

ANÁLISE COMPARATIVA DA PERDA DE CALOR ENTRE O FORNO CAIEIRA E FORNO ABÓBADA COM ISOLAMENTO

Dabney Sérgio Guedes de Morais, dabneysergio@hotmail.com¹
José Ubiragi de Lima Mendes, ubiragi@ct.ufrn.br¹
Rodrigo Márcio da Silva, rodrigomarcio@yahoo.com.br¹
Milson Oliveira da Trindade Filho, milson_trindade@hotmail.com¹
Marcos Alexandre de Vasconcelos Cavalcante, alexandre.mecanica@gmail.com¹

¹UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal/RN – Brasil.

***Resumo:** Os fornos mais utilizados pela indústria cerâmica vermelha na região central do Rio Grande do Norte são os fornos intermitentes do tipo caieira e do tipo abóbada. Estes fornos apresentam um baixo rendimento térmico se comparados com outros tipos de fornos, devido à grande quantidade de calor utilizada para aquecer a estrutura do forno a cada queima e a perda de calor através das suas paredes e teto, gerando com isto um consumo maior de energia, o que significa maiores quantidades de combustível, elevando o custo da produção. Este trabalho visa à análise comparativa do comportamento térmico destes dois tipos de fornos através do monitoramento das temperaturas externas das paredes do forno, a emissividade, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento local.*

***Palavras-chave:** Fornos, temperatura, rendimento térmico, taxa de transferência de calor.*

1. INTRODUÇÃO

Os principais produtos da indústria cerâmica vermelha são os tijolos furados, tijolos maciços, telhas ou lajes, blocos de vedação e estruturais, telhas, manilhas e pisos rústicos. Este tipo de indústria distribui-se por todo país, podendo ser classificadas na sua maioria em micro e pequenas empresas, quase sempre de organização simples e familiar. Levantamentos mostram que existem 11.000 unidades produtivas, em uma média de 25 a 30 empregados, somando entre 250.000 a 300.000 empregos. Calcula-se que o valor da produção anual pode estar ao redor de US\$ 2 500 milhões. Essa renda fica nos locais de produção, com alto significado social na criação de emprego ao propiciar a construção em geral principalmente moradias (Bustamante et al., 2000).

Existem vários tipos de fornos que são empregados pela indústria de cerâmica vermelha. Estes fornos são divididos pelo modo de produção, sendo os do tipo caieira ou de campanha, abóbada, plataforma e chama reversível, classificados como intermitentes e utilizados em olarias de pequeno e médio porte, os fornos do tipo Hoffmann, túnel convencional, túnel de queima rápida e forno a rolos são classificados como fornos contínuos com utilização em indústrias de grande porte. Um dos principais gargalos desta indústria é o elevado consumo de energia térmica, energia esta que advém da queima direta de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos. Das operações básicas do processo de fabricação, é na secagem e na queima onde se debita todo o consumo de energia térmica.

Tradicionalmente a lenha é o combustível mais utilizado, embora os fornos atualmente utilizados pelo setor tenham sido originalmente projetados para a queima de combustíveis sólidos, as suas modificações para queima de combustíveis líquidos ou gasosos não oferecem nenhum problema técnico. Atualmente a lenha passa a ser um combustível cada vez mais caro e difícil de ser encontrado, pois a imensa maioria das empresas não possui áreas de reflorestamento e a legislação ambiental impõe barreiras à utilização de lenha proveniente do corte de matas nativas. Ao problema do desmatamento provocado pelo uso da lenha nativa, soma-se ainda, a poluição provocada pela queima deste combustível, contribuindo para o aumento dos níveis de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, principal responsável pelo efeito estufa. Naturalmente a queima controlada de lenha através de reflorestamento minimiza o efeito estufa através da fixação de CO₂ (Santos, 2000). Exatamente para compensar a falta de tal controle, o gás natural surge como uma alternativa tecnicamente viável para o setor, contribuindo para a redução da queima de lenha e das emissões de CO₂.

Na cadeia produtiva de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Norte são comumente empregados os fornos do tipo caieira e do tipo abóbada, ambos com características de perderem grandes quantidades calor através de

suas paredes. Para que houvesse uma diminuição da perda de calor seria necessário o aumento da espessura das paredes do forno ou a utilização de novos materiais isolantes térmicos, fazendo com que tais fornos fossem mais eficientes e assim diminuindo a quantidade de combustível empregado no processo de queima e atrelado a isto uma redução nos custos de produção.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização dos Tipos dos Fornos

Foram analisados dois tipos de fornos um do tipo caieira com dimensões de 6 m x 2,5 m x 5 m com espessura de 0,8 m, sendo todo construído em tijolos comuns, é o forno típico de pequenas olarias. Possui formato de um tanque como visto na Fig. (1), com seções horizontais e verticais quadradas ou retangulares com aberturas na sua parte inferior onde é colocada a lenha para queima. Estas aberturas têm uma cobertura na forma de abóbada feita com fileiras de tijolos separadas para dar passagem às chamas e sobre elas são arrumadas as peças, de modo a permitir a passagem dos gases de combustão.

