

## COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO LINEAR DE PLACAS CERÂMICAS

Marcelo Jung<sup>1</sup>, Isabella de Souza Camisa<sup>1</sup>, Isabela Albanaz<sup>1</sup>, Stefaine Laise da Silva Pereira<sup>1</sup>, Maykon Cargnin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Maximiliano Gaidzinski / Colégio Maximiliano Gaidzinski

<sup>2</sup>Instituto Maximiliano Gaidzinski / Departamento Técnico / maykon.cargnin@imgnet.org.br

**Resumo:** O controle dimensional das placas cerâmicas para revestimento ou pavimento é extremamente necessário, pois as características dimensionais estão relacionadas diretamente com a qualidade do produto. Existem normas e legislações que regulamentam as dimensões dos produtos cerâmicos. As variações dimensionais são controladas a partir dos valores de retração linear sofrido pelas placas cerâmicas durante o processo produtivo. Portanto, o objetivo deste projeto é comparar dois métodos para determinação da retração linear de queima de placas cerâmicas em diferentes condições de queima e de características técnicas, como absorção de água e composição da massa. Neste projeto foram utilizadas duas massas atomizadas, sendo uma para revestimento poroso e outra de pavimento gresificado. Foram preparados corpos-de-prova a nível laboratorial com as mesmas condições industriais e queimados em temperaturas de 1050°C a 1200°C em forno laboratorial. Os métodos para determinação da retração linear foram a partir do comprimento e do volume dos corpos-de-prova. Os resultados demonstram que a variação da retração linear obtidas entre os dois métodos é muito pequena, mas o método que utiliza o volume da amostra leva em consideração todas as características físicas da amostra, tornando o método fisicamente consistente.

**Palavras-Chave:** método, retração linear, comprimento, volume, cerâmica.

### 1 INTRODUÇÃO

O processo de produção de placas cerâmicas para revestimentos por monoqueima é, atualmente, o mais difundido entre as indústrias cerâmicas em todo o mundo. Onde os processos de secagem e de queima são uma das etapas mais importantes do processamento cerâmico, pois é nesta etapa que o material adquire as propriedades necessárias para sua utilização, já que são transferidas a energia térmica necessária para promover uma série de reações químicas e físicas. Assim a maior preocupação no processo, além das características estéticas, é a de garantir a obtenção de produtos dentro de uma mesma categoria dimensional (tamanho). O controle das dimensões e formato dos revestimentos cerâmicos é de fundamental importância para se garantir a qualidade do produto (CARGNIN et. al. (2011); DE NONI et. al. (2005); MELCHIADES et. al. (2001)). As normas de especificação nacional NBR 13818 (ABNT, (1997)) e internacional ISO 13006 (ISO, (1998)) apresentam as tolerâncias dimensionais das placas cerâmicas para revestimentos. O tamanho final de uma placa cerâmica é o resultado das variações dimensionais sofridas durante o processo produtivo, desde a conformação até a queima.

A retração que as placas cerâmicas sofrem durante as etapas de tratamento térmico é um parâmetro de grande importância tecnológica. Durante a secagem, com a saída de umidade, são geradas tensões que podem levar ao aparecimento de defeitos que comprometem a qualidade das placas cerâmicas e na queima, o sistema de partículas individuais ou um corpo poroso sofrem modificações em algumas de suas propriedades no sentido de chegar num estado de máxima densificação possível, reduzindo a porosidade do material. Essa determinação das propriedades tecnológicas dos materiais cerâmicos de base argilosa faz parte de uma das etapas de caracterização das argilas. Indicam as condições ideais do processamento cerâmico, inclui taxas, patamares e temperaturas de queima (ciclo de queima) adequadas para manter as propriedades dentro das normas estabelecidas (DUTRA et. al., 2006; MELCHIADES et. al., 1996).

