

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM SECADOR CONTÍNUO UTILIZADO NA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA

Vicente de Paulo Nicolau

Universidade Federal de Santa Catarina

Vicente@lmpt.ufsc.br

Willian Anderson Lehmkuhl

Universidade Federal de Santa Catarina

Willian@cet.ufsc.br

Wagner Mitio Kawaguti

Universidade Federal de Santa Catarina

Wagner@cet.ufsc.br

Alessandro Pedro Dadam

Universidade Federal de Santa Catarina

Alessandro@cet.ufsc.br

Rafael Fernando Hartke

Universidade Federal de Santa Catarina

elemento@cet.ufsc.br

Tales Gottlieb Jahn

Universidade Federal de Santa Catarina

tales@cet.ufsc.br

Resumo: Uma das etapas mais importantes do processo de fabricação de produtos cerâmicos é a etapa de secagem. Esta etapa deve, de maneira geral, estar sincronizada com o processo de queima, caso contrário a secagem se torna o gargalo para o aumento da produção. Curiosamente ainda existem poucos estudos dirigidos para o problema da secagem na indústria de cerâmica, com ênfase na secagem de peças extrudadas. De maneira geral os secadores são alimentados por um energético barato ou com a energia que é recuperada dos fornos que, não raro, utilizam um energético mais nobre. Neste caso, o mau balanceamento entre a quantidade de energia recuperada e a quantidade de energia efetivamente retirada do forno pode aumentar consideravelmente o consumo de combustível. Com tudo isso, surge a seguinte questão: Será que a quantidade de energia disponível para recuperação nos fornos é suficiente para se realizar uma secagem eficiente em secadores que trabalham sincronizados e acoplados a esses mesmos fornos? O objetivo deste trabalho é, então, apresentar um estudo fenomenológico do processo de secagem, avaliação experimental das principais variáveis de processo envolvidas que servirá como ferramenta de projeto e análise de secadores. O presente trabalho vem sendo desenvolvido pelos autores, dentro do contexto das pesquisas de desenvolvimento tecnológico para a aplicação de gás natural na indústria de cerâmica vermelha, com apoio da RedeGásEnergia e do Depto. de Eng^a Mecânica da UFSC.

Palavra Chave: *Cerâmica Vermelha, Secador Contínuo, Análise Térmica, Secagem.*

1 - Introdução:

Dos processos envolvidos na fabricação de peças cerâmicas, uma das etapas mais importantes é a secagem. Especialmente no caso da cerâmica vermelha é nesta etapa que se dá a eliminação da maior quantidade de água e também a maior retração das peças.

Os equipamentos utilizados para a secagem forçada são denominados de secadores e estes podem ser contínuos ou intermitentes.

Geralmente a energia térmica utilizada nestes equipamentos é proveniente da recuperação de calor da zona de resfriamento do forno. Quando esta não é suficiente pode-se ter uma geração auxiliar através de uma fornalha, por exemplo. No entanto, para o caso de haver somente recuperação de calor do forno, deve-se tomar especial atenção com o balanceamento entre a quantidade de energia recuperada no resfriamento e a quantidade de energia efetivamente retirada do forno para o secador. Pois, caso alguma energia da zona de queima esteja sendo transferida para o secador, pode-se aumentar consideravelmente o consumo de combustível do forno.

A secagem deve, de maneira geral, estar sincronizada com o processo de queima, caso contrário pode se tornar o gargalo do aumento de produção.

Um aumento na eficiência e na produção do secador tem reflexo direto no aumento da produção do forno, graças à entrada de material mais seco e preparado para a queima.

2 – Secador tipo túnel:

Dos secadores de funcionamento contínuo, os secadores do tipo túnel são os mais difundidos na indústria de cerâmica vermelha. São constituídos de um túnel, metálico ou de alvenaria e trilhos nos quais se move uma série de vagonetas que carregam o material a ser secado em contracorrente com o ar quente. Secadores do tipo túnel estão entre os mais eficientes, do ponto de vista energético e do poder de eliminação de água.

As vagonetas avançam em intervalos pré-estabelecidos de tempo ou continuamente e, enquanto uma nova vagoneta com material úmido entra no secador, uma outra com material seco sai do lado oposto do túnel. É durante este trajeto que ocorre a secagem e regulagens são necessárias para o bom funcionamento do conjunto, de modo a evitar a formação de trincas no material.