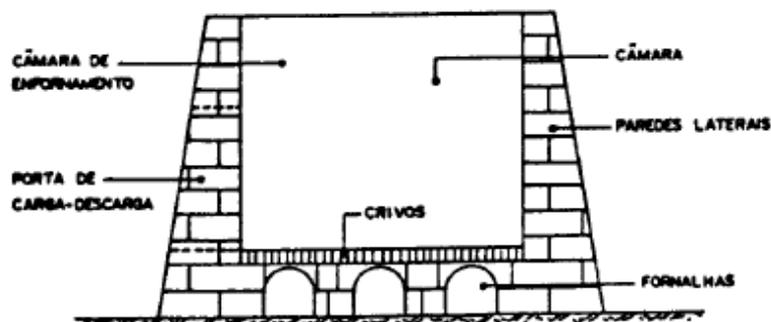


Figura 1. Esquema do forno tipo caieira ou de campanha (SUDENE/ITEP, 1988).

Outro forno analisado o do tipo abóbada Fig. (2) com 9 m de diâmetro interno e 3,5 m de altura na parte central da abóbada a espessura da parede cilíndrica é de 1 m e é feita de tijolo comum; já a espessura da parede da abóbada é de 0,3 m e é feita de uma combinação de tijolo refratário, argila e lã de vidro com capacidade de queima de 8 a 9 mil peças em uma fornada. Os gases quentes produzidos pela queima de lenha ou óleo entram no forno pela sua parte central ou inferior, exatamente onde são colocadas as peças. Estes gases quentes passam pelas peças e vão sair através do piso construído com tijolos perfurados ligados por dutos subterrâneos até a chaminé. O regime de operação compreende as etapas de carregamento, aquecimento lento, queima, resfriamento e descarga. Os tempos de operação para o aquecimento, a queima e o resfriamento são variáveis, dependendo da eficiência da secagem, do tipo e quantidade de peças a queimar e do projeto do forno.



Figura 2. Forno tipo abóbada

2.2. Metodologia Experimental

O comportamento térmico dos dois tipos de fornos foi avaliado durante o processo de queima do material cerâmico, todas as medidas foram tomadas quando os fornos estavam funcionando a plena carga com a uma temperatura de 900°C.

Para o cálculo das perdas de calor faz-se necessário basicamente os valores das temperaturas nas superfícies das paredes dos fornos (as temperaturas foram medidas em diversos postos dos fornos), da temperatura ambiente, valores da emissividade superficial das paredes dos fornos Fig. (4) e da velocidade do vento no local Fig.(3) onde os fornos estão instalados.

Na aquisição dos dados das temperaturas de trabalho utilizaram-se termopares do tipo K (Cromel-alumel) cujo limite de trabalho chega a 1300°C os quais foram inseridos no interior dos fornos através de um poço de termômetro. As temperaturas superficiais nas paredes externas dos fornos também foram medidas através de termopares tipo K (Cromel-alumel) acoplados nas paredes externas e mensurados através de termômetros digitais Minipa Kit 306 que possui um range de -50°C a 1300°C com resolução de 0,1°C. A emissividade das paredes foram medidas em vários pontos da mesma através de um pirômetro óptico do fabricante polimed com resolução de 8:1 e óptica de 0 – 1. Já a velocidade do vento foi medida através de um anemômetro de ventoinha que possui um range de 0,4 a 30 m/s com resolução de 0,1 m/s. É importante salientar que também foi medida a umidade relativa local do ar através de termo-higrômetro digital com amplitude de 25% a 95% RH. De posse dos dados calculou-se o a taxa de transferência de calor de cada forno ao ambiente, sendo que as taxas foram calculadas em W/m² devido às áreas dos fornos não serem as mesmas, o que poderia gerar resultados incoerentes.



Figura 3. Medição da velocidade do vento local.



Figura 4. Medição da emissividade da parede.

