

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DA AREIA NA MISTURA ARGILA-AREIA NO PROCESSO DE SECAGEM EM UM SECADOR TIPO TÚNEL DE CONVECÇÃO FORÇADA

Nazareno de Pina Braga

Roberto de Freitas Neves

Célio Augusto Gomes de Souza

Departamento de Engenharia Química-CT/Universidade Federal do Pará-UFPA

Campus Universitário do Guamá, Rua Augusto Corrêa, 01

66075-900 – Belém, PA, Brasil – E-mail: celioag@ufpa.br

***Resumo.** A produção de peças cerâmicas na região paraense é feita por um número significativo de pequenos e médios produtores, sendo relevante a sua participação na economia amazônica. A secagem de corpos de prova (material extrudado) é uma etapa de importância fundamental para se obter um produto final de qualidade e conseqüentemente de boa comercialização. Utilizando um secador tipo túnel com convecção forçada, foram realizados experimentos com o objetivo de determinar a maior eficiência de secagem e qualidade de materiais cerâmicos, feitos com areia na percentagem de 15% na mistura argila-areia, variando a granulometria da areia em 35/42, 42/65, 65/100 e 100/150. É apresentada uma análise da retração linear nos diversos corpos de prova através do levantamento das curvas de Bigot. Em todos os ensaios realizados a qualidade do produto final, ou seja após a queima desses corpos, tais como: a não ocorrência de trincas, não deformação e boa resistência mecânica, indicam uma boa performance na etapa do processo de secagem. Neste trabalho também são calculadas e analisadas as propriedades físicas do produto acabado, tais como: porosidade aparente, absorção de água, massa específica aparente e tensão de ruptura.*

***Palavras-chave:** Mistura argila-areia, Secagem de peças cerâmicas, Retração.*

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho dá continuidade ao estudo de alguns aspectos da secagem de corpos de prova (tijolo extrudado), utilizando um secador tipo túnel com convecção forçada, que foi realizado no Laboratório de Secagem do Departamento de Engenharia Química da UFPA, trabalhando em conjunto com o Departamento de Engenharia Mecânica. Neste caso pretende-se avaliar o comportamento das curvas de taxa de secagem construídas a partir da derivação das curvas de secagem levantadas neste trabalho, para diferentes granulometrias da areia na mistura argila-areia.

As curvas de taxa de secagem obtidas, serão avaliadas considerando-se os dois períodos clássicos de secagem: taxa constante e taxa decrescente. Pretende-se verificar o comportamento sobre o processo de contração dos corpos de prova e a possibilidade de se quantificar os resultados obtidos. Para isto curvas de Bigot serão construídas para análise da contração do material argiloso.

Segundo Öller (1981), ao iniciar a secagem cada partícula argilosa encontra-se recoberta por uma fina película de água que a separa das demais e impede o contato de uma com a outra. Iniciada a secagem a água migra até a superfície da peça para substituir a água evaporada, com o que as partículas argilosas vão aproximando-se uma das outras, sendo isso que provoca a retração. Neste período essa água é chamada de água coloidal. À medida que vai evaporando-se a água e a peça vai retraindo, diminuem as vias de saída de água (tubos capilares) e a taxa de escoamento da água também diminui. A partir desse ponto, a água evapora-se do interior dos poros, chegando a superfície em forma de vapor. Neste período já não há variação sensível de retração e a taxa de secagem decresce sensivelmente. Nesta fase a água é chamada de "água de interposição".

2. MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Materiais. A argila utilizada neste trabalho é a mesma utilizada pelas olarias da região margens do Rio Guamá. A granulometria foi feita em peneiras tipo Tyler, onde obteve-se um produto abaixo da malha de 400 mesh (37μ). Para a areia, a análise granulométrica teve o objetivo de separar as granulometrias em 35/42, 42/65, 65/100 e 100/150, as quais foram utilizadas para a preparação dos corpos de prova que foram submetidos ao processo de secagem. Estes produtos retidos se mostraram adequados para confecção das peças extrudadas a serem secadas no secador tipo túnel. A partir do material argiloso (mistura argila-areia) foram elaborados corpos de prova extrudados de dimensões 0,20 m x 0,019 m x 0,029 m com percentagem de areia de 15%.