Um secador do tipo túnel pode ser esquematicamente dividido em três regiões:

1. Zona úmida: compreende a parte de entrada das vagonetas carregadas de material úmido, ocupando cerca de 30% do comprimento do secador;
2. Zona neutra: a parte central do secador, com um teor médio de umidade e ocupando cerca de 30% do comprimento do secador;
3. Zona seca: corresponde à saída das vagonetas carregadas de material já quase seco, ocupando cerca de 40% do comprimento do secador;

Na zona úmida o ar deve conter cerca 95% de umidade relativa, devido à entrada das peças completamente úmidas, contribuindo para formação de um ambiente úmido em torno das peças a secar, impossibilitando assim a sua ruptura. Entretanto a umidade relativa não deve alcançar 100%, sob pena de se inverter o processo de secagem, isto é, de ocorrer a umidificação das peças na entrada do secador (situação na qual, na prática, diz-se “chover” dentro do secador).

Quanto à zona neutra, a umidade relativa do ar deve ficar em torno de 60%, onde as peças já devem ter perdido boa parte de sua umidade, atingindo sua maior retração.

Na zona seca o maior cuidado deve ser em evitar um choque térmico das peças na saída do túnel, quando estas encontram novamente um ambiente frio e úmido. Além disso, se as peças secas ficarem estocadas muito tempo em um ambiente úmido, elas poderão reabsorver umidade, anulando em parte o trabalho de secagem.

Neste estudo foi realizada uma série de medições com o intuito de levantar dados para se ter um conhecimento mais aprofundado deste sistema de secagem, e assim se poder buscar a melhor condição de operação possível.

Os principais dados levantados foram: curva de temperatura, curva de umidade da atmosfera do secador e variação de massa das peças.

O secador analisado pertence à Cerâmica Heinig, localizada na cidade de Brusque-SC, parceira de um dos projetos da RedeGásEnergia.

3- Medições:

Para a obtenção destas medições foram feitos 13 furos ao longo dos 30 metros de comprimento do secador (figura 1), posicionados rente à parede lateral. Nestes locais foram medidas as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido ao longo do secador, com o objetivo de levantar a curva de temperatura e de umidade relativa existente.



Figura 1 – Medição da umidade relativa.

O sistema de medição da temperatura de bulbo seco é constituído de um termopar tipo J (Ferro-Níquel), encapsulado em um tubo de alumínio com orifícios na ponta para tentar diminuir o efeito da radiação nos resultados. A temperatura de bulbo úmido é medida através de um termopar tipo J, com a ponta envolta em uma mecha mergulhada em água, montado em um tubo de alumínio. Na outra extremidade do tubo de alumínio tem-se um ventilador succionando o ar de dentro do secador. Este ar entra em contato com o termopar envolvido na mecha, evaporando a água ali presente, resfriando-a e fazendo com que o mesmo acuse uma temperatura que está relacionada com a umidade do ambiente em questão (figura 1).