Para o cálculo da taxa de transferência de calor por convecção (q_c) Eq. (1) fez-se uso da fórmula de Rayleigh (Ra) Eq. (2) e com este número achou-se o coeficiente convectivo (h_c) com o valor de 2,5 W/m² K para o forno abóbada e de 4 W/m² K no forno caieira que é expresso pela Eq. (3). A Equação (4) foi utilizada para o cálculo da taxa de transferência de calor por radiação (q_r), sendo que a emissividade (ϵ) registrada pelo pirômetro óptico foi de 0,96 no forno abóbada e de 0,85 no caieira (Incropera e Dewitt, 1996). A umidade relativa local medida foi de 65%. E a velocidade do vento variava de 0,5 a 2,5 m/s em ambas as análises. A temperatura ambiente registrada foi de 26°C no momento das medições do forno caieira, e de 30°C quando foram medidas as temperaturas no abóbada.

$$q_c = \bar{h}_c A_s (T_s - T_\infty) \quad (1)$$

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)De^3}{\nu\alpha} \quad (2)$$

$$\bar{h} = \left(2 + \frac{0,589 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{4/9}} \right) \frac{K_f}{De} \quad (3)$$

$$q_r = \epsilon\sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (4)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os resultados das medições, foram calculadas as perdas térmicas dos dois fornos para que se pudesse fazer uma análise comparativa entre os mesmos. As Tabelas (1) e (2) mostram resultados.

Tabela 1. Taxa de transferência de calor do forno Caieira ao ambiente.

TIPO DE PERDA	ENERGIA PERDIDA ATRAVÉS DAS PAREDES LATERAIS (W/m ²)	ENERGIA PERDIDA ATRAVÉS DA PAREDE SUPERIOR (W/m ²)	ENERGIA TOTAL PERDIDA PELO FORNO (W/m ²)
RADIATIVA	1406,85	1487,78	2894,63
CONVECTIVA	824	568	1392
TOTAL	2230,85	2055,78	4286,63

Tabela 2. Taxa de transferência de calor do forno tipo abóbada com isolamento térmico ao ambiente.

TIPO DE PERDA	ENERGIA PERDIDA ATRAVÉS DA PAREDE INFERIOR CILÍNDRICA VERTICAL (W/m ²)	ENERGIA PERDIDA ATRAVÉS DA PAREDE SUPERIOR ESFÉRICA (ABÓBADA) (W/m ²)	ENERGIA TOTAL PERDIDA PELO FORNO (W/m ²)
RADIATIVA	66,00	2326,81	2392,81
CONVECTIVA	25,00	339,99	364,99
TOTAL	91,00	2666,80	2757,80

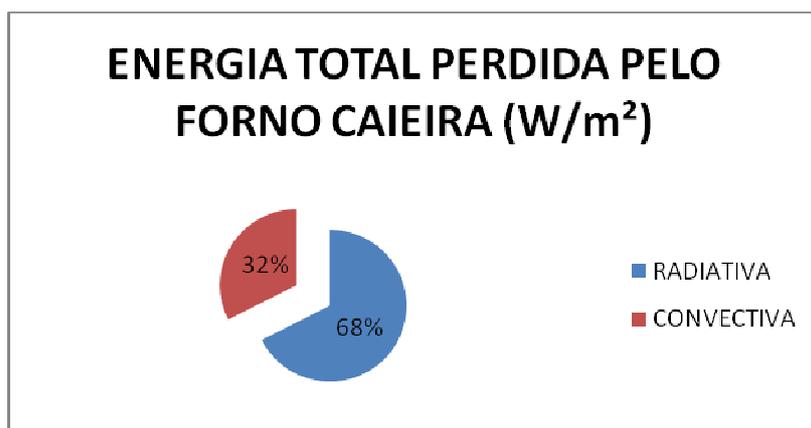


Figura 5. Contribuição da radiação e convecção na taxa de transferência de calor do forno caieira.

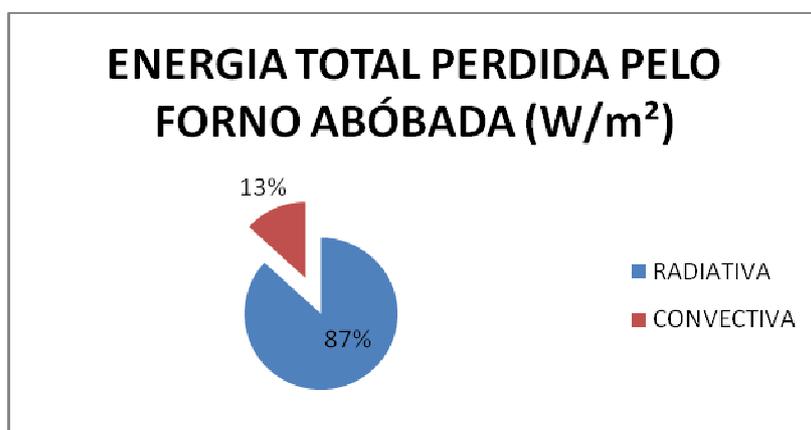


Figura 6. Contribuição da radiação e convecção na taxa de transferência de calor do forno abóbada c/ isolamento.