Entre as características das cerâmicas observa-se a retração linear, consequência do processo de sinterização que se define pelo agrupamento de moléculas que compõem a cerâmica à medida que a temperatura aumenta, estando sempre abaixo do ponto de fusão do material, fazendo com que as imperfeições e poros diminuam, aumentando assim a densidade do material e diminuindo suas dimensões (MELCHIADES et. al., 1996). Para controlar a variação da retração linear em função da temperatura é utilizada uma ferramenta chamada curva de gresificação, que permite avaliar a sensibilidade das massas cerâmicas frente as variações de temperatura e condições de processamento, como teor de umidade, pressão de compactação e variações no processo de secagem e queima (MELCHIADES et. al., 1997).

Tradicionalmente, a retração linear é obtida através das maiores dimensões dos corpos-de-prova, geralmente, o comprimento inicial ( $L_i$ ) e o comprimento final ( $L_f$ ). Exemplificando, para determinar a retração linear após a queima do material cerâmico são necessários o comprimento antes da queima ( $L_i$ ), ou seja, do corpo-de-prova seco e o comprimento depois da queima ( $L_f$ ), sendo obtidos através de um paquímetro. A determinação da retração linear ( $R_l$  (%)) utiliza a Eq. (1) para expressar o valor em termos percentuais (AICE/ITC, 1992):

$$R_l(\%) = \left( \frac{L_i - L_f}{L_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

Mas durante a secagem e a queima dos materiais cerâmicos, a retração não ocorre apenas numa dimensão do corpo-de-prova, mas em todas as dimensões e, portanto, tem-se uma retração volumétrica. Desta forma, o objetivo deste projeto é

comparar os resultados de retração dos corpos-de-prova de massas cerâmicas com diferentes características técnicas, utilizando dois métodos distintos para determinar esta propriedade e verificar se existem variações de um método para outro.

## 2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dois tipos de massas cerâmicas, uma de revestimento poroso (monoporosa, azulejo) e outra de pavimento gresificado (porcelanato esmaltado). Essas massas já passaram pelo processo de moagem e atomização, portanto estão na forma de pó atomizado, ou seja, em condições de processamento industrial. Foram coletados 2 kg de pó atomizado de cada massa e pesou-se 100 g de cada massa em uma balança digital de resolução de 0,01g. Estas amostras foram inseridas em uma estufa laboratorial com temperatura de  $110\pm 10^{\circ}\text{C}$  até obterem peso constante, a fim de controlar a etapa de conformação dos corpos-de-prova.

A conformação dos corpos-de-prova foi realizada por prensagem uniaxial em uma prensa hidráulica laboratorial com uma cavidade de 80 mm x 20 mm. O carregamento do pó atomizado na caixa matriz foi de 20 g e foram obtidos 30 corpos-de-prova de cada massa cerâmica. As pressões específicas utilizadas para a massa de revestimento poroso foram de 0,5 MPa de pressão de desareação e 30 MPa como pressão de compactação. Para a massa de pavimento gresificado, as pressões específicas foram de 0,5 e 20 MPa de pressões de desareação e de 40 MPa como pressão de compactação.

Com todos os corpos-de-prova já prontos, foram medidas suas dimensões (comprimento, largura e espessura) com paquímetro de resolução de 0,05 mm, e foram pesadas suas massas em uma balança digital de 0,01g. Logo depois os corpos-de-prova foram colocados em uma estufa laboratorial a uma temperatura de  $110^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ , para realizar-se a secagem, onde ocorreu a primeira retração com a saída da umidade presente nos mesmos. Após os corpos já estarem secos, foram medidas novamente as suas dimensões, sua massa e calculado sua retração de secagem. Depois de realizados esses ensaios, foram determinadas as densidades aparentes dos corpos-de-prova, utilizando o método por empuxo de mercúrio à uma temperatura de  $27,5^{\circ}\text{C}$ . Isto possibilitou determinar o volume inicial ( $V_i$ ) de cada corpo-de-prova através da Eq. (2), onde “m” é a massa (g) e “ $\rho$ ” é a densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) de cada corpo-de-prova:

$$V_i(cm^3) = \frac{m}{\rho} \quad (2)$$

A seguir foram realizadas as queimas em forno mufla laboratorial com um patamar de queima de 5 minutos e taxa de aquecimento de 5,5°C/min, onde as temperaturas foram: para a massa de revestimento poroso (monoporosa) 1050°C, 1100°C, 1150°C e 1175°C e para massa de pavimento gresificado (porcelanato esmaltado) 1100°C, 1150°C, 1175°C e 1200°C. Após o término da etapa de queima, foram novamente medidas as dimensões, a massa e calculadas suas retrações lineares de queima pela Eq. (1), e determinadas as densidades aparentes com o método por empuxo de mercúrio, possibilitando determinar o volume final ( $V_f$ ) de cada corpo-de-prova através da Eq. (2).

Com a obtenção dos volumes iniciais ( $V_i$ ) e finais ( $V_f$ ) dos corpos-de-prova é possível determinar a retração linear de queima utilizando a Eq. (3) a partir dos volumes:

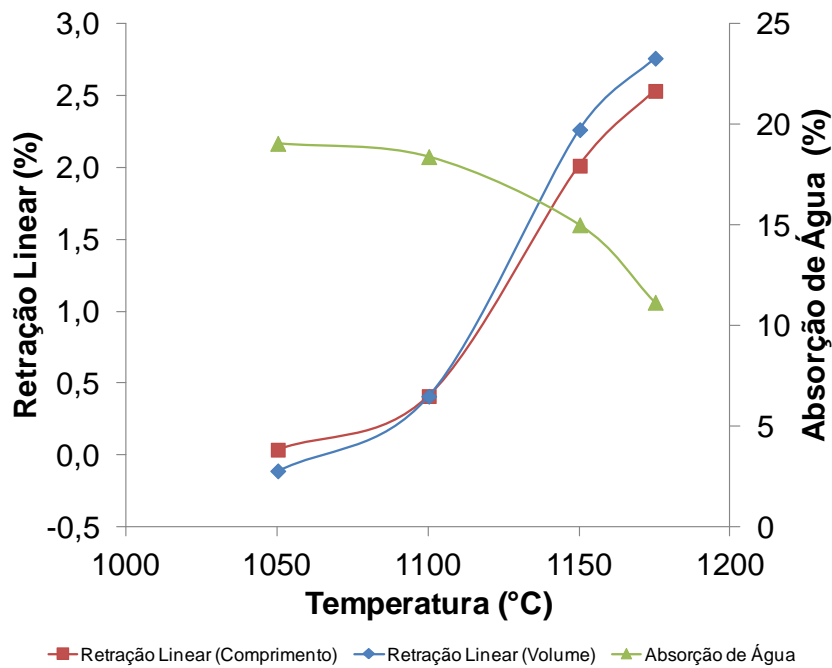
$$R_l(\%) = \left[ 1 - \left( \frac{V_f}{V_i} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \times 100 \quad (3)$$

Além da retração linear de queima foi determinada a absorção de água dos corpos-de-prova, a fim de construir uma curva de gresificação e comparar os resultados obtidos entre os métodos de determinação da retração linear dos materiais cerâmicos. Estas curvas de gresificação são compostas pela temperatura no eixo das abscissas, absorção de água e retração linear de queima no eixo das ordenadas.