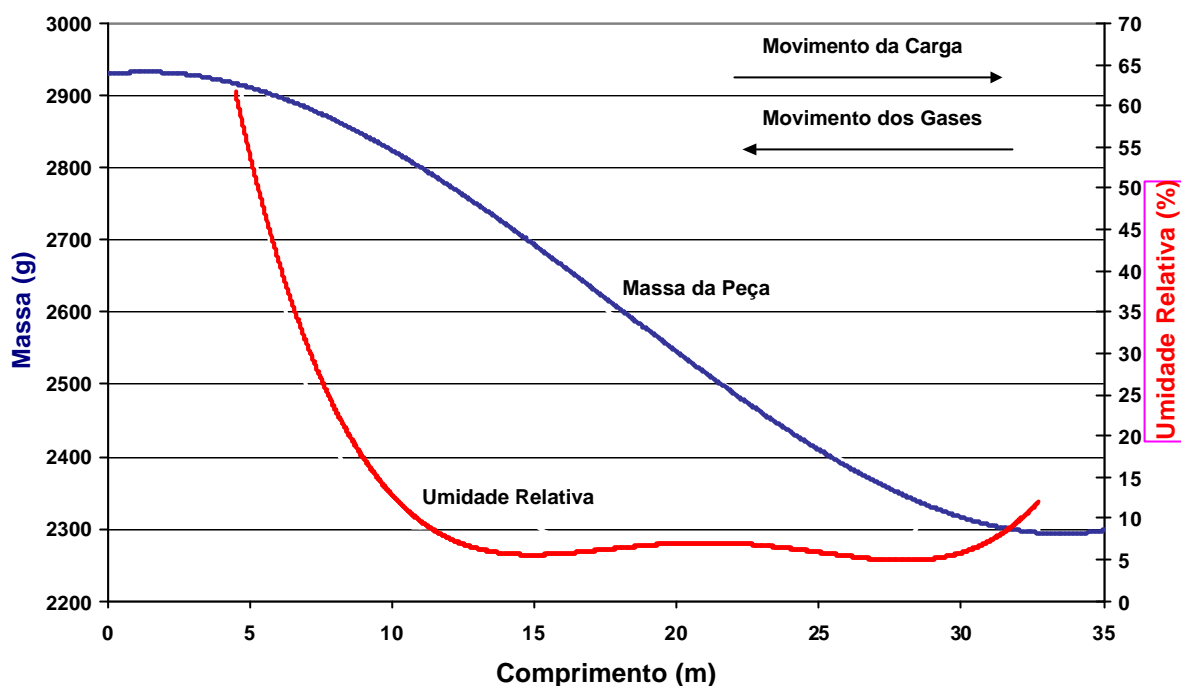


Figura 2 – Situação 1

Na Figura 2 pode ser visto um gráfico da curva de umidade relativa e a curva de variação de massa da carga ao longo do secador. Neste gráfico pode-se verificar uma variação muito brusca da umidade relativa nos 10 primeiros metros do secador. Este fato faz com que ocorram trincas de secagem devido a alta taxa de retração da peça. As trincas ocorrem porque devido a esta alta taxa de retração, a parte da peça que está em contato direto com a atmosfera do secador retrai rapidamente, enquanto a outra face da peça que está em contato com a vagoneta não retrai na mesma velocidade, ocasionando tensões internas.

O teste da variação da massa de um tijolo ao longo do secador foi feito através da escolha de uma amostra e o seu acompanhamento durante todo o ciclo de secagem que foi de 18 horas. Para este teste escolheu-se o tijolo de 6 furos (10x15x20cm), que é o produto mais comum em cerâmica vermelha. Com o resultado destas medições pode-se verificar em qual região o secador está funcionando com maior eficiência e onde as trincas de secagem ocorrem.

Pela figura 2 pode-se observar que, nos primeiros 10 metros do secador, ocorre uma pequena diminuição da massa do tijolo, embora a região de entrada de um secador seja caracterizada por uma alta variação de massa devido ao fato de o material vir carregado de umidade em sua superfície. Uma taxa menor ocorre na parte central do secador, já que a umidade a ser removida está dentro do tijolo.

4 - Alterações no Secador:

Com vistas à otimização do secador estudado foram executadas algumas alterações, a saber:

1) Portas foram instaladas na entrada do secador impedindo a infiltração de ar frio do ambiente. A tiragem do ar úmido passou a ser feita em um só lugar, através de um exaustor localizado junto à porta de entrada do secador. Anteriormente havia uma forte tiragem no centro do secador, via chaminé, o que impedia que boa parte do ar circulante chegasse à porta de entrada do secador.

2) O sistema de injeção de ar quente no interior do secador deixou de ocorrer em apenas um canal central, passando a utilizar também os dois canais no interior das paredes externas (figuras 3 e 4), eliminando-se a possibilidade de ocorrer a secagem dos produtos somente em um lado do vagão, como ocorria anteriormente (figuras 6 e 7).

3) Foi instalado um novo exaustor para se realizar a tiragem de ar quente da zona de resfriamento do forno. Este novo exaustor permite a adição de ar frio como forma de se obter um volume adicional de ar para o secador bem como para controlar a temperatura de entrada destes gases.

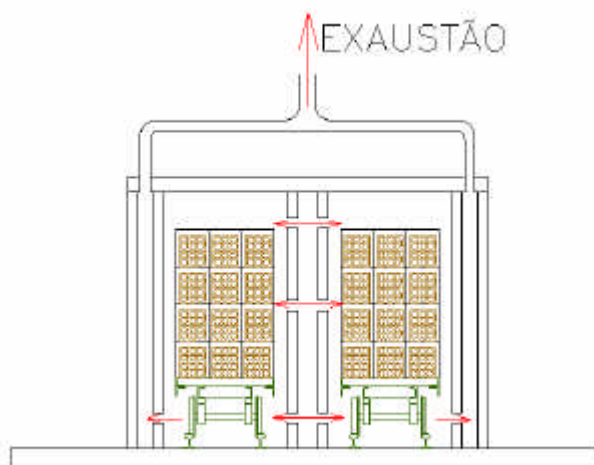


Figura 3 – Sistema de exaustão dos gases úmidos.