Equipamentos Experimentais. O sistema experimental está esquematizado na Figura 1. O secador foi construído em madeira, onde o ar é insuflado por um soprador (1), e aquecido por resistências elétricas colocadas em paralelo (2). O controle de temperatura do ar do secador é feito por um termostato (3). Há psicrômetros (4), antes e depois do sistema de pesagem (5). Este sistema de pesagem possui uma balança semi-analítica e um suporte para os corpos de prova. Em um dos corpos de prova a ser secado é colocado o retrator, objeto de estudo. A velocidade do ar é medida (6), na saída do secador em intervalos de 30 minutos. A Figura 2, mostra o retrator linear em funcionamento no secador tipo túnel. Este aparelho foi projetado e construído por Braga et al. (1998), para levantar dados de retração linear durante o processo de secagem, permitindo a construção das curvas de Bigot.

Métodos. Foram utilizados quatro corpos de prova com as dimensões (0,20x0,029x0,019) m, sendo a secagem realizada em um secador tipo túnel com a velocidade de ar de secagem e temperatura definidas, sendo regulados através de um anemômetro de pás (marca IOPE FA-1) e de um termostato, respectivamente.

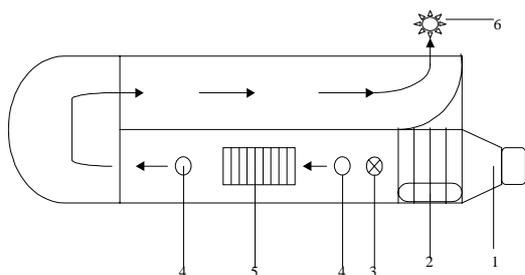


Figura 1 – Esquema do sistema experimental.

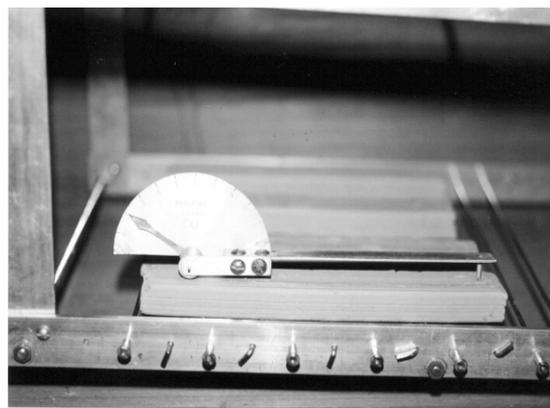


Figura 2- Retratômetro no processo de secagem

Foram realizadas quatro corridas experimentais para a determinação das curvas de secagem para a temperatura de 333,15 K e velocidade de ar de secagem de 2,5 m/s na saída do secador. Os corpos de prova são feitos de mistura argila-areia na proporção de 15%, variando-se a granulometria da areia em 35/42, 42/65, 65/100 e 100/150. Para cada corrida experimental foram usados quatro corpos de prova, onde foi calculada a percentagem de água para cada corpo, mas devido os resultados obtidos ficarem próximos uns dos outros, optou-se por um tratamento dos dados em termos de um valor médio.

O cálculo da perda de massa foi feito através da pesagem dos corpos em tempos pré-determinados no decorrer do processo de secagem. Os corpos de prova foram pesados antes de iniciar o experimento e depois em intervalos de 600 segundos até o tempo onde praticamente não havia mais variação do teor de umidade. Finalizada a secagem, colocava-se os corpos de prova em uma estufa a 373,15 K, onde obtinha-se a massa de sólido seco após 24 horas. A equação (1), permite calcular os valores de teores de umidade em base seca.

$$X_{(\%bs)} = \left(\frac{M_{(t)} - M_{ss}}{M_{ss}} \right) 100 \quad (1)$$

onde: $X_{(\%bs)}$ é a quantidade percentual de umidade em base seca, $M_{(t)}$ a massa do corpo de prova que varia com o tempo de processo de secagem., M_{ss} a massa do corpo seco após o processo de queima.

