



## **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PERCENTAGEM DE AREIA EM UMA MISTURA ARGILA-AREIA NO PROCESSO DE SECAGEM DE MATERIAIS CERÂMICOS**

**André de Siqueira Mendes Amaral**

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

**Nazareno de Pina Braga**

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

**Roberto de Freitas Neves**

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

**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 25%; 15% e 5% na mistura argila-areia, bem como para corpos de argila pura, através das curvas de secagem. 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:** Secagem, Secagem de argila, Retração.

### **1. INTRODUÇÃO**

Para que se tenha um maior desenvolvimento da região paraense é importante que a exploração de seus recursos naturais, bem como de seu potencial produtivo, seja realizada de

forma racional, para que os efeitos dessas atividades sejam revertidos de forma eficaz, trazendo benefícios a sociedade.

Este trabalho vem dar continuidade ao estudo de alguns aspectos da secagem de corpos de prova (tijolo extrudado), utilizando um secador tipo túnel com convecção forçada, submetido a diferentes condições operacionais de secagem, em andamento no Laboratório de Secagem do Departamento de Engenharia Química da UFPA. Neste caso avaliou-se o comportamento das curvas de taxa de secagem construídas a partir da derivação das curvas de secagem levantadas neste trabalho, para diferentes condições de concentrações da mistura argila-areia e mesma umidade inicial do material.

Para as curvas de taxa de secagem obtidas, foram avaliadas considerando-se os dois períodos clássicos de secagem: os períodos de taxa constante e o de taxa decrescente. Através do processo de contração do material argiloso podemos constatar se a taxa de secagem foi alta ou baixa. A secagem rápida pode ocasionar deformações no material durante o processo de queima, resultando num produto de baixa qualidade; já a secagem lenta apresenta desperdício de tempo e conseqüentemente de energia. Pretendeu-se verificar o comportamento sobre o processo de contração das amostras e a possibilidade de se quantificar os resultados obtidos. Para isto curvas de Bigot foram 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 emigra até a superfície da peça para substituir a água evaporada, com o que as partículas argilosas vão aproximando-se uma das outras, sendo isso o 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 à 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**

### **2.1 Materiais**

Com o objetivo de se trabalhar com parâmetros próximos às olarias da região, foi coletada argila oriunda das margens do rio Guamá (margens do Campus Universitário da UFPA). A granulometria foi feita em peneiras tipo Tyler, onde obteve-se um produto abaixo da malha de 400 mesh ( $37\mu$ ). A areia utilizada apresentou granulometria na malha abaixo de 65 mesh. Estes produtos retidos se mostraram adequados para confecção das peças extrudadas a serem secadas no secador tipo Túnel. A massa específica da argila pura foi medida através de picnômetro obtendo-se um valor de  $2,3 \text{ g/cm}^3$  e a massa aparente através do método da proveta obtendo-se um valor de  $1,3 \text{ g/cm}^3$ . A partir do material argiloso (puro) foram elaborados corpos de prova extrudados de dimensões  $20 \text{ cm} \times 1,9 \text{ cm} \times 2,9 \text{ cm}$ , bem como corpos de prova de mistura argila-areia com percentagens de areia de 25%, 15% e 5%.

### **2.2 Equipamentos Experimentais.**

A Figura 1, esquematiza o sistema experimental. O secador foi construído em madeira, tendo um sistema de resistências elétricas colocadas em paralelo (2) que proporcionam o calor necessário para o ar gerado por um soprador (1). Um termostato (3) controla as variações de temperatura no interior do secador. Antes e depois do sistema de pesagem (5) estão os

psicrômetros (4). O sistema de pesagem é composto de uma balança semi-analítica e do suporte para os corpos de prova. Em um dos corpos de prova a ser secado é colocado o retrator, objeto de estudo. Na saída do secador em intervalos de 30 minutos a velocidade do ar é medida (6). 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 da curvas de Bigot.

