

## Medição Contínua em Tempo Real da Umidade de Revestimentos Cerâmicos na Saída do Secador Mediante Radiofrequência

J. C. Jarque<sup>a,\*</sup>, V. Cantavella<sup>a</sup>, G. Mallo<sup>b</sup>, B. Cabrera<sup>b</sup>, F. Gascón<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Tecnología Cerámica (ITC),  
Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas,  
Universitat Jaume I de Castellón - España

<sup>b</sup>AZTECA, S.A. I'Alcora de Castellón - España

\*e-mail: jcjarque@itc.uji.es

**Resumo:** O presente trabalho evidencia o desenvolvimento de um método de medição contínua e em tempo real da umidade residual de peças de revestimentos cerâmicos na saída do secador. O objetivo principal consiste em viabilizar a técnica de utilização de radiofrequências para a medição contínua da umidade em um secador industrial, estabelecendo uma relação da umidade com a resistência mecânica das peças.

**Palavras-chave:** umidade residual, secador, radiofrequência, resistência mecânica

### 1. Introdução e Histórico

A umidade residual presente nos suportes crus de revestimentos cerâmicos ao sair do secador condiciona o imediato e posterior comportamento mecânico das peças. Com o objetivo de evitar a ruptura destes suportes cerâmicos e, também, garantir um uniforme comportamento mecânico dos mesmos durante seu processamento posterior, é imprescindível assegurar um baixo valor de umidade residual nos suportes, que seja, além disso, uniforme e estável entre as diferentes peças de uma produção. Obviamente, para realizar este propósito é necessário dispor de um método confiável de medição contínua e em tempo real da umidade residual destas peças na saída do secador.

Esta medição contínua da umidade residual da peças permitirá em algumas condições constantes de densidade aparente e composição, estimar seu comportamento mecânico na saída do secador.

Dentro dos métodos conhecidos utilizados para a medida contínua do conteúdo em umidade de um sólido, a radiação infravermelha é o único utilizado na linha de produção no setor cerâmico. Deve ser destacado que a medida realizada é praticamente superficial, dado que os materiais cerâmicos são opacos à radiação infravermelha, e não se obtém um valor de umidade do volume total da peça.

Os equipamentos de microondas e de radiofrequência são capazes de medir a umidade total da peça por serem medidas penetrantes e não baseadas na reflexão. Foi selecionado para a realização deste estudo o equipamento de radiofrequência por sua maior simplicidade de instalação, menor custo e porque a diferença em relação às microondas é o fato de não necessitar de nenhum sistema de bloqueio eletromagnético.

A medição da umidade mediante radiofrequência se baseia na medida do valor dielétrico do produto, utilizando-se um campo elétrico de radiofrequência. O equipamento é composto por emissores e uma antena receptora que mede o incremento do sinal produzido pela água que se encontra dentro do campo de ondas de radiofrequência (Figura 1).

O valor dielétrico do produto ou peça é função de sua constante dielétrica (a qual aumenta de forma considerável com o conteúdo em água) e da longitude das linhas de fluxo que passam através dele. Por esta razão, é muito importante manter fixa a distância entre o equipamento e a peça, e a espessura da mesma (praticamente constante para um mesmo modelo na produção industrial).

### 2. Objetivo

O objetivo fundamental do presente trabalho é estudar a viabilidade técnica da utilização de radiofrequências para a medição

contínua da umidade das peças de revestimento cerâmico na saída de um secador industrial.

Por outra parte, uma vez assegurada uma medida correta contínua da umidade das peças na saída do secador, se pretende estabelecer uma relação da mesma com a resistência mecânica das peças.

### 3. Montagem e Calibração do Equipamento de Medida em Escala de Planta Piloto

O equipamento de medida por radiofrequência, Sorsortech ST2200 A, foi instalado na linha de esmaltação da planta piloto do ITC (Figura 2). A empresa Azteca forneceu uma série de peças industriais prensadas nas condições habituais de trabalho (espessura de 9,6 mm, densidade aparente igual a 2060 kg/m<sup>3</sup> e umidade de 5,5% em base seca) para realizar o estudo prévio em uma planta piloto com o equipamento. As peças de tamanho 41 x 41 cm (formato que se produz normalmente na linha onde se realizaram os testes industriais na planta) cobrem os 30 cm do campo de medida do equipamento de radiofrequência.

O equipamento Sorsortech ST2200 A usa o princípio da determinação dielétrica. Para medir o valor dielétrico do material, normalmente é necessário colocar o material entre dois eletrodos, pois este equipamento utiliza uma configuração que permite situar o emissor e receptor em um mesmo plano. Na Figura 2 (direita) nota-se a antena receptora e os dois emissores. A leitura do equipamento é função do valor da constante dielétrica do material úmido e mediante o correspondente calibrado se pode relacionar esta leitura com a umidade do produto.

Para realizar o estudo da medida de umidade das peças, além do equipamento de medida Sorsortech 2200 A, se incorporaram outros elementos: pirômetro, telêmetro, fotocélula, cartão de aquisição de dados e PC onde foi instalado o programa que recolhe os dados de umidade de maneira contínua.

Ao sinal do pirômetro e do telêmetro, além da leitura do equipamento, foram recolhidos, mediante o cartão de aquisição de dados para obter simultaneamente os valores de umidade, valores de temperatura da peça, e distância entre a peça e o sensor, no decorrer do tempo.