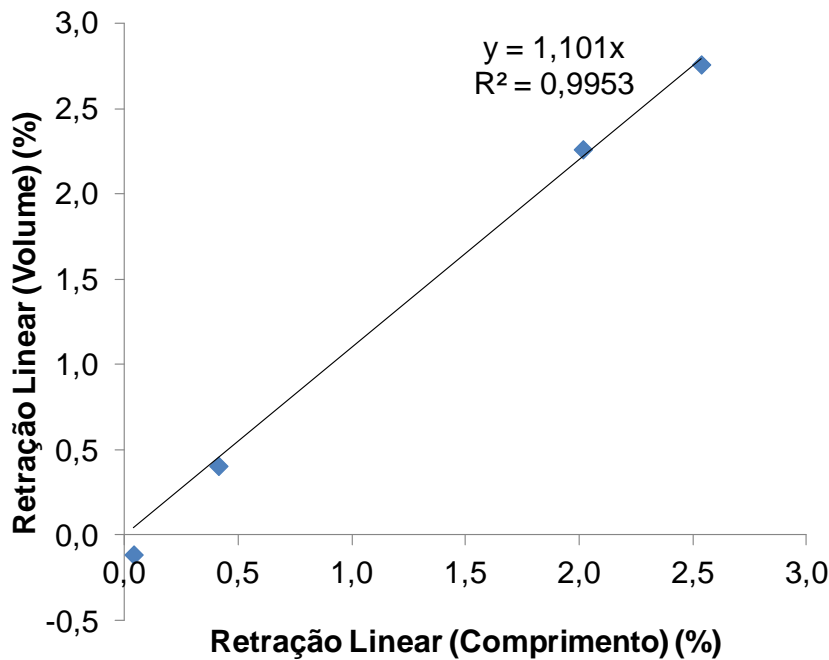
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados pela curva de gresificação da Figura 01 mostram que com o aumento da temperatura a retração linear sofrida por esta massa é relativamente pequena, pois trata-se de uma massa para revestimento poroso e que geralmente é uma massa refratária e pouco sensível as variações de temperatura. A temperatura de 1175°C é uma temperatura pouco utilizada para estes tipos de produto, pois nesta faixa a massa começa a entrar em fusão. Comparando os métodos para determinação das retrações lineares, pode-se perceber que existe uma pequena variação, mas os valores obtidos pelos volumes apresentaram-se ligeiramente mais elevados, justificado pelo fato de levar em consideração o volume aparente dos corpos-de-prova e não apenas uma dimensão, que pode não estar representando realmente o encolhimento sofrido pelo corpo-de-prova.

**Figura 01** – Curva de gresificação de uma massa de revestimento poroso (monoporosa).



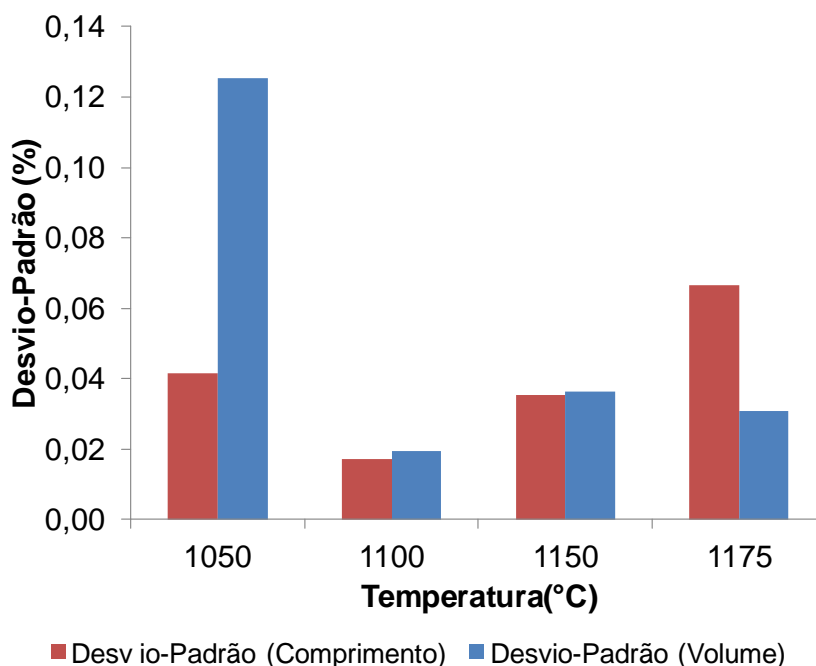
**Figura 02** – Relação entre a retração linear obtida pelo paquímetro com a retração linear obtida pela densidade aparente. Massa de monoporosa.