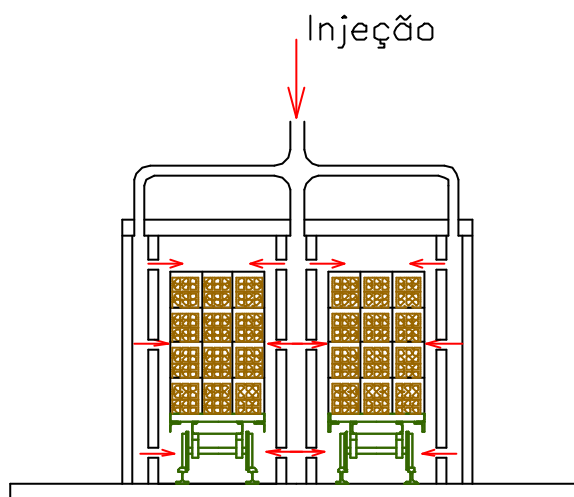


Figura 4 – Injeção de ar quente no secador.

Na figura 6 verifica-se o resultado da secagem das peças no secador com as suas configurações iniciais de funcionamento. Através desta figura pode-se notar a deficiência de secagem que ocorre na parte lateral e inferior da carga, devido à injeção de gases quentes ser feita somente pelo canal central do secador. Vale esclarecer que este comporta duas fileiras de vagonetas colocadas lado a lado com a injeção sendo pelo canal entre as duas vagonetas, sendo os gases recolhidos na lateral.

Na figura 5 nota-se que o material está secando mais uniformemente em sua parte lateral, apresentando ainda uma pequena dificuldade na parte central da vagoneta, onde a cor escura indica que ainda está úmido. Esta dificuldade remanescente é devido à disposição das peças, uma vez que as peças nas laterais da vagoneta estão com os furos coincidentes com o fluxo de ar vindo dos canais, apresentando uma boa secagem. Por sua vez as peças centrais poderiam ter os furos alinhados no sentido longitudinal do secador, facilitando o escoamento que passa a ser também neste sentido. Entretanto esta mudança implica em dificuldades operacionais no momento do carregamento da vagoneta.



Figura 5 – Situação 1



Figura 6 – Situação 2

Após as modificações efetuadas no secador, novos dados foram colhidos e são apresentados na figura 7. Nesta figura nota-se que a grande variação de umidade relativa verificada anteriormente na entrada do secador foi eliminada, se eliminado as trincas devido às diferenças de retração nas peças.

Uma maior inclinação da curva de umidade na segunda metade do secador pode ser atualmente observada, não representando nenhum problema, pois nesta região o material já eliminou boa parte de sua umidade original e já retraiu uniformemente, podendo ser submetido à variações mais bruscas.