A fotocélula detecta a passagem da peça, iniciando assim a coleta de dados, que são armazenados em um arquivo. Este arquivo foi criado a partir dos dados obtidos pelo tratamento dos sinais com o programa desenvolvido pelo ITC.

Na seqüência são descritas as variáveis estudadas na planta piloto antes de realizar a instalação do equipamento na linha de produção industrial. O objetivo desta análise preliminar foi medir o efeito das variáveis (dependentes do equipamento e das que são função do material) sobre a leitura do equipamento para minimizar posteriormente o efeito das mesmas, ou para ter em conta sua contribuição.

### 3.1. Distância entre o equipamento de medida e a peça

Para analisar a influência que a distância de separação entre o equipamento e a peça poderia exercer sobre o sinal recolhido pelo equipamento, foram realizados ensaios em três distâncias: 5, 7,5 e 10 mm. Os resultados obtidos aparecem na Figura 3.

Pode-se observar como, à medida que o equipamento se afasta da peça, se atenua o sinal de leitura diminuindo assim sua sensibilidade. Por esta razão, para a realização dos testes posteriores se

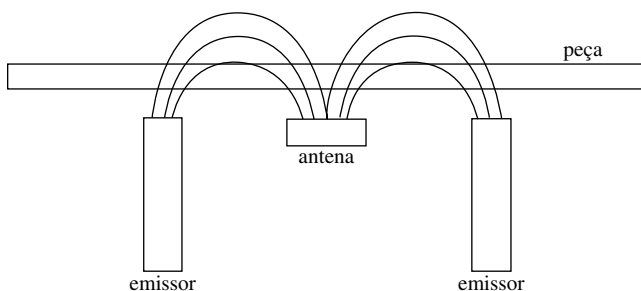


Figura 1. Esquema de medição por radiofrequência.

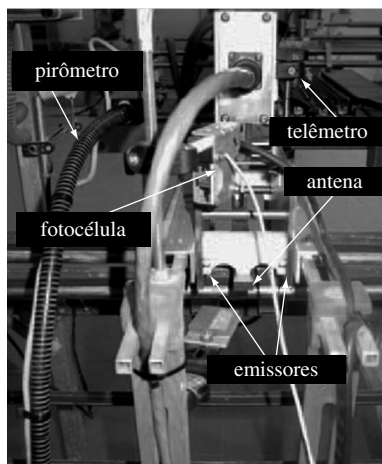


Figura 2. Vista geral do equipamento de radiofrequência medindo a umidade da peça no ITC.

decidiu colocar o equipamento o mais próximo possível da peça, a aproximadamente 5 mm, e recolher a leitura contínua da distância entre a peça e o equipamento com um telêmetro. Esta distância deve permanecer constante para que os dados de umidade obtidos a partir da calibração realizada sejam corretos.

### 3.2. Velocidade de passagem da peça

Uma das variáveis que não se pôde fixar na linha industrial é a velocidade das esteiras, por esta razão, se achou conveniente estudar a influência que podia ter a velocidade de passagem da peça sobre o sinal de leitura tomada pelo equipamento.

Foram ensaiadas três velocidades distintas de movimento das esteiras, comprovando-se que o sinal de leitura do equipamento não experimenta variação alguma (Figura 4).

### 3.3. Temperatura da peça na saída do secador

A temperatura do material é uma variável que influencia na constante dielétrica do mesmo, e que portanto, pode afetar a leitura e calibração do equipamento. Para poder analisar a influência da mesma na medição da umidade residual (<1%) das peças, foram realizados dois ensaios em diferentes temperaturas da peça. Na Figura 5 aparecem os resultados que foram obtidos com peças que se encontravam a uma temperatura de 45 e 75 °C.

Com base nos resultados, se pode observar como uma variação de 30 °C na temperatura (variação muito maior que a que se pode

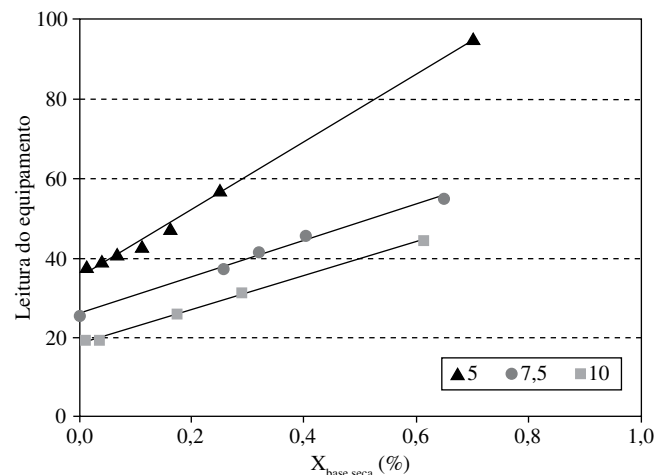


Figura 3. Efeito da distância equipamento-peça sobre a leitura.

