rápida regulagem do forno para a queima de produtos diferentes quanto ao tamanho, forma e matéria prima. Com isto, tem-se maior flexibilidade na diversificação da linha de produtos.

Com respeito ao número de empregos no setor, sabe-se que a utilização de fornos túnel a gás natural, reduz o número de funcionários necessários à operação do forno, e conseqüentemente, os custos de operação. Quanto ao aspecto social, em relação ao desemprego que seria gerado, vale ressaltar que a manutenção dos processos de queima existentes atualmente, com expressivo atraso tecnológico, também irá acarretar, como já vem ocorrendo, a redução dos níveis de produção, com demissões e fechamento de muitas cerâmicas. Deste modo, a melhoria tecnológica tornou-se um ponto fundamental para a competitividade e, até mesmo, a sobrevivência das empresas no setor.

6. CONCLUSÕES

O uso de gás natural como alternativa energética para a indústria cerâmica vermelha ainda depende de ajustes nos atuais preços praticados no mercado. Apesar da produtividade dos fornos túneis a gás natural ser superior a dos fornos a serragem, o preço do gás natural ainda encontra-se elevado em relação ao preço da serragem. Isso faz com que o custo total com gás natural seja cerca de duas vezes maior que o custo total com serragem.

Entretanto, a utilização do gás natural possibilita às cerâmicas a fabricação de produtos de melhor qualidade e, conseqüentemente, de maior valor agregado, ampliando suas receitas e compensando o aumento dos custos com combustível. Além disso, o benefício ambiental da

substituição será bastante significativo, com uma redução de cerca de cinco vezes nos níveis de emissão de CO₂ por tonelada de produto e a redução no desmatamento de florestas nativas.

No sentido de estudar o uso do gás natural no setor, trabalhos prosseguem com a instrumentação, testes e simulação térmica de um forno túnel existente, objetivando levantar o perfil de temperaturas e gradientes de pressão tanto para a queima de serragem como para a queima de gás natural. O mesmo forno será convertido para gás natural, de modo a comprovar os resultados numéricos obtidos e a levantar dados a respeito da produtividade, da melhoria da qualidade dos produtos cerâmicos e dos níveis de emissão de CO₂ com o uso do gás natural em substituição à serragem.

Agradecimentos

À SCGÁS – Companhia de Gás de Santa Catarina pelo apoio financeiro e técnico que vem fornecendo para a instrumentação, conversão para o consumo de gás natural e testes de um forno túnel a serragem existente e, pessoalmente, ao Sr. Arno Bollmann pelas proveitosas discussões que vêm contribuindo para o desenvolvimento dos trabalhos.

REFERÊNCIAS

- Henriques Jr., M. F. *et al.*, 1993, Manual de conservação de energia na indústria de cerâmica vermelha, Ministério de Ciência e Tecnologia/INT.
- Queiroz, A. B. *et al.*, 1988, Conservação de energia no setor industrial: cerâmica estrutural, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE e Fundação Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco – ITEP.
- Wittwer, E. & Faria, R. W., 1997, Projeto de Conservação de Energia nas Pequenas e Médias Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, Relatório final: setor de cerâmica vermelha.

WOOD AND NATURAL GAS AS FUELS FOR TUNNEL KILNS IN THE CLAY-PRODUCT INDUSTRY

Abstract. *The clay-product industry is responsible to large part of the thermal energy consumption, especially on drying and burning process. In spite of the success obtained with the burning of wood like principal fuel for tunnel kilns, the clay-product industries of Santa Catarina have looked for alternatives to substitute it. The interest appears especially due to imminent shortage of the wood on the market and due to possibility of use natural gas as a good and environmentally favorable alternative to reduce the energy specific consumption of the kilns, to increase the production and to improve the quality of the ceramic products. Nowadays, the natural gas is more expensive when compared with the wood. However, we believe that additional studies can place this fuel as a viable alternative to the clay-product industries.*

Key-words: *Clay-product, Tunnel kiln, Natural gas, Thermoeconomic analysis*