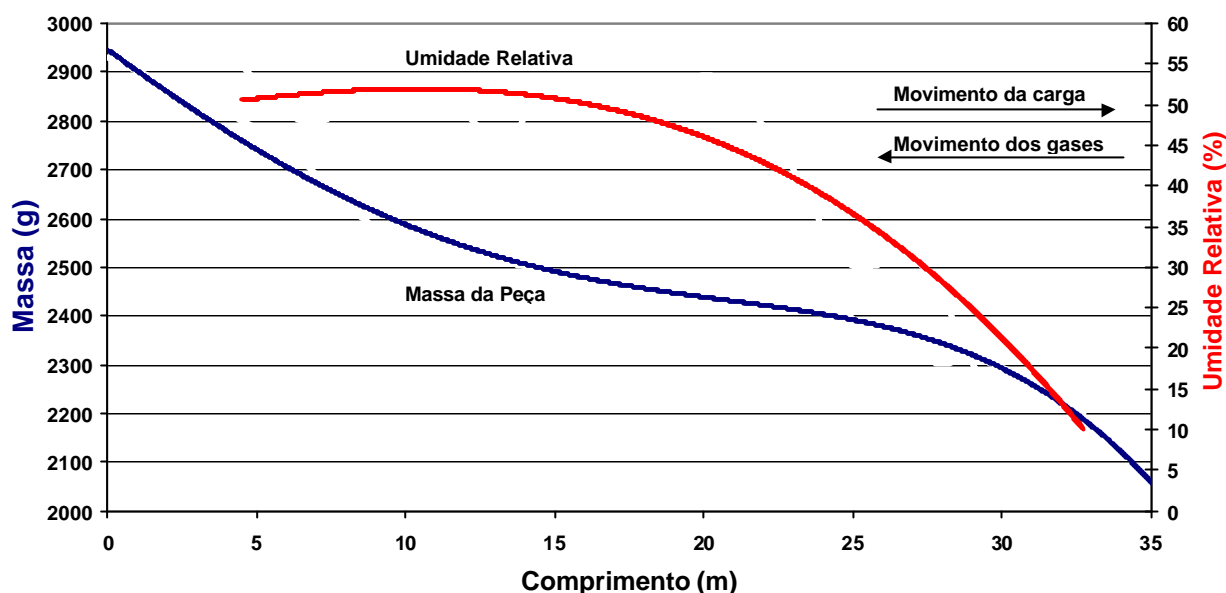


Figura 7 – Situação 2

Uma maior inclinação na curva de perda de massa da peça na parte inicial mostra que houve uma rápida eliminação do excesso de umidade que fica sobre a superfície da peça e que anteriormente demorava a ser removido. Com a remoção desta umidade superficial logo nos primeiros metros da secagem, pode-se acelerar a retirada da umidade de dentro da peça sem que ocorra o problema de trincas por retração.

Na região final do secador a carga já se encontra praticamente seca, com massa reduzida. Um baixo valor também ocorre na umidade do ar, pois nesta região ocorre a injeção de ar seco proveniente do forno, misturado com ar externo. Esta mistura ainda mantém o ar em uma temperatura elevada.

Na figura 8 pode-se observar os perfis de temperatura ao longo do secador, para as diversas situações: As temperaturas foram alteradas, tendo-se menores temperaturas com as mudanças implementadas, mas com maior eficiência de secagem, pois a distribuição do ar circulante foi melhorada. O ar aquecido é adicionado no sentido contrário ao do movimento da carga, tendo-se maiores temperaturas no final do secador, onde a carga está mais seca.

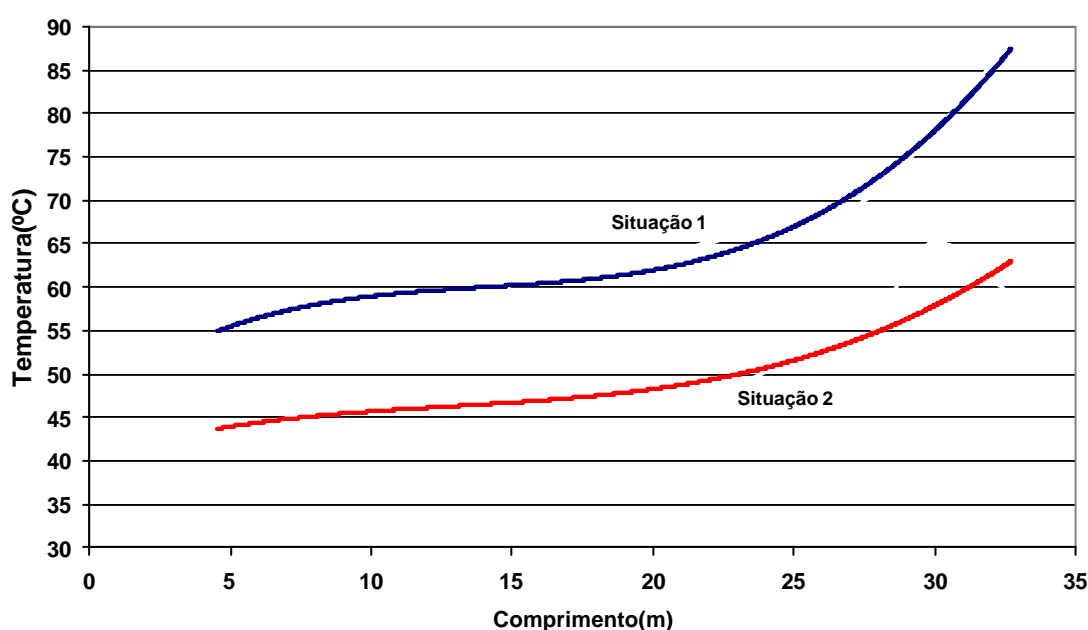


Figura 8 – Perfis de temperatura: 1- antes da reforma; 2- após a reforma.