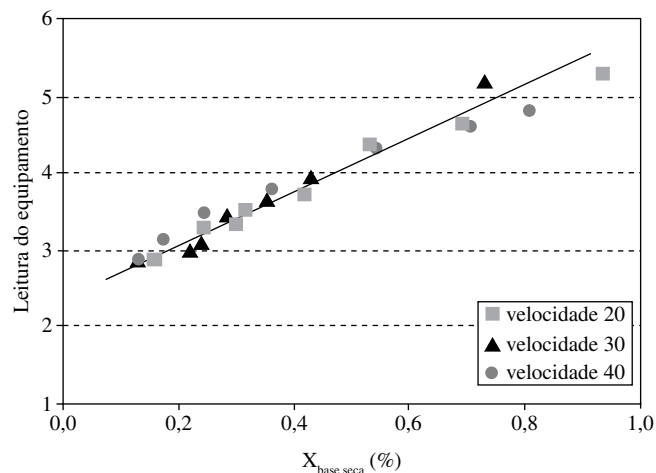


Figura 4. Efeito da velocidade de passagem das peças sobre a leitura do equipamento.

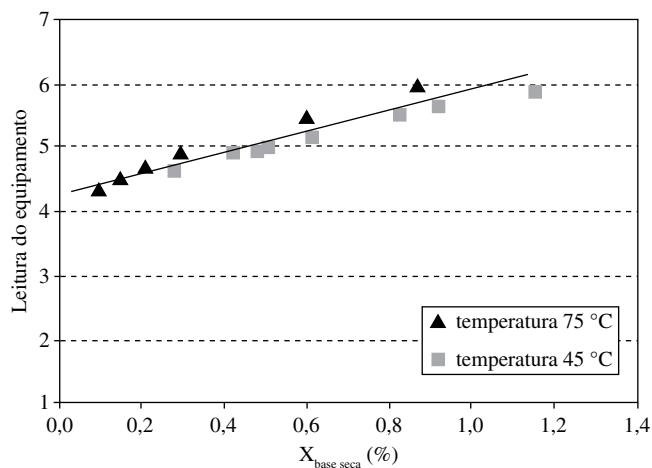


Figura 5. Efeito da temperatura da peça sobre a leitura do equipamento.

produzir somente no processo normal de fabricação industrial), implica em uma variação relativamente pequena dos valores de umidade, obtendo-se valores pouco mais altos ao aumentar a temperatura. Se na medição industrial se recorre aos dados de temperatura contínua, podem ser retificados possíveis desvios dos valores de umidade medidos, ainda que estas variações sejam consideradas pouco significativas.

### 3.4. Espessura da peça

Também foram feitos testes nas peças industriais variando a espessura das mesmas em 1 mm. Na Figura 6 aparecem os resultados, onde se observa que a leitura do equipamento não se modifica para estas variações de espessura.

As peças industriais não devem apresentar variações de espessura em uma produção contínua, uma mudança de modelo pode determinar uma mudança drástica de espessura. Isto implicaria na necessidade de realizar uma nova calibração de todo o equipamento, já que ao produzir-se uma mudança de espessura, também se produz dependendo da colocação do equipamento, uma mudança entre a distância do equipamento de medida e a superfície da peça.

### 3.5. Densidade aparente da peça

Para realizar os ajustes de calibre nas peças na saída do forno, é normal modificar os valores de densidade aparente das mesmas. Entretanto, às vezes também são produzidos desajustes ao variar a umidade do pó atomizado nas prensas. É interessante, portanto, estabelecer a dependência da leitura do equipamento com a densidade aparente da peça. Para realizar este estudo, foram conformadas peças com distintas densidades aparentes, secando-as até umidades residuais entre 0 e 1%.

Tendo em vista os resultados (Figura 7) pode-se concluir que o sinal de leitura do equipamento não é sensível às pequenas mudanças de densidade aparente que podem ser produzidas na linha de produção.

## 4. Estudo Industrial

### 4.1. Densidade aparente da peça

O equipamento foi instalado na saída de um secador horizontal da empresa Azteca. Nesta linha se produz o mesmo material de grês caracterizado termomecanicamente nos trabalhos anteriores, com formato 41 x 41 cm. Tentou-se colocar o equipamento o mais próximo da saída do secador em um lugar onde não houvesse possíveis

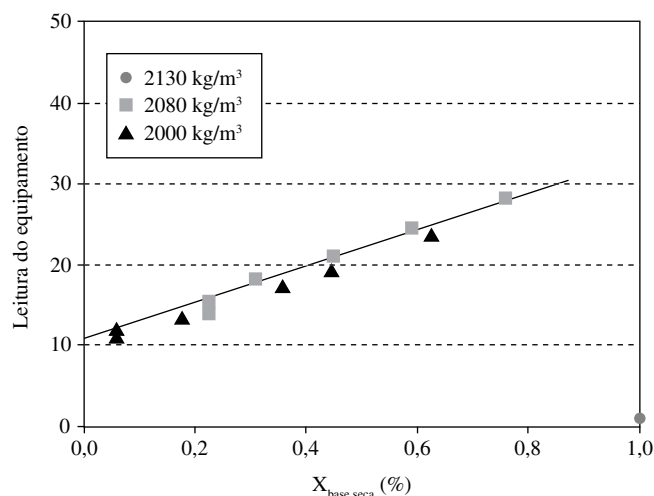


Figura 7. Efeito da densidade aparente das peças sobre a leitura do equipamento.