Para descrever o processo de secagem serão utilizadas as seguintes equações:

- Para o primeiro período de taxa constante:

$$X = A + Bt \quad (2)$$

onde: X é o teor de umidade que varia com o tempo de secagem (t). A e B são constantes.

Para o segundo período de taxa decrescente, foi utilizado o modelo modificado de PAGE (1949).

$$X = C \exp(-kt^D) \quad (3)$$

onde: C, K, e D são constantes.

As curvas de taxa de secagem versus tempo de secagem, foram obtidas a partir da derivação das equações (2) e (3) que são:

$$R = -\frac{(M_{ss})}{A_T} \cdot (-B) \quad (4)$$

$$R = -\frac{(M_{ss})}{A_T} \cdot [-C.D.\exp(k.t^{-1+D})] \quad (5)$$

A taxa de secagem foi calculada através da equação 6:

$$R = -\frac{(M_{ss})}{A_T} \cdot \frac{dX}{dt} \quad (6)$$

onde: R é a taxa de secagem e A_T , a área total dos corpos de prova.

O cálculo da retração linear foi feita da seguinte maneira: a leitura da retração era feita a cada 1% na escala do retratômetro não tendo um intervalo de tempo pré-determinado. À medida que se processava a secagem o intervalo de tempo para cada leitura aumentou linearmente até retração constante.

$$\text{Retração Linear} = \frac{L_0 - L(t)}{L(t)} \times 100 \quad (7)$$

onde: L_0 é o comprimento inicial do corpo de prova e $L(t)$, o comprimento que varia com o tempo de secagem.

Mais detalhes sobre o levantamento das curvas de retração podem ser obtidos no trabalho de Braga et al (1998).

A partir da equação 8 proposta por Norton (1975), a retração linear foi convertida para retração volumétrica possibilitando assim a construção das curvas da Figura 8, apresentada nos resultados e discussões.

$$b = 100 \left[\left(\frac{a}{100} + 1 \right)^3 - 1 \right] \quad (8)$$

onde: b = retração volumétrica (% do volume inicial),
a = retração linear (% da aresta inicial).

Cálculo das propriedades físicas do produto acabado

a) Porosidade Aparente – PA (%)

O cálculo da porosidade aparente foi efetuado através da equação:

$$PA(\%) = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100 \quad (9)$$

onde: M_u é a massa úmida (g), M_s é a massa seca (g), e M_i é a massa imersa (g).

b) Absorção de Água – AA (%)

O cálculo da absorção de água foi efetuado através da equação abaixo:

$$AA(\%) = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (10)$$

onde: M_u é a massa úmida (g) e M_s é a massa seca (g).

c) Massa Específica Aparente – MEA (g/cm^3)

O cálculo da massa específica aparente foi feito empregando-se a seguinte equação:

$$MEA(\text{g}/\text{cm}^3) = \frac{M_s}{M_u - M_i} \quad (11)$$

onde: M_u é a massa úmida, M_s é a massa seca e M_i é a massa imersa.

d) Tensão de Ruptura à Flexão – TRF (kgf/cm^2)

A tensão de ruptura à flexão foi determinada através da equação:

$$TRF(\text{kgf}/\text{cm}^2) = \frac{3PL}{2ch^2} \quad (12)$$

onde: P é a Força (kgf), L é a distância entre os apoios (cm), c é a largura do corpo de prova (cm) e h é a altura do corpo de prova (cm).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise das curvas de secagem. A Figura 3, mostra a percentagem de umidade (X/X_o) versus tempo de secagem, onde X_o , é o teor de umidade inicial. As curvas de secagem obtidas são para as diferentes granulometrias da areia na mistura argila-areia (MAA), a 15% de areia, onde indica que a taxa de secagem modifica-se com o tempo e com o teor de umidade, porém esta variação é melhor entendida se construirmos um gráfico da taxa de secagem (R) em função do tempo de secagem, conforme estão nas Figuras 4 e 5.