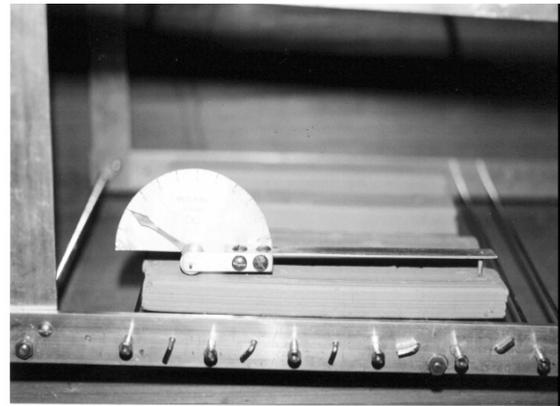
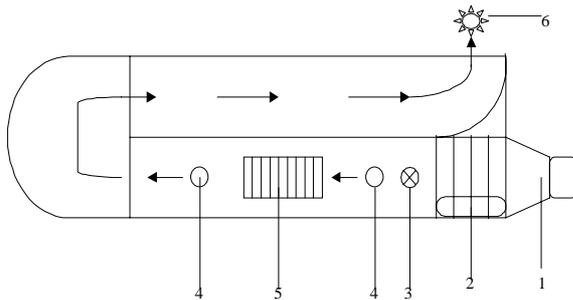


Figura 1 – Esquema do sistema experimental.

Figura 2- Retratômetro no processo de secagem

## 2.3 Métodos

Foram utilizados quatro corpos de prova com as dimensões (20x2,9x1,9) cm, 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.

Foram realizadas quatro corridas experimentais para a determinação das curvas de secagem para a temperatura de 60 °C e velocidade de ar de secagem de 2,5 m/s na saída do secador. Os corpos de prova foram feitos de argila pura e de mistura argila-areia nas proporções de 5%, 15% e 25%. 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 para cada corpo 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 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 10 em 10 minutos até o tempo onde praticamente não havia mais variação do teor de umidade. Finalizada a secagem, em seguida colocou-se os corpos de prova em uma estufa a 100 °C, onde obteve-se a massa de sólido seco após 24 horas. A equação (1), calcula os valores de teores de umidade em base seca.

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

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

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 obtidos a partir da derivação das equações (2) e (3).

A taxa de secagem foi calculada através da equação:

$$R = -\frac{(M_{ss})}{A} \cdot \frac{dX}{dt} \quad (4)$$

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

O cálculo da retração linear foi realizado da seguinte maneira: a leitura da retração era feita a cada 1% na escala do retratômetro não havendo 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.

$$\text{Retração Linear} = \frac{L_0 - L}{L} \times 100 \quad (5)$$

onde:  $L_0$  é o comprimento inicial do corpo de prova e  $L$ , 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).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

#### 3.1 Análise das curvas de secagem.

A Figura 3, mostra a percentagem de umidade ( $X/X_0$ ) versus tempo de secagem, onde  $X_0$  é o teor de umidade inicial. As curvas de secagem obtidas são para a argila pura ( $AP$ ) e diferentes misturas de argila-areia ( $MAA$ ), a 5%, 15% e 25%, respectivamente, e já 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, 5, 6 e 7.

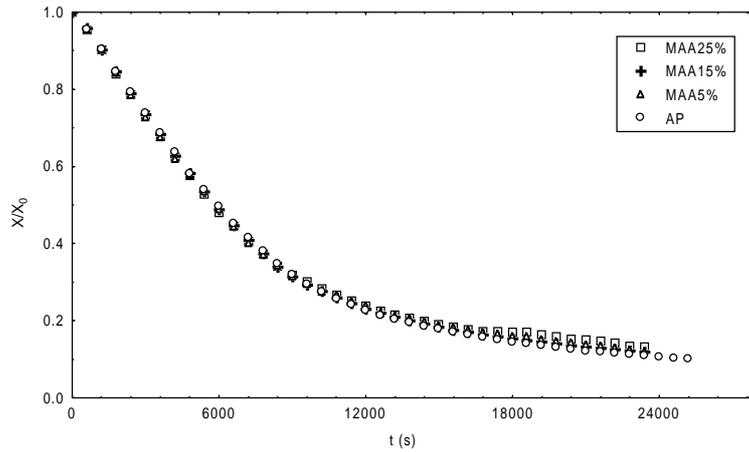


Figura 3- Curvas de secagem - Efeito da concentração da mistura argila-areia.