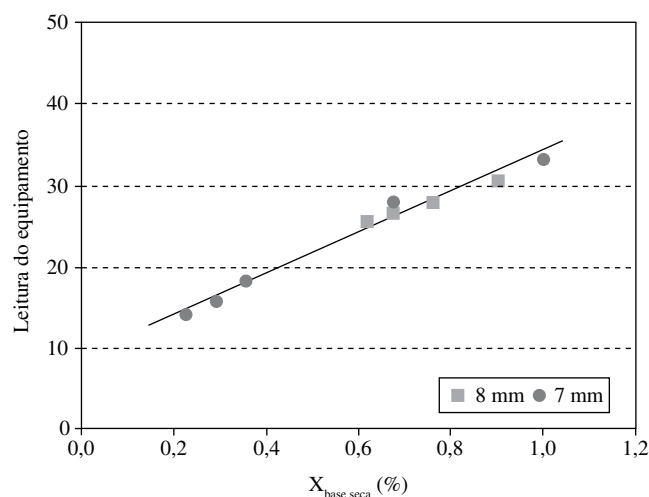


Figura 6. Efeito da variação da espessura das peças sobre a leitura do equipamento.

interferências no sinal medido, devido, por exemplo, à presença dos motores dos osciladores de velocidade das esteiras.

A distância à qual se colocou o equipamento da superfície das peças foi de 5 mm. Também se instalou o pirômetro, o telêmetro, a fotocélula e o cartão de aquisição de dados junto a PC. Em frente ao equipamento foi colocada uma barreira mecânica com a função de impedir a superposição das peças ao passar pelo equipamento.

Após a instalação correta do equipamento e do conjunto de medição, foi realizada a calibração do mesmo. Para realizar a calibração do equipamento medidor de umidade por radiofrequência, foram coletadas peças de distintos planos na saída do secador. Além disso, para cobrir uma faixa ampla de valores de umidades na saída do secador, foram escolhidas várias peças em distintas condições de trabalho:

- Em primeiro lugar, para obter peças com baixa umidade foi feito o recolhimento das mesmas imediatamente depois de uma parada do secador, pois ao permanecer mais tempo dentro do secador estavam mais secas;
- Em segundo lugar, para conseguir umidades intermediárias, as habituais de trabalho, foram recolhidas várias peças com o funcionamento estável do secador; e

- Por último, para obter umidades mais altas, foram colocadas peças secas em cima das peças na saída da prensa, antes da entrada no secador, conseguindo-se peças com maior umidade ao realizar desta forma sua secagem.

Assim, foram anotadas as leituras do equipamento medidor de umidade quando as peças passavam por debaixo do mesmo. Imediatamente após se registrar a leitura do computador as peças foram recolhidas, cortadas em cinco partes e colocadas em bolsas fechadas hermeticamente. Desta forma se pôde medir no ITC sua umidade em base seca por diferença de peso após serem secadas em estufa ( $X_{\text{laboratório}}$ ).

Na seqüência, é apresentado o gráfico e a equação obtida do ajuste dos valores de  $X_{\text{laboratório}}$  (%) frente à leitura do equipamento.

A densidade aparente ( $\rho$ ) e a espessura ( $e$ ) da peça permaneceram constantes em todas as peças analisadas:  $\rho = 2067 \text{ kg/m}^3$ ,  $e = 9,6 \text{ mm}$ . Pode-se observar na Figura 8 como o ajuste obtido na reta de calibração é muito bom, sendo a equação de ajuste:

$$X_r (\%) = 0,3118 \times \text{Leitura do equipamento} - 0,6029 \quad (1)$$

#### 4.2. Monitoramento e análise da umidade residual das peças na saída do secador

Para um correto estudo do funcionamento do secador em relação à secagem das peças, além dos dados de distância, temperatura e umidade das peças, foram feitos relatórios do trabalho da planta durante o tempo que durou o estudo. Desta forma, se pretendia dispor de informações adicionais necessárias sobre possíveis alterações no funcionamento do secador (paradas, mudanças na temperatura, mudanças na umidade de entrada, etc.), que puderam justificar variações reais na umidade final das peças.

O monitoramento do funcionamento do secador se estendeu durante meses.

Numa análise preliminar dos dados recolhidos pelo equipamento se observou uma seqüência de dados que se repetiam com o tempo. Pôde-se observar que a seqüência se repetia a cada 15 peças, resultando ser este o mesmo número de peças que se dividem nos três planos do secador. Por esta razão tentou-se verificar este tipo de dependência.

Para poder atribuir a umidade correspondente as 15 peças situadas nos três planos (superior, inferior e médio), foi colocada a mão debaixo da fotocélula de forma que a leitura desse um valor baixo (utilizado como sinal para o início da passagem de peças controladas) e permitisse assim conhecer a posição das peças nos planos e dentro de um mesmo plano.

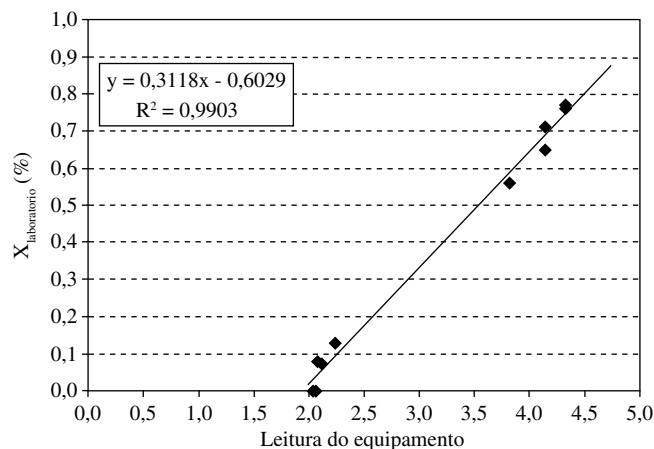


Figura 8. Reta de calibração.