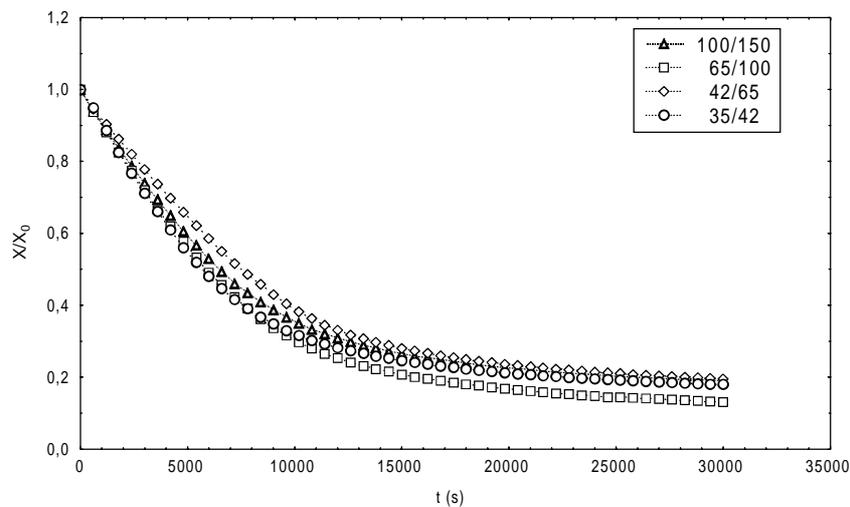


Figura 3- Curvas de secagem - Efeito da granulometria da areia na mistura argila-areia.

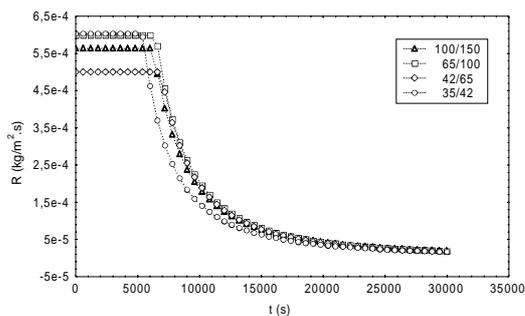


Figura 4 - Curva de Taxa de Secagem com o tempo.

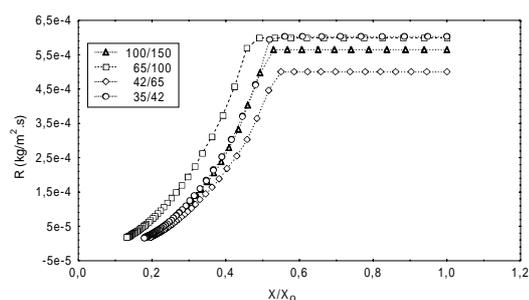


Figura 5 - Curva de Taxa de Secagem com o teor de umidade.

Observa-se nas curvas de secagem das Figuras 4 e 5, a presença de dois períodos distintos para o processo de secagem: a secagem a taxa constante e secagem a taxa decrescente. Verifica-se que o período de taxa constante corresponde a uma região onde a taxa permanece em um patamar uniforme, onde o fim do período a taxa constante terá como coordenadas a taxa constante de secagem (R_c) e a umidade crítica (X_c). Isto mostra que todos os corpos de prova possuem umidade superficial, ou seja há sobre essa superfície uma película contínua de água a qual age como água livre. Abaixo deste ponto tem-se o início do período de taxa decrescente, onde a umidade do material diminui até alcançar a umidade de equilíbrio (X_e), para as condições usadas no processo. Nesta etapa a taxa de secagem é controlada pelas condições internas de transferência de massa, ou seja por efeitos capilares, onde a água se retira cada vez mais de dentro dos poros de forma que a taxa de secagem se torna cada vez menor. No ponto (X_e), a taxa de secagem é nula e não há mais secagem. A Figura 4 mostra que o tempo de secagem é maior do que para as misturas de argila-areia extrudadas, porém o aumento da granulometria da areia na mistura não influenciou no tempo de secagem, permanecendo praticamente o mesmo nas condições estudadas. A Tabela 1 apresenta os valores das constantes das equações (2) e (3) para o teor de umidade com o tempo e seus respectivos coeficientes de correlação (r), mostraram o excelente ajuste dos pontos experimentais aos modelos propostos, sugerindo que essas equações, podem descrever a cinética de secagem da argila pura e as das misturas argila-areia.