5 – Secagem e Produção:

Na tabela 1 tem-se o comparativo entre as condições anterior e posterior à reforma do secador, quanto à retirada de umidade das peças. Estes dados foram obtidos com a pesagem de 10 tijolos antes e depois da secagem, retirados da parte superior e da parte inferior da vagoneta. O valor percentual representa o quanto de massa foi retirado em relação à massa do tijolo na saída do secador. Observa-se que houve uma retirada maior de umidade em ambas as posições, e que também se passou a ter uma secagem mais homogênea. A secagem atual difere em apenas 3 pontos percentuais entre amostras inferiores e superiores, quando anteriormente esta diferença estava em praticamente 12 pontos percentuais. A tendência natural de maior secagem na parte superior ainda ocorre, mas a homogeneização obtida já é bastante satisfatória.

Tabela 1 – Eficiência da secagem antes e depois da reforma do secador.

Situação	Posição na vagoneta	Massa média dos tijolos (kg)		Perda de massa [%]
		entrada	saída	
Anterior a reforma	Inferior	2,700	2,377	13,6
	Superior	2,675	2,134	25,4
Posterior a reforma	Inferior	3,630	2,880	26,0
	Superior	3,550	2,750	29,1

Na tabela 2 têm-se os valores estimados de massa na entrada e na saída do secador, anteriores e posteriores a reforma, indicando um aumento percentual de 29% da produção, tendo como base a massa de saída do secador. Estes valores associados aos anteriores mostram que se conseguiu secar uma produção maior e com mais eficiência, se considerados também os resultados apresentados na tabela 1, apenas com a execução de pequenas obras no secador.

Tabela 2 – Aumento de produção do secador após a reforma

Situação	Massa de entrada (ton/mês)	Massa de saída (ton/mês)	Aumento relativo à massa de saída
Anterior a reforma	877	715	100%
Posterior a reforma	1.170	925	129%

6 - Balanço Térmico do Secador:

As tabelas 3 e 4 mostram o resumo do balanço de massa e de energia no secador. Os resultados obtidos no dia 05/11/03 (situação 1) referem-se às medições realizadas com o secador operando em seu estado original. Já os resultados obtidos no dia 12/11/03 (situação 2) referem-se às medições com o secador operando em sua nova configuração. Na situação 1 a chaminé que existia interligada ao centro do secador, ajudava na condução do ar quente proveniente da zona de resfriamento do forno. Apesar da grande vazão de ar, resultava uma secagem ineficiente, além de um alto custo energético devido à extração para a atmosfera de gases ainda muito quentes. Nesta condição apenas 12,7% da energia que entra no secador está associada aos gases do exaustor – que em última análise é o responsável pelo transporte da umidade para o exterior. O restante da energia, 87,3%, está associado ao transporte pelas peças que saem aquecidas do secador, perdas pelas fronteiras e pela chaminé central que havia. Na situação 2 cerca de 63% da energia que entra no secador está associada aos gases do exaustor, indicando um grande aumento de rendimento do sistema. Nesta nova condição o rendimento global do secador aumentou por dois motivos, a saber:

1) Maior aproveitamento energético devido ao fato de todos os gases que entram no secador serem forçados a circular até o final do mesmo. Foi ainda possível diminuir a vazão de ar quente extraído do forno.

2) Maior taxa de extração de água devido à injeção uniforme de ar quente na nova configuração. Na configuração anterior, algumas peças saíam do secador supersecas, enquanto outras eram ainda classificadas como verdes (muito úmidas). Pelo fato de o secador trabalhar com uma vazão de ar menor e, a uma temperatura mais baixa, as perdas térmicas pelas fronteiras do secador diminuíram, bem como as perdas associadas ao transporte de energia pelas peças para o exterior.