Através da Figura 02 é possível perceber uma grande aproximação dos resultados obtidos das retrações lineares pelos diferentes métodos, o que mostra que as duas determinações são bem parecidas, pois o coeficiente angular da relação entre a retração linear determinada pelo comprimento com a retração linear obtida pelo volume

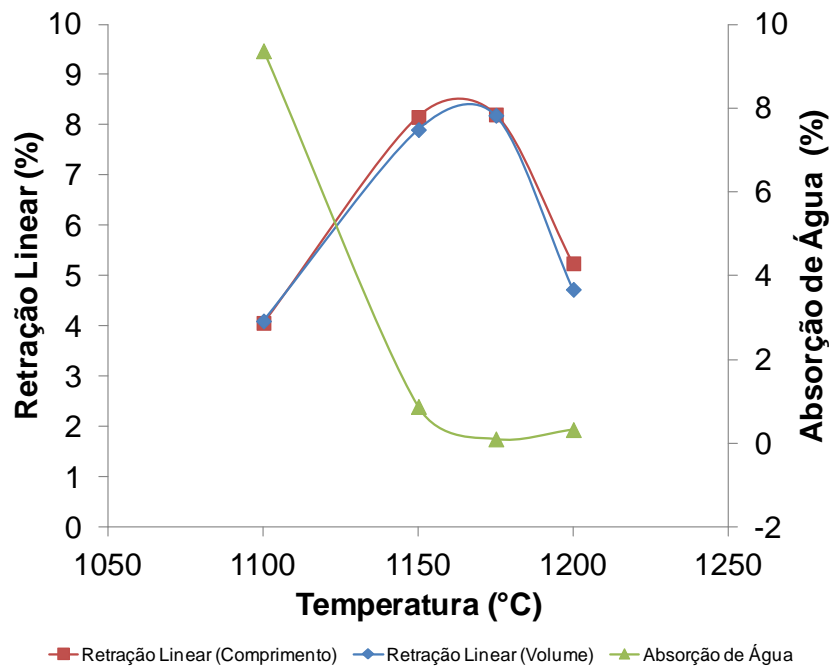
aproxima-se de 1 ( $y = 1,101x$ ), demonstrando resultados bastante confiáveis. Pode-se confirmar estes resultados através da Figura 03, pois estão apresentados os valores do desvio-padrão para cada temperatura demonstrando que a variação dentro de cada método é muito semelhante e também muito pequena, não contribuindo para variações significativas no resultado final da retração linear de queima dos corpos-de-prova deste tipo de massa cerâmica.