Tabela 1 – Coeficientes dos modelos ajustados para o teor de umidade dos corpos de prova de acordo com os modelos utilizados para o período de taxa de constante e período de taxa decrescente.

Experimento	1º Período: Taxa Constante			2º Período: Taxa Decrescente			
	A	B	r	C	K	D	r
35/42	0,99682	-0,000093	0,99925	0,073667	-114,645	-0,47296	0,99964
42/65	0,98422	-0,00007	0,99892	0,107487	-816,5	-0,701369	0,99975
65/100	0,983677	-0,000085	0,99823	0,030121	-109,389	-0,419361	0,99964
100/150	0,97069	-0,00008	0,99525	0,080148	-159,940	-0,508296	0,99961

Análise da retração linear nos corpos de prova. No processo de secagem foi feito o acompanhamento da retração linear sofrida pelo corpo de prova, medindo-se a sua variação linear com auxílio do retrator linear. A Figura 6, foi obtida a partir dos dados da retração linear durante o tempo de secagem.

A Figura 7, mostra a percentagem de umidade versus retração linear para os quatro ensaios. Estes comportamentos são típicos das curvas de Bigot, e estão de acordo com os

encontrados na literatura (Robusté, 1963, Öller, 1981 e Hasatani et al, 1991). Observa-se que quanto mais fina a granulometria, maior retração a peça sofreu, o que está de acordo com Norton (1973), que diz que corpo de menor granulometria possui retração mais elevada.

Na Figura 7, observa-se que há duas classes da água de mistura nos corpos cerâmicos: água *coloidal*, é a que corresponde ao primeiro período de secagem e água de *interposição* que corresponde ao segundo período de secagem, onde a retração linear permanece constante. À medida que aumenta a granulometria de areia na argila a percentagem de água coloidal vai diminuindo e conseqüentemente a água de interposição vai aumentando, esta situação corresponde uma mistura de argila-areia de fácil secagem.

Pelo exposto vemos que uma peça cerâmica terá maior facilidade de secagem quando a percentagem de água coloidal for a menor possível quando comparada com a percentagem de água de interposição, pois uma peça argilosa que tem tendência a uma alta retração pelo grande conteúdo de água coloidal, contrairá na superfície, fechando os poros, evitando a passagem da água do interior da peça até sua superfície.

As mesmas informações acima citadas podem ser também representadas pela Figura 8 (Retração volumétrica em função do teor de umidade), onde a retração linear é convertida para retração volumétrica a partir da equação 8, se usa a variação volumétrica em função teor de umidade.

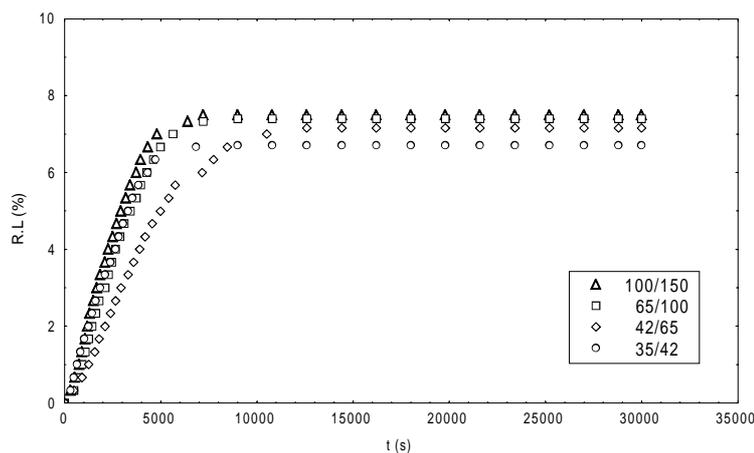


Figura 6 - Curva de Retração Linear (R.L.%) em função do tempo (t) variando a granulometria da areia.