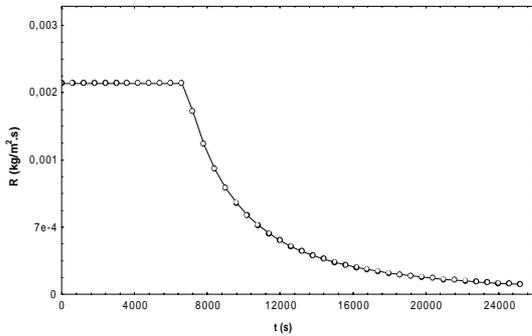


Figura 4 - Curva de Taxa de Secagem com o tempo (AP)

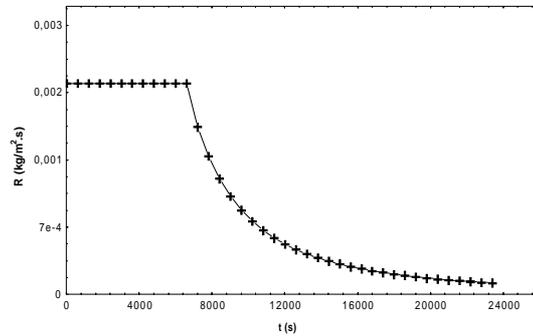


Figura 6 - Curva de Taxa de Secagem com o tempo (MAA15%)

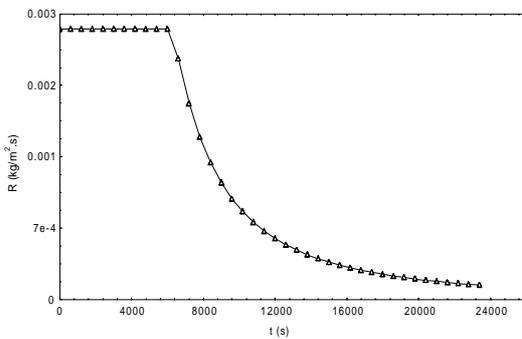


Figura 5 - Curva de Taxa de Secagem com o tempo (MAA5%)

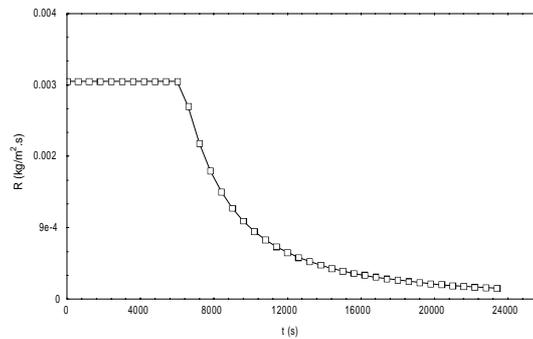


Figura 7 - Curva de Taxa de Secagem com o tempo (MAA25%)

Observa-se nas curvas de secagem das Figs. 4 a 7, 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

decrecente, 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 concentração da areia na mistura não influenciou no tempo de secagem, permanecendo praticamente o mesmo nas concentrações estudadas. A Tabela 1 apresenta os valores das constantes das equações (1) e (2) 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 - Ajuste do teor de umidade da argila pura e mistura argila-areia de acordo com os modelos propostos.

Experimento	1º Período: Taxa Constante			2º Período: Taxa Decrescente			
	A	B	R	C	K	D	R
AP	-0,000085	0,9994612	0,9992	0,000468	-35,36143	-0,185651	0,9999
MAA 5%	-0,000085	0,9994612	0,9992	0,002381	-35,9460	-0,219134	0,9996
MAA 15%	-0,000085	0,9994612	0,9992	0,002522	-40,37063	-0,233168	0,9998
MAA25%	-0,000088	1,000913	0,9995	0,012930	-61,69241	-0,324886	0,9995

### 3.2 Análise da retração linear nos corpos de prova

No decorrer do 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.

As Figuras 8, 9, 10 e 11, apresentam os pontos experimentais de retração linear versus tempo de secagem e a curva ideal de secagem. Os pontos que estão acima da curva ideal significam que a secagem foi rápida, enquanto que os pontos que estão abaixo, indicam uma secagem lenta (Norton, 1975). Observa-se ainda nessas figuras que à medida que aumenta a percentagem de areia, a retração linear diminui.