O gráfico seguinte (Figura 9) mostra a posição das 5 peças em cada um dos três planos, assim como a umidade real de cada uma delas. Pode-se observar que as peças correspondentes ao plano médio possuem umidades mais altas e uma maior dispersão de umidade. Uma dispersão similar de umidade apresentam as peças do plano inferior, que possuem umidades menores. Pelo contrário, no plano superior não há grande variação de umidade entre as peças.

As umidades medidas apresentam uma repetição com o passar do tempo em função do plano em que se encontram, ou seja, a umidade medida ao longo do tempo depende tanto do plano do secador em que se seca, como da posição da peça no plano.

#### 4.3. Monitoramento do tempo de funcionamento do secador industrial

Os dados armazenados nos arquivos do programa, uma vez tratados, junto com as informações disponibilizadas pela empresa, permitem interpretar os valores de umidade das peças na saída do secador. A análise dos resultados proporcionou a determinação e análise dos possíveis gradientes de umidade entre as peças no secador, tanto em funcionamento estável como com paradas.

Nas seguintes figuras, aparecem os valores de umidade e temperatura para um intervalo de tempo selecionado, além do histograma de umidades obtido a partir do tratamento estatístico dos dados. A umidade que aparece nos gráficos é a umidade da peça (% em base seca), obtida a partir dos dados da reta de calibração que foi construída para o equipamento.

##### 4.3.1. Funcionamento estável

Na Figura 10 estão presentes a umidade e temperatura das peças durante o funcionamento estável do secador em um intervalo de duas horas. É possível observar como todos os valores de umidade se encontram situados dentro de um intervalo de amplitude de 0,3%.

Ao realizar o tratamento estatístico dos dados (Figura 11) pode-se observar como o histograma de freqüências apresenta uma distribuição gaussiana. A moda de umidade se encontra entre 0,24-0,30%.

##### 4.3.2. Funcionamento com paradas

Após a análise da pequena variação de umidade das peças que se observou para um funcionamento estável do secador, foi analisada a variação da mesma antes do secador.

Para realizar uma melhor interpretação da variação da umidade após uma parada longa, os dados foram ampliados, escolhendo como intervalo de tempo o correspondente a um total de três ciclos de secagem (66 minutos). Na Figura 12 se observa a evolução da temperatura e umidade para este ciclo.

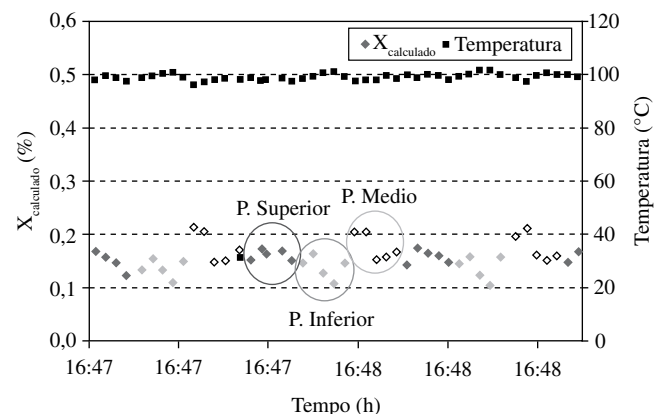
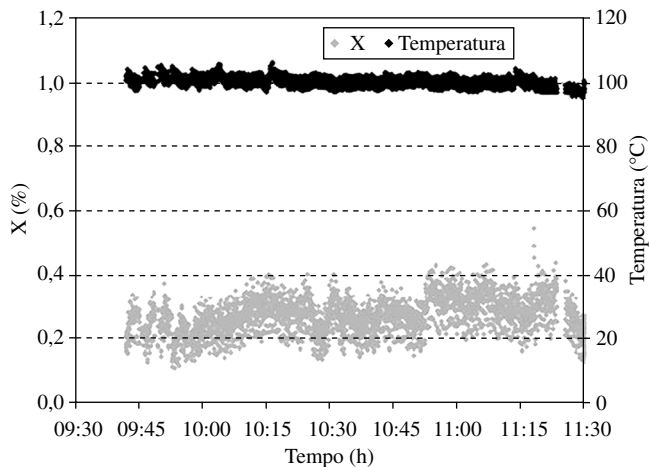


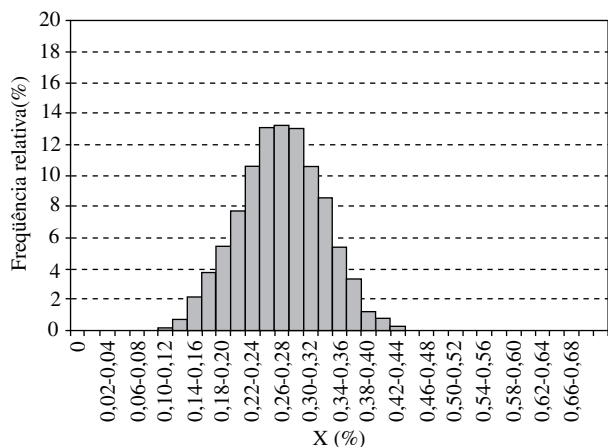
Figura 9. Distribuição das peças nos três planos do secador.