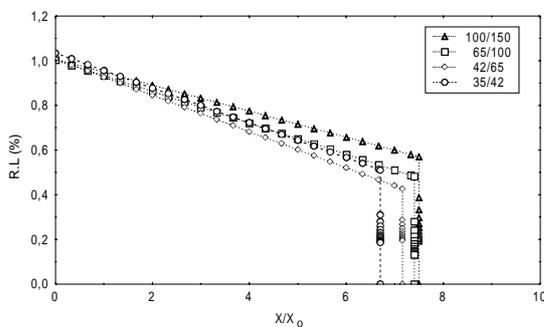


Figura 7 - Curvas de Bigot para os quatro ensaios (Teor de Umidade x Retração Linear).

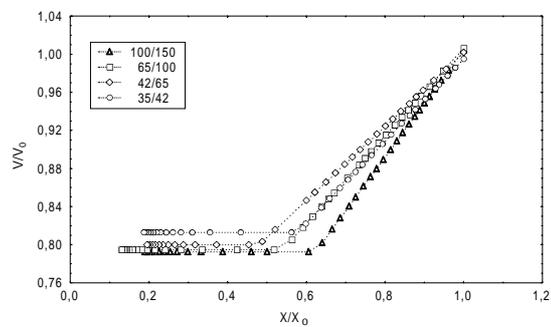


Figura 8 – Curva da Retração Volumétrica em função do teor de umidade variando a granulometria da areia.

Porosidade aparente – PA (%), **Absorção de água – AA (%)** e **Massa específica aparente – MEA (kg/m^3)**. Os valores médios da porosidade aparente, absorção de água e massa específica aparente são apresentados na Tabela 2, onde pode ser constatado que o aumento da granulometria da areia na mistura argila-areia não exerceu influência significativa no que se refere as propriedades citadas do corpo cerâmico após a queima.

Tabela 2 – Valores médios da porosidade aparente, absorção de água, massa específica aparente e tensão de ruptura a flexão dos corpos de prova obtidos da mistura argila - areia, queimados a 1223,15 K por 2 horas no patamar de queima.

Granulometria	Ms (kg)	Mu (kg)	Mi (kg)	PA (%)	AA (%)	MEA (kg/m^3)	TRF (kg/m^2)
35/42	139,84	162,63	83,88	28,94	16,30	1770	$13,96 \cdot 10^5$
42/65	133,79	151,35	77,90	23,91	13,12	1820	$13,72 \cdot 10^5$
65/100	139,73	157,93	80,29	23,44	13,02	1800	$12,69 \cdot 10^5$
100/150	140,79	160,42	81,79	24,96	13,94	1790	$12,64 \cdot 10^5$

Tensão de ruptura à flexão – TRF (kgf/m^2). Através dos dados da Tabela 2 pode ser verificado que a adição de um material de maior granulometria (areia) à argila pura, produziu um aumento na resistência mecânica, produzindo uma maior tensão de ruptura a flexão dos materiais após a queima. Este aumento está de acordo com observado na literatura (Van Vlack, 1973).

4. CONCLUSÕES

As equações (2) e (3), descreveram satisfatoriamente a cinética de secagem em todos os ensaios.

O aumento da granulometria da areia na mistura argila-areia provocou um primeiro período de secagem constante pequeno, atribuída a secagem de água superficial, provavelmente devido que a adição da areia possibilita o surgimento de canais para o interior do corpo cerâmico, aumentando assim a área específica de secagem.

Com relação a retração linear todos os ensaios apresentaram o comportamento das curvas de Bigot, e a medida que aumenta a granulometria da areia na mistura argila-areia, há uma facilidade no processo de secagem devido a menor quantidade de água coloidal.