A Figura 12, 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 as encontradas na literatura ( Robusté, 1963, Öller, 1981 e Hasatani et al, 1993). Observa-se que o corpo de argila pura de granulometria mais fina obteve a maior retração, necessitando assim de secagem mais lenta para evitar trincas e, à medida que aumenta a concentração de areia, diminui a retração linear, o que está de acordo com Norton (1975), que diz que corpo de menor granulometria possui retração mais elevada.

Na Figura 12, 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 concentração 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. Isto é devido a uma maior concentração de areia na argila o que aumenta a quantidade de capilares.

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 preferencialmente na superfície, diminuindo os poros, dificultando a passagem da água do interior da peça até sua superfície.

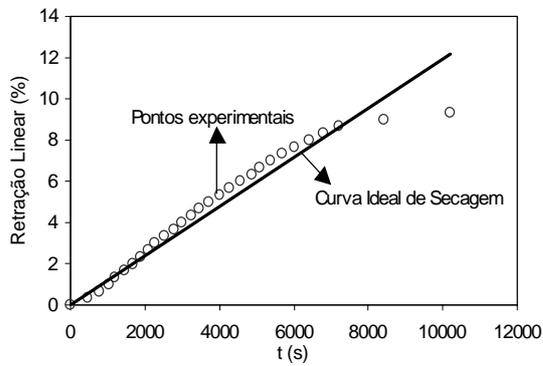


Figura 8 - Curva de Retração Linear com o tempo (AP).

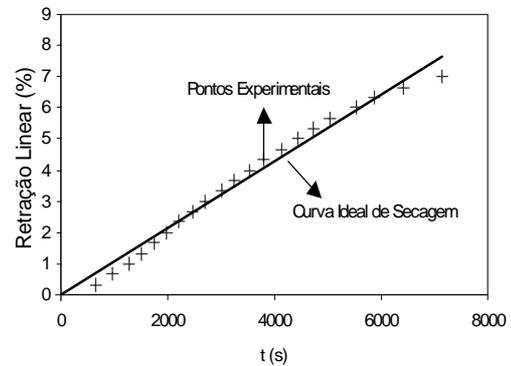


Figura 10 - Curva de Retração Linear com o tempo (MAA15%).

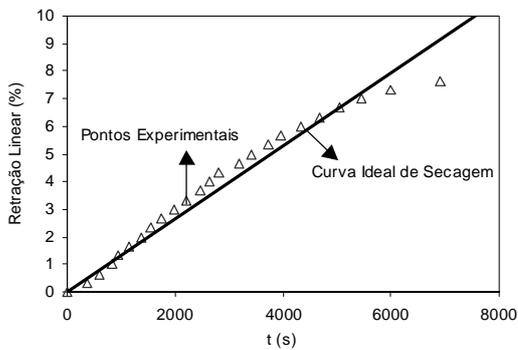


Figura 9 - Curva de Retração Linear com o tempo (MAA5%).

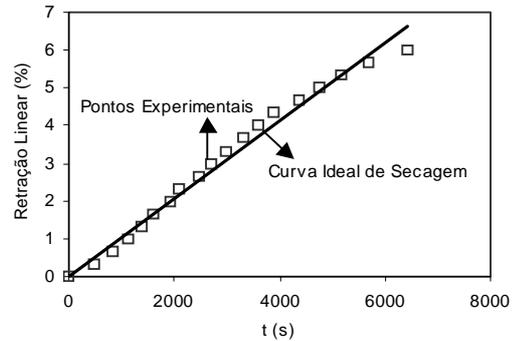


Figura 11 - Curva de Retração Linear com o tempo (MAA25%).