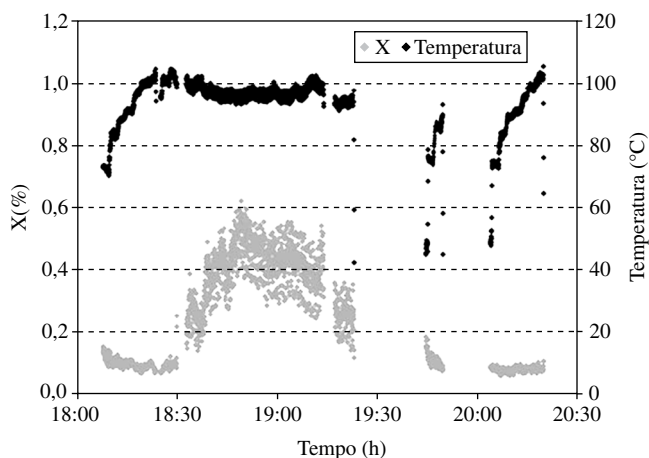
No gráfico são observadas três zonas onde a umidade apresenta valores muito diferentes, que se correspondem com ciclos de 22 minutos (A, B e C). Assim, as primeiras peças que foram medidas após a parada, correspondem às peças que durante a mesma se encontravam detidas no último módulo do secador. Transcorridos dois minutos foram medidas as peças que se encontravam no penúltimo



**Figura 10.** Valores de umidade e temperatura da peça durante o funcionamento estável do secador.



**Figura 11.** Histograma de umidade residual da peça em funcionamento estável.



**Figura 12.** Umidade e temperatura das peças durante um funcionamento estável com paradas longas.

timo módulo, e assim até completar o primeiro ciclo de 22 minutos, seção A da Figura 12.

As três zonas apresentam o seguinte comportamento:

- Zona A: As peças apresentam uma umidade muito baixa devido ao fato que todas se encontravam dentro do secador durante a parada, tendo, portanto, um maior tempo de secagem. A temperatura inicial destas peças é baixa, mas vai aumentando à medida que transcorre o tempo, e começam sair as peças que se encontravam em zonas progressivamente mais quentes;
- Zona B: As peças pouco a pouco vão aumentando sua umidade até alcançar a umidade residual média própria do funcionamento estável do secador. A temperatura das peças permanece praticamente constante; e
- Zona C: O funcionamento do secador nesta zona corresponde a um funcionamento estável, mas com valores de umidade um pouco mais elevados do que o habitual.

Ao analisar estatisticamente os valores de umidade destas três zonas se observa como na zona A tem-se uma distribuição muito estreita de umidades com valores muito baixos. O aumento progressivo da umidade correspondente à seção B leva a uma curva de distribuição de umidades mais dispersa. Ao chegar à seção C, a distribuição volta a ser estreita, porém com valores de umidade maiores.

Se forem analisados em conjunto todos os valores de umidade destas seções, obtém-se uma curva de distribuição de frequência bimodal, característica do comportamento da umidade das peças na saída do secador após uma parada longa (Figura 13).

Deve-se destacar que após um tipo deste de parada, os baixos valores de umidade não representam nenhum problema, mas os valores altos (>0,4%) podem ocasionar junto a outros fatores que podem ser somados, problemas de quebra de peças devido a uma diminuição da resistência mecânica das mesmas.

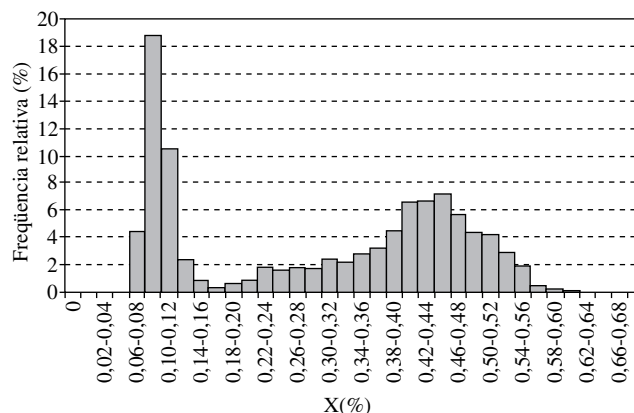
#### 4.4. Análise da resistência mecânica das peças secas

##### 4.4.1. Relação entre a resistência mecânica das peças secas e sua umidade residual

Para cumprir com o segundo objetivo do trabalho, de estabelecer uma relação entre a umidade das peças e sua resistência mecânica, foi necessário realizar medidas dos valores de resistência mecânica das peças na mesma linha de produção.