O aumento da granulometria da areia na mistura argila-areia provocou um decréscimo na retração linear na secagem dos corpos de prova o que é benéfico por possibilitar a obtenção de peças com dimensões mais padronizadas, diminuindo o surgimento de trincas e deformações, o que foi constatado visualmente nos produtos obtidos.

O aumento da granulometria da areia na mistura argila-areia estudada, proporcionou um aumento da resistência mecânica dos corpos de prova.

NOMENCLATURA

A	constante da equação (2)
a	retração linear (% da aresta inicial)
AA(%)	absorção de água (%)
A _T	área total dos corpos de prova (m ²)
B	constante da equação (2)
b	retração volumétrica (% do volume inicial)
C	constante da equação (3)
c	largura do corpo de prova (m)
D	constante da equação (3)
h	altura do corpo de prova (m)
k	constante da equação (3)
L _o	comprimento inicial do corpo de prova
L _(t)	comprimento do corpo de prova que varia com o tempo de secagem (m)
X	teor de umidade
X _(%bs)	quantidade percentual em base seca
M _i	massa inicial (kg)
M _s	massa seca (kg)
M _(t)	massa do corpo de prova que varia com o tempo (kg)
M _u	massa úmida (kg)
MEA	massa específica aparente (kg/m ³)
M _{ss}	massa do corpo seco após a queima (kg)
R	taxa de secagem (kg/m ² s)
r	coeficiente de correlação
TRF	tensão de ruptura à tensão (kgf/m ²)

REFERÊNCIAS.

- Braga, N. P., Auzier, R. G., Neves, R. F. & Souza, C. A. G., 1998, Construção de um retrator linear: Estudo da secagem de material cerâmico em um secador com convecção forçada. XXVI Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados.
- Hasatani, M., Itaya, I. & Muroie, K., 1993, Contraction characteristics of molded ceramics during, *Drying Technology*, vol.11, n.4, pp. 815-830.
- Norton, F. H., 1975, *Cerâmica Fina. Tecnologia y Aplicaciones*, Barcelona: Ediciones Omega, S.A.
- Öller, S., 1981 Norma e princípios de extrusão de argilas e comportamento na secagem, *Cerâmica*, vol.27, n. 140, pp.319-329.
- Robusté, E., 1963, *Técnica y Práctica de la Industria Ladrillera*, Ed. CEAC, v.2.
- Van Vlack, L. H., 1973, *Propriedades dos Materiais Cerâmicos*. São Paulo: Edgar Blücher.

STUDY OF THE INFLUENCE OF DIAMETER OF SAND IN MIXTURE CLAY-SAND IN THE DRYING PROCESS IN A FORCED CONVECTION TYPE-TUNNEL DRYER

The production of ceramic pieces in the state of Pará has been made by a significant number of small and medium manufacturers, being important its participation in the Amazon economy. The drying of ceramics bodies is a fundamental step in the ceramic industry to obtain a final product of quality, and consequently of good commercialization. Experiments have been carried out in a forced convection type-tunnel dryer in order to investigate the influence of sand percentage in sand-clay mixtures on the drying efficiency and in the quality of ceramic materials. The sand percentage in ceramic specimen prepared with the clay-sand mixtures was 15%, by varying the diameter of the sand particles in the mixture sand-clay in the ranges of 35/42, 42/6, 65/100 and 100/150. An analysis of the lineal shrinkage is presented for all ceramic bodies submitted to drying process by analyzing the Bigot curves. For all rehearsals accomplished, after the ceramic specimen has been burnt, the quality of the final ceramic product based on the non-occurrence of trines, non-deformation, and good mechanical resistance, indicated the high performance of the drying process. In this work, there has been also calculated and analyzed the physical properties of the final ceramic product, such as: apparent porosity, absorption of water, apparent density, and tension of rupture.

Keywords: clay-sand mixture, drying of ceramic pieces, shrinkage.