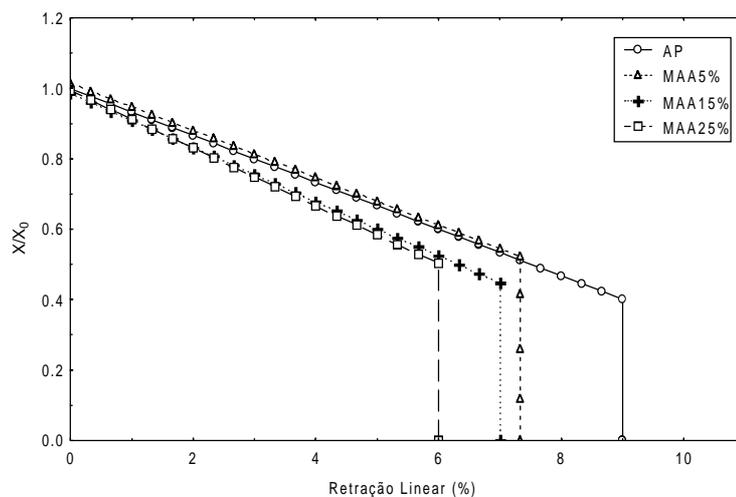


Figura 12 - Curvas de Bigot para os quatro ensaios (Teor de Umidade x Retração Linear).

### 3.3 Porosidade aparente – PA (%), Absorção de água – AA (%) e Massa específica aparente – MEA (kg/m<sup>3</sup>)

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 gradual do teor de areia na composição da mistura argila - areia exerceu influência significativa no que se refere às 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 950°C por 2 horas no patamar de queima.

Corridas	Ms ( kg )	Mu ( kg )	Mi ( kg )	PA (%)	AA (%)	MEA (kg/m <sup>3</sup> )	TRF (N/m <sup>2</sup> )
AP	0,1396	0,1602	0,0823	26,85	15,01	1780	2382,5
MAA5%	0,1357	0,1550	0,0793	25,40	14,16	1790	3922,3
MAA15%	0,1345	0,1513	0,0761	22,37	12,50	1790	3200,0
MAA25%	0,1489	0,1689	0,0866	24,34	13,45	1800	3654,6

### 3.4 Tensão de ruptura à flexão – TRF ( N/m<sup>2</sup> )

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 médio da resistência mecânica de aproximadamente 50,70% na tensão de ruptura à flexão dos materiais após a queima. Este aumento está de acordo com observado na literatura (Van Vlack, 1973), isto provavelmente devido a redução da porosidade aparente.

## 4. CONCLUSÕES.

As eqs. (1) e (2), mostraram-se adequadas para descrever a cinética de secagem em todos os ensaios.

O aumento da porcentagem de areia na mistura argila-areia, no que se refere a secagem provocou uma diminuição no primeiro período de secagem, atribuída a secagem de água superficial, devido ao fato 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 avaliado pelas curvas de Bigot, e à medida que aumenta a concentração de areia na argila, há uma facilidade no processo de secagem devido a menor quantidade de água coloidal.

O aumento da porcentagem de areia na mistura argila-areia provocou um decréscimo na retração linear na secagem dos corpos de prova o que pode ser 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.

A adição de areia proporcionou um aumento da resistência mecânica dos corpos de prova devido à redução da porosidade.

## 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.
- Page, G. E., 1949, Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers, Thesis (M.S.), Lafayette, Mechanical Engineering Department, , Purdue University, Indiana.
- 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 SAND PERCENTAGE IN CLAY-SAND MIXTURES ON THE DRYING PROCESS OF CERAMIC MATERIALS**

**ABSTRACT:** The production of ceramic pieces in the state of Pará has been made by a significant number of small and medium manufactures, being important its participation in the amazon economy. The drying of ceramics bodies is fundamental step in ceramic industry to obtain a final product of quality and consequently of good commercialization. Experiments have been carried out in a drying type tunnel with forced convection in order to investigate the influence of sand percentage of sand-clay mixtures on the drying efficiency and the quality of ceramic materials. The sand percentage in ceramic specimen prepared with the clay-sand mixtures was 0%, 5%, 15%, and 25%.

An analysis of the lineal shrinkage is presented for all the ceramics bodies submitted to drying , by analyzing the Bigot curves. After in all the accomplished rehearsals, the quality of the final ceramic product, after burning the ceramic specimen, such as: non-occurrence of trines, non-deformation, and good mechanical resistance, indicate 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 resistance to rupture.

**Keywords:** drying, ceramics drying, shrinkage.