Tabela 3 – Resumo dos balanços de massa de e de energia – situação 1

Entrada	m (kg/s)	T (°C)	W (kgs/kg)	Entalpia (kJ/kg)	Potência (kW)
	9.08	140.3	0.000	184	1673
Saída	m (kg/s)	T (°C)	W (kgs/kg)	Entalpia (kJ/kg)	Potência (kW)
	4.91	45	0.009	43	212
5/11/2003					

Tabela 4 – Resumo dos balanços de massa de ar e de energia – situação 2

Entrada	m (kg/s)	T (°C)	W (kgs/kg)	Entalpia (kJ/kg)	Potência (kW)
	5.48	120	0.000	103	562
Saída	m (kg/s)	T (°C)	W (kgs/kg)	Entalpia (kJ/kg)	Potência (kW)
	5.58	40	0.019	63	354
12/11/2003					

7 - Conclusão:

Este artigo mostra os avanços obtidos com a ampliação da capacidade de um sistema de secagem sem o aumento de sua estrutura, através da otimização de seu funcionamento, aproveitando com maior eficiência toda a energia despendida para o secador. Embora apenas no momento de acerto do conjunto (forno + secador) pode-se avaliar o resultado do comportamento do mesmo, sabe-se que as mudanças já são responsáveis por uma redução das perdas de secagem em cerca de 30%.

Os resultados mostram também que os secadores, mais simples que os fornos, apresentam uma facilidade de regulagem e de ajuste. Entretanto estes equipamentos nem sempre são devidamente considerados no momento da execução, sendo concebidos com erros e distorções de difícil correção, a não ser com obras como as executadas.

8 – Referências Bibliográficas:

- [1] NICOLAU, V.P., JAHN, T. G., HARTKE, R. F., LEHMKUHL, W. A., KAWAGUTI, W. M., SANTOS, G.M. Análise energética de um forno túnel utilizado em cerâmica vermelha. Florianópolis: LabCet-UFSC, 2001, 12 p.
- [2] NICOLAU, V.P., HARTKE, R. F., LEHMKUHL, W. A., KAWAGUTI, W. M., JAHN, T. G., SANTOS, G.M. Análise numérica e experimental de um forno túnel utilizado em cerâmica vermelha. In: ENCIT 2002 – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas. Caxambú, 2002.
- [3] SANTOS, G. M., Estudo do Comportamento Térmico de um Forno Túnel Aplicado à Indústria de Cerâmica Vermelha, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UFSC, Florianópolis, Brasil.
- [4] TAPIA, R. E. C., VILLAR, S. C., HENRIQUE JR., M. F., et al. Manual para a indústria de cerâmica vermelha. Série uso eficiente de energia. Rio de Janeiro: SEBRAE, 2000, 90 p.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF A CONTINUOUS DRYER USED IN THE INDUSTRY OF STRUCTURAL CERAMIC

Vicente de Paulo Nicolau

Federal University of Santa Catarina

Vicente@lmpt.ufsc.br

Willian Anderson Lehmkuhl

Federal University of Santa Catarina

Willian@cet.ufsc.br

Wagner Mitio Kawaguti

Federal University of Santa Catarina

Wagner@cet.ufsc.br

Alessandro Pedro Dadam

Federal University of Santa Catarina

Alessandro@cet.ufsc.br

Rafael Fernando Hartke

Federal University of Santa Catarina

elemento@cet.ufsc.br

Tales Gottlieb Jahn

Federal University of Santa Catarina

tales@cet.ufsc.br

Abstract: One important stage of ceramic production is the drying procedure. This stage owes, in a general way, to be synchronized with the burning process, otherwise the drying becomes the restriction for the increase of the production. Surprisingly, few studies driven for the problem of the drying in the ceramic industry exist yet, with emphasis in the drying of shaped pieces. In a general way, the dryers are fed by a cheap energetic or heat recovered from the kilns, which often use a noble energetic. In this case, a poor balance between the amount of recovered energy and the amount of energy indeed retired of the oven can considerably increase the fuel consumption. In this context, the following question appears: Will the amount of available energy for recovery in the kilns be enough to drive an efficient drying in dryers that synchronized and coupled with those same kilns? The objective of this work is to present a study of the drying process, the experimental evaluation of main variables involved in the process that will serve as project and analysis tool of dryers. The present work has been developed by the authors, inside of the context of research and technological development for the natural gas application in the red ceramic industry, with support from RedeGásEnergia and the Department of Mechanical Engineering of UFSC.

Keywords: *Structural ceramic, Continuous Dryer, Thermal Analysis, drying process*