**Figura 03** – Comparação entre as variabilidades dos valores de retração linear para cada método. Massa de monoporosa.



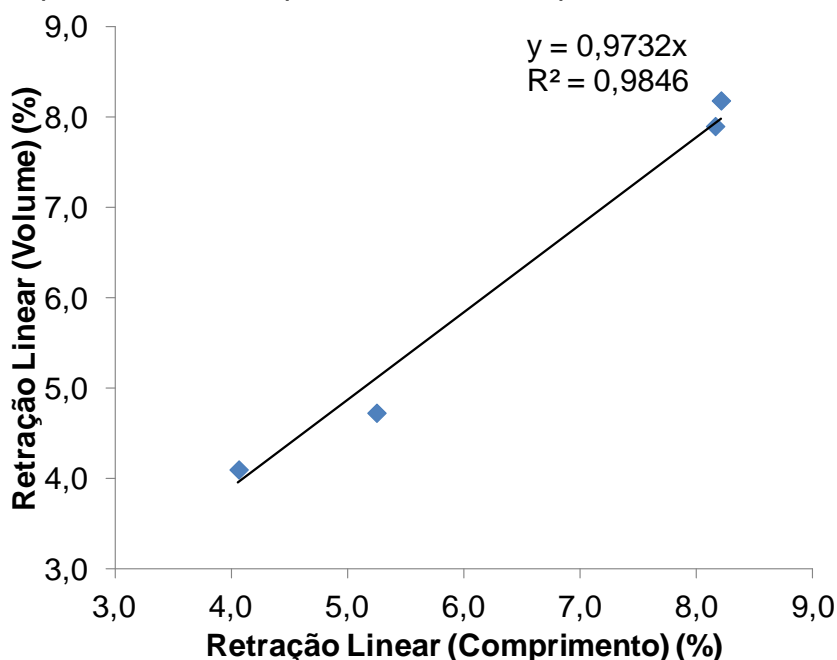
A massa cerâmica para um pavimento gresificado (porcelanato esmaltado) trata-se de uma massa que em elevadas temperaturas possui uma quantidade de fase líquida muito maior do que a massa para um revestimento poroso. Desta forma, a retração linear deste tipo de massa é muito mais pronunciada e o efeito do excesso de queima é sentido mais rapidamente. Isto pode ser observado na Figura 04 pela curva de gresificação apresentada que a partir de 1175°C os valores de retração linear diminuem muito, pois o material ultrapassou a região de máxima densificação e agora está entrando numa zona de expansão. Este comportamento foi detectado pelos dois métodos de determinação da retração linear de queima e que visualmente apresentam valores ainda mais próximos, demonstrando assim a capacidade de utilização dos dois métodos para esta caracterização.

**Figura 04** – Curva de gresificação de uma massa de pavimento gresificado (porcelanato esmaltado).



A Figura 05 apresenta a relação entre a retração linear obtida pelo comprimento e a retração linear determinada pelo volume e pode-se perceber que esta relação não é tão próxima, como o apresentado pela curva de gresificação, pois o coeficiente angular ( $y = 0,9732x$ ) é um pouco mais afastado de 1, indicando uma maior variabilidade nesta relação.

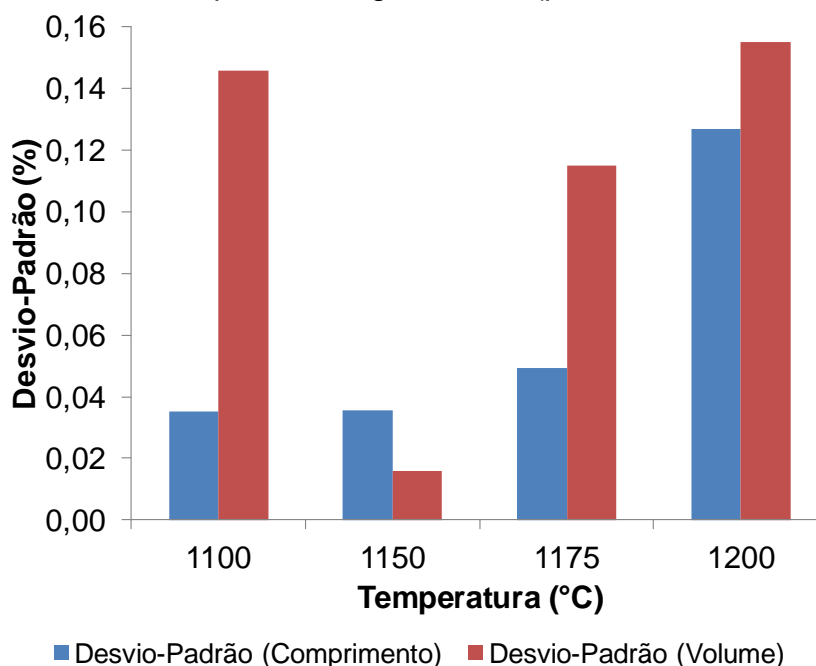
**Figura 05** – Relação entre a retração linear obtida pelo paquímetro com a retração linear obtida pela densidade aparente. Massa de porcelanato esmaltado.