A partir das tabelas (1) e (2) fica clara a diferença de rendimento térmico total dos dois fornos chegando a o nível de 60 %, sendo que a maior diferença entre os dados está na parede inferior dos fornos, pois no forno abóbada registrou-se uma perda de 91 w/m² e para o forno caieira a taxa foi de 2230,85 W/m², ou seja, a perda de calor pelas paredes do forno abóbada é cerca de 25 vezes menor que a do forno caieira. Analisando agora as energias perdidas através da parede superior do forno caieira e da parede superior esférica da abóbada, observamos que a configuração abobada, tem uma perda de calor um pouco maior do que a do forno caieira, sendo esta perda de apenas 1,3 vezes. Esta elevada taxa de calor transferido através da abóbada é justificada pelos altos valores de temperatura a que a abóbada está sujeita.

Outra diferença dentre as taxas obtidas é a perda de calor por convecção, se analisadas as fig. (5) e (6) veremos que para o forno caieira, a convecção foi responsável por 32% da perda de calor para o ambiente, já no forno abóbada este valor foi de 13%, isto se deve ao fato que o forno abóbada está situado em um abrigo que o protege das rajadas de vento.

4. CONCLUSÕES

1. Possuindo uma melhor eficiência térmica aliada a uma melhor distribuição do calor gerado, o forno abóbada tem uma maior produção com produtos de qualidade superior aos do forno caieira já que permite uma melhor distribuição de calor no seu interior;
2. Para diminuir a perda de calor por convecção e aumentar a eficiência do forno caieira é necessária a construção de uma proteção que impeça que o mesmo seja atingido por rajadas de vento.
3. Um possível aumento da espessura das paredes juntamente com a utilização de material isolante no forno caieira poderia aumentar a sua eficiência, o que a colocaria em um nível próximo do rendimento do forno abóbada a baixo custo.
4. Para se determinar qual o melhor tipo de forno a se utilizar, os fatores econômicos como a quantidade de produção, controle de qualidade e consumo de combustível devem ser bem analisados, já que o forno abóbada possui uma configuração estrutural bastante complexa, logo os valores para sua construção são bem maiores se compararmos ao do forno caieira;

5. AGRADECIMENTOS

Conferimos os agradecimentos ao PPGEM/UFRN, ao Laboratório de Mecânica dos Fluidos pelo aprendizado concedido, a cerâmicas Tavares e São Francisco e a Capes/Reuni, por financiarem as bolsas de estudo para o laboratório.

6. REFERÊNCIAS

- Bustamante, G.M., Bressani, J.C., 2000, "A indústria cerâmica brasileira", Cerâmica Industrial, PP. 31-32.
- Santos, G.M., Bazzo, et al., "Serragem e Gás Natural como Fontes Energéticas em Fornos Túneis na Indústria Cerâmica Vermelha", In: ENCIT 2000 – 8º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas. Porto Alegre.
- Sudene/Itep., 1988, "Conservação de Energia no Setor Industrial: Cerâmica Estrutural". Recife: Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste/Fundação Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco.
- Souza, C.F., Mendes, J.U.L., Souza, L.G.M., Salomão, S.B., Santos, R.D., 2008, "Avaliação Térmica de um Forno Para Queima de Corpos Cerâmicos", In: 18º CBECIMAT.
- Incropera, F.P.; Dewitt, D.P. Fundamentals of heat and mass transfer, 2da. Ed., New York: John Wiley and Sons, 4th edition, 1996.
- Moran, J.M., Shapiro, H.N., "Fundamentals of engineering thermodynamics", 5º edição, Ed. Wiley. 825p.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores Dabney Sérgio Guedes de Moraes, José Ubiragi de Lima Mendes, Rodrigo Márcio da Silva, Marcos Alexandre de Vasconcelos Cavalcanti e Milson Oliveira da Trindade são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

COMPARATIVE ANALYSIS OF HEAT LOSS BETWEEN CAIEIRA AND ABÓBADA KILNS

Dabney Sérgio Guedes de Morais, dabneysergio@hotmail.com¹

José Ubiragi de Lima Mendes, ubiragi@ct.ufrn.br¹

Rodrigo Márcio da Silva, rodrigomarcio@yahoo.com.br¹

Milson Oliveira da Trindade Filho, milson_trindade@hotmail.com¹

Marcos Alexandre de Vasconcelos Cavalcante, alexandre.mecanica@gmail.com¹

¹UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal/RN – Brasil.

Abstract. The kilns used by the red ceramic industry in the central region of Rio Grande do Norte are the Caieira and Abóbada Type. These kilns have a low thermal efficiency compared to other types of kilns, due to the large amount of heat used to warm the structure of each burning oven and heat loss through the walls and ceiling, creating with it a greater consumption of energy, which means larger amounts of fuel, raising the cost of production. This study aims at comparative analysis of the thermal behavior of these two types of furnaces by monitoring the temperature inside the furnace and the walls, wind speed and the emissivity of the walls.

Keywords: *Temperature, red ceramic, heat transfer, thermal efficiency.*