

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MASSAS CERÂMICAS PARA REVESTIMENTO DO TIPO GRÊS PORCELANATO UTILIZANDO A CURVA DE GRESIFICAÇÃO

B.C.A. Pinheiro¹; S.F. Souza²; K.A.C. Pêgo³;

¹ Departamento de Engenharia de Produção – FIC/Grupo UNIS – Rua Romualdo Meneses, 701, 36770-000, Cataguases, MG.

^{1,2,3} Departamento de Design – UEMG – Avenida Olegário Maciel, 1427, 36500-000, Ubá, MG.

Rua Vigorito Lamas da Silva, 131, Centro, 36788-000 Itamarati de Minas - MG

brunoc@uenf.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo mostrar a utilidade da curva de gresificação como ferramenta de controle de qualidade de massas cerâmicas para a produção de revestimentos cerâmicos para pisos do tipo grês porcelanato a variações da temperatura de queima e a variações de composição (% em massa seca) em termos das matérias primas componentes. Para isso, duas massas cerâmicas denotadas como M1 e M2 foram formuladas e preparadas utilizando-se caulim, quartzo e feldspato sódico. Foram confeccionadas peças cerâmicas a partir dessas massas por prensagem uniaxial utilizando-se uma pressão de compactação de 40 MPa. Em seguida, as peças foram secas em estufa a 110 °C por 24 h sinterizadas nas temperaturas de 1160 a 1240 °C, em intervalos de 20 °C, utilizando-se um ciclo de queima rápido (aproximadamente 1h frio a frio). Após a sinterização, as propriedades absorção de água e retração linear de queima foram determinadas. Em seguida, foram construídas as curvas de gresificação para tais massas cerâmicas. A análise das curvas de gresificação das massas cerâmicas mostrou que a massa cerâmica M1 apresenta maior potencial (qualidade) para a fabricação de revestimento cerâmico do tipo grês porcelanato.

Palavras-chave: Curva de gresificação, Revestimentos cerâmicos, Qualidade.

INTRODUÇÃO

Os revestimentos cerâmicos são também chamados de placas cerâmicas e são produzidos a partir de massas cerâmicas que podem ser distinguidas em vermelhas e brancas cujo aspecto é evidenciado após a etapa de sinterização dos produtos ⁽¹⁾. Este grupo de produtos engloba azulejos, ladrilhos e pastilhas, produtos de formato regular, permitindo maior grau de automação. Isto pode ser comprovado pela produção brasileira ao longo da última década, altamente automatizada que levou ao grande volume produzido, reduziu preços e popularizou o uso destes produtos ⁽²⁾.

O grês porcelanato pode ser definido como sendo um revestimento cerâmico impermeável, totalmente vitrificado, (de acordo com a norma ISO – 13.006 a absorção de água deve ser inferior a 0,5 %), esmaltado ou não, cuja peça queimada é branca ou colorida por meio de adição de pigmentos na composição inicial, e feita a partir de uma mistura de caulim (ou argilas caulínicas), quartzo e feldspato ⁽³⁾. Este produto destaca-se por suas excelentes características técnicas, tais como: elevada resistência mecânica, elevada resistência a abrasão, elevada resistência ao gelo, a ácidos e álcalis, impermeabilidade, facilidade de manutenção, amplas possibilidades de composições, apresentando baixa porosidade e baixa absorção de água ($\leq 0,5\%$). Em função da sua baixíssima absorção de água, está classificado no grupo Ia, segundo a Norma Internacional ISO 13.006 ⁽⁴⁾.