Como foi comprovado em trabalhos anteriores, onde se caracterizou o comportamento mecânico de peças cerâmicas durante a secagem industrial, a resistência mecânica da peça seca ( $\sigma_R$ ) varia em função da densidade aparente ( $\rho$ ) e da umidade de prensagem ( $X_p$ ) segundo a Equação 2.

$$\ln \sigma_R = - 14,086 + 1,054X_p + 7,222\rho - 0,477\rho X_p \quad (2)$$



**Figura 13.** Histograma de umidade global de peças após uma parada longa.

É importante destacar que, para um mesmo valor de densidade aparente, a variação experimentada pela resistência mecânica devido à umidade do prensado, é insignificante se comparada à variação experimentada com a umidade residual das peças ( $X_f < 1\%$ ) na saída do secador (Equação 3).

$$\sigma_R = \sigma_{R0} e^{-b\sigma X_f} \quad (3)$$

Assim, para baixas umidades ( $X_f < 1\%$ ), as que correspondem os valores de resistência mais elevados, pequenas variações de umidade residual levam a consideráveis alterações da resistência mecânica. A diminuição que experimenta a resistência mecânica da peça com o aumento de sua umidade, se deve à redução da força das ligações entre as partículas, associada com o aumento da separação entre as partículas sólidas motivado pela presença de camadas de água mais espessas.

Portanto, se supomos que a densidade aparente das peças varia pouco no processo industrial, é possível relacionar diretamente as variações na resistência mecânica com a umidade residual das peças na saída do secador.

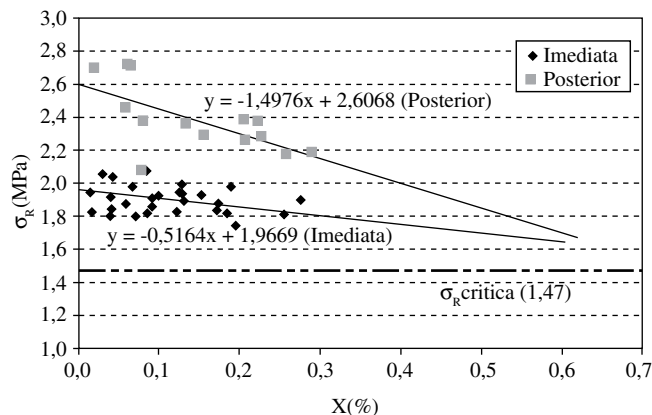
A medida da resistência mecânica no funcionamento estável foi realizada de duas formas:

- Medição imediata: A peça é recolhida na saída do secador após passar pelo equipamento de medida de umidade para determinar sua umidade residual, e se mede o valor de resistência mecânica no equipamento de flexão; e
- Medição posterior: Uma peça é recolhida na saída do secador após passar pelo equipamento de medida de umidade, e é colocada em uma bolsa (para que não seja modificada a umidade da mesma). Passadas 24 horas, a peça é retirada da bolsa e se mede o valor de resistência mecânica no equipamento de flexão.

Na Figura 14, são mostrados os valores conjuntos de resistência mecânica obtidos em modo posterior e imediato, além do valor crítico de resistência mecânica  $\sigma_{Rcritica}$  (valor abaixo do qual a empresa tem constatado que a quebra de peças começa a ser um problema grave).

Tendo em vista os resultados, se observa que somente nos valores obtidos em medidas posteriores aparece uma ligeira diminuição da resistência mecânica quando se produz um aumento da umidade residual. Isto pode acontecer devido ao fato de que a medida posterior assegura uma umidade homogênea em toda a peça, da mesma forma que nos ensaios experimentais de laboratório, com as que se determinou a dependência da resistência com a umidade residual (Equação 3).

Todavia, para as umidades estudadas, os valores de resistência que se mediram imediatamente, permaneceram constantes sem ser observado uma diminuição do valor de resistência mecânica ao aumentar a umidade da peça. A explicação deste comportamento pode ser devido ao gradiente de umidades na espessura que apresentam as



**Figura 14.** Comparação dos valores de resistência mecânica nas medições imediata e posterior.

peças medidas imediatamente, não sendo observado nas que foram medidas posteriormente, onde a umidade teve tempo de migrar e/ou difundir-se dando lugar a uma distribuição de umidade mais homogênea. Assim, ainda que a umidade global de toda a peça seja alta (0,2%), na superfície da peça onde se inicia a fratura com o ensaio de flexão, a umidade é de 0%, obtendo como valor de resistência mecânica o correspondente a essa umidade de 0% e não de 0,2%.

A diferença entre os valores de resistência medidos nos dois modos pode ser influenciada pelas tensões que se geram no interior da peça. Estas serão tanto maiores quanto maior for a velocidade de aquecimento e de secagem. É muito possível que estas tensões não sejam liberadas de forma imediata na saída do secador devido à natureza do material. Em consequência, a peça experimentará um aumento da resistência mecânica conforme vão sendo relaxadas as tensões residuais. As peças medidas imediatamente não têm tempo de relaxar tensões, por isso, as mesmas umidades apresentam valores de resistência mecânica mais baixos.

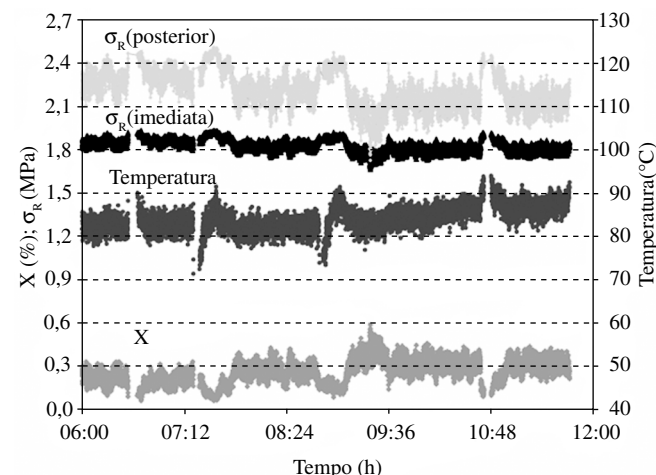
Com os resultados obtidos foi possível determinar o valor de resistência mecânica, a partir da umidade residual, dependendo do tipo de esforço ao qual se encontra submetida a peça. Assim, para o estudo de quebras em peças submetidas a esforços de flexão (decoração em máquina flexográfica) seria correto obter os valores de resistência a partir do ajuste obtido no modo imediato. Os valores de resistência obtidos pelo ajuste no modo posterior poderiam ser utilizados para analisar as fraturas ocasionadas por golpes entre peças.