Esta verificação fica ainda mais evidente pelos resultados do desvio-padrão da retração linear para cada temperatura, apresentado pela Figura 06. O método de calcular a retração linear pelo comprimento mostra que o desvio-padrão é menor em relação aos dados obtidos utilizando o volume. Vale ressaltar que no método utilizando o volume da peça pode ter interferência dos erros experimentais do ensaio de densidade aparente por empuxo de mercúrio, mas mesmo assim demonstra ser um método bastante preciso. Em aplicação empresarial deve-se inspecionar a retração linear de forma que esta fique dentro das normas estabelecidas, já que uma variação descontrolada nas dimensões de cada peça pode trazer grandes alterações no produto final e em sua qualidade.



**Figura 06** – Comparação entre as variabilidades dos valores de retração linear para cada método. Massa de pavimento gresificado (porcelanato esmaltado).



#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De uma maneira geral, o projeto demonstrou que a retração linear de placas cerâmicas pode ser determinada através de dois métodos e que estes podem ser utilizados para controle dimensional dos produtos cerâmicos. A variabilidade apresentada pelos métodos não é significativa para descartar um ou outro método. Lembrando que o método de determinação da retração linear pelo comprimento é mais rápido e simples, mas se a placa cerâmica apresentar desvios em sua planaridade, este método não é mais recomendado, enquanto o método de determinação utilizando o volume das placas cerâmicas pode ser utilizado mesmo que estas apresentem qualquer tipo de desvio em sua planaridade.

#### AGRADECIMENTOS

A equipe abre espaço para agradecer a todas as pessoas que se envolveram durante a elaboração deste projeto, a empresa Eliane S/A Revestimentos Cerâmicos por disponibilizar as matérias-primas e aos profissionais do Colégio Maximiliano Gaidzinski, nosso muito obrigado.

## REFERÊNCIAS

CARGNIN, M.; SOUZA, S.M.A.G.U. de; SOUZA, A.A.U. de; DE NONI JR, A. Determinação de parâmetros cinéticos da sinterização de revestimentos cerâmicos de monoqueima do tipo BIIa. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v.57, n.344, p.461-466, out./nov./dez. 2011.

DE NONI JR, A.; MODESTO, C. O.; OLIVEIRA, A.P.N.; HOTZA, D. Modelagem matemática aplicada ao controle de variação dimensional de placas cerâmicas de monoqueima do grupo BIIa. In: 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2005, São Pedro. **Anais 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, São Pedro, jun. 2005. 1 CDRom.

MELCHIADES, F.G. et. al. Controle dimensional e do formato de revestimentos cerâmicos. Parte I: Dimensões. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.6, n.5, p.27-33, set./out. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818**: placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.

ISO. **ISO 13006**: Ceramic Tiles. The International Standards. Ed. Int. CERLabs. 1998.

DUTRA, R.P.S. et. al. Propriedades tecnológicas de materiais cerâmicos de base argilosa conformados por extrusão e submetidos a diferentes ciclos de queima. In: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006, Foz do Iguaçu. **Anais 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Foz do Iguaçu, Nov. 2006, 1 CDRom.

MELCHIADES, F.G. et. al. A curva de gresificação: Parte I. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.1, n.4/5, p. 30-31, ago./dez. 1996.

MELCHIADES, F.G. et. al. A curva de gresificação: Parte II. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.2, n.1/2, p. 23-26, jan./abril. 1997.

ASOCIACION DE INVESTIGACION DE LAS INDUSTRIA CERÁMICAS (AICE) E INSTITUTO DE TECNOLOGIA CERÁMICA (ITC). **Manual para el Control de la Calidad de Materias primas Arcillosas**. Valência. Espanha, 1992.