#### 4.4.2. Estimativa contínua da resistência mecânica das peças secas

Depois da análise da variação que experimenta a umidade das peças na saída do secador durante o funcionamento do mesmo no modo estável e com paradas, fica justificada a necessidade de medir de forma contínua esta variável e, além disso, poder obter a partir dela, a variação de resistência mecânica que podem experimentar as peças no processo de secagem.

Na Figura 15 aparecem em um mesmo gráfico os valores de umidade, temperatura e resistência mecânica das peças no percorrer do tempo.

Os valores de resistência mecânica foram obtidos a partir dos ajustes realizados com os valores medidos de resistência mecânica no modo posterior e no modo imediato. Os valores de resistência obtidos no modo posterior, são os que justificam problemas de quebra por golpes, enquanto que os valores obtidos pelo ajuste de medição imediata justificam as quebras de peças submetidas a esforços de flexão. A grande contribuição que os resultados da Figura 15 proporcionam,



**Figura 15.** Valores de  $\sigma_R$  obtidos mediante calibração junto com a X e a temperatura das peças na saída do secador.

consiste em dispor de informação sobre uma propriedade do material  $\sigma_R$  diretamente relacionada com a probabilidade de quebra de peças na linha de produção.

## 5. Conclusões

Do trabalho desenvolvido na planta piloto do ITC e na planta industrial da Azteca foi possível chegar às seguintes conclusões:

- Foi comprovado que a medição contínua da umidade final das peças na saída de um secador é possível de ser realizada com um equipamento de radiofrequência, obtendo-se resultados confiáveis e reproduzíveis. A sensibilidade do equipamento é suficiente para medir valores de umidade nas peças cerâmicas inferiores a 1%, obtendo-se uma reta de calibração com um ajuste linear muito bom;
- Foi analisada a influência de certas variáveis sobre a leitura do equipamento de radiofrequência comprovando-se que a temperatura, espessura, densidade aparente e velocidade da peça não afetam de forma significativa. O que afeta significativamente é a distância de separação entre a peça e o equipamento, sendo, portanto, uma variável que deve permanecer constante durante a medição contínua; e
- Foi verificado o correto funcionamento do equipamento em condições industriais, realizando-se um acompanhamento do mesmo durante um período de dois meses. Da análise dos valores de umidade das peças registrados durante esse período pôde-se notar que:
  - A dispersão de umidades das peças, em funcionamento estável do secador, é pequena (0,2%), obtendo-se uma distribuição unimodal.

- Após uma parada longa (>5 minutos), a distribuição de umidades passa a ser bimodal, aumentando consideravelmente a dispersão de umidades (0,5%). Um dos máximos é correspondente aos valores altos de umidade nas peças. Este valor de umidade alto pode ocasionar problemas de quebra nas peças devido à redução do valor de resistência mecânica das mesmas.

- Foi realizada a medição da resistência mecânica das peças na saída do secador relacionando-a com sua umidade final. Este ajuste permite observar de maneira contínua o comportamento termomecânico das peças a partir dos dados de umidade final, que o equipamento de radiofrequência fornece. Tudo isso, buscando evitar a quebra de peças, que é motivada por uma diminuição da resistência mecânica ao aumentar o conteúdo de umidade residual.

## Referências

1. Amorós, J. L. et al. Evolution of mechanical strength of industrially dried ceramic tiles during storage. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 23, p. 1839-1845. 2003.
2. Jarque, J. C. et al. Comportamiento de composiciones cerámicas frente al secado en condiciones industriales. *Ediceram*, 12, p. 22-41. 2002.
3. Negre, F. et al. Determinación en continuo y en tiempo real de la humedad del polvo cerámico por atomización. *Técnica Cerámica*, 200, p. 34-42, 1992.
4. Jarque Sonría, J. C. **Estudio del comportamiento mecánico de soportes cerámicos crudos**. Mejora de sus propiedades mecánicas. Novembro de 2001 (Tese de doutorado).



# FEITTEC BRASIL

FEIRA INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS CERÂMICOS

**Horário**  
14h às 21h

**Local**  
ASPACER  
Santa Gertrudes - SP

**Informações**  
19 3545.1145

**DE 26 A 29 DE JUNHO**

[www.feittecbrasil.com](http://www.feittecbrasil.com)

EXPOSIÇÕES



Acesso apenas com convite

A MAIOR FEIRA DE  
FORNECEDORES  
CERÂMICOS  
DO BRASIL  
**2007**

Realização / Organização



Patrocinadores Oficiais



Patrocinadores



Apoio



Agência oficial



Promoção / Comercialização