Todo processo produtivo apresenta variações das condições de processamento. No caso de revestimentos cerâmicos, os quais são os produtos investigados no presente trabalho, algumas das principais variações que podem ocorrer durante o processo produtivo são: i) variações das características das matérias primas; ii) da proporção das diversas matérias primas componentes da massa cerâmica; iii) do teor de umidade; iv) do preenchimento das cavidades do molde; v) da pressão de compactação; e vi) das condições de secagem e queima. Portanto, para que as principais características de um produto fique dentro dos limites desejados é preciso avaliar a sensibilidade do produto a essas variações ⁽⁵⁾. Uma das principais etapas do processamento de produtos classificados como revestimentos cerâmicos é a etapa da queima ou sinterização. O principal objetivo dessa etapa é consolidar o formato da peça definido pela etapa de conformação. Durante a queima ocorrem também variações importantes como a diminuição da

porosidade do produto cerâmico, principalmente, da porosidade aberta, a qual é caracterizada pela absorção de água (AA) e a retração, que é caracterizada pela retração linear de queima (RLq) ⁽⁶⁾. Essas variações se relacionam intimamente com a evolução microestrutural do produto durante a queima. Essa evolução microestrutural é conhecida como gresificação. Uma forma de representar graficamente essa evolução é através da curva de gresificação. A curva de gresificação representa simultaneamente as variações de absorção de água (AA) e retração linear do produto cerâmico (revestimento cerâmico) com a temperatura de queima ⁽⁷⁾. Ela pode ser usada para estabelecer a temperatura na qual os parâmetros absorção de água (AA) e retração linear de queima (RLq) se encontram dentro de limites desejáveis. Além disso, a curva de gresificação permite avaliar a tolerância da massa cerâmica componente do produto as variações citadas anteriormente, sendo instrumento de grande importância no controle de qualidade de produtos cerâmicos, principalmente, revestimentos cerâmicos ⁽⁶⁾.

Em relação a tudo que foi mencionado, o objetivo geral do presente trabalho é demonstrar como a curva de gresificação pode ser utilizada como ferramenta de controle de qualidade no sentido de avaliar a sensibilidade de massas (misturas cerâmicas) componentes de produtos cerâmicos classificados como revestimentos cerâmicos do tipo grês porcelanato a variações da temperatura de queima e a variações de composição (% em massa seca) das matérias primas.

MATERIAIS E MÉTODOS

As matérias primas utilizadas no presente trabalho são caulim, quartzo e feldspato sódico (albita). Essas matérias primas foram fornecidas pela Arnil Mineração do Nordeste LTDA localizada no município de Parelhas – RN. A Tabela 1 apresenta a composição das massas cerâmicas.

TABELA 1 – Composição das massas cerâmicas estudadas.

Massas Cerâmicas	Matérias Primas (% em massa seca)		
	Caulim	Quartzo	Feldspato Sódico
M1	45	12,5	42,5
M2	45	15	40

As matérias primas, fornecidas na forma de pó fino, foram inicialmente secas em estufa a 110 °C por 24 h e passadas em peneiras 200 mesh (75 µm ABNT). Em seguida, as matérias primas foram pesadas em balança digital ($\pm 0,01$ g) nas quantidades pré-estabelecidas de acordo com a Tabela 1. Logo após, as matérias primas foram submetidas a um processo de mistura, a seco, por 60 minutos em moinho de bolas. Em seguida, as misturas obtidas foram umidificadas com 7 % em peso de umidade, granuladas e colocadas em repouso por 24 h para melhor homogeneização da umidade adicionada.

As amostras foram prensadas na forma de barras prismáticas de seção retangular com 115 x 25,4 x 7 mm³, com aproximadamente 40 g. Essas amostras foram conformadas por prensagem uniaxial com pressão de compactação de 40 MPa. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 110 °C por 24 h e sinterizados nas temperaturas de 1160, 1180, 1200, 1220 e 1240 °C utilizando um ciclo de queima rápido (aproximadamente 1 h). Os corpos-de-prova foram mantidos na temperatura de patamar durante 6 minutos.

Depois de sinterizadas, as amostras foram submetidas aos ensaios de retração linear de queima (norma MB – 305 ABNT) e absorção de água (NBR 6480 ABNT). Com os dados de retração linear e absorção de água foram construídos curvas de gresificação com o auxílio do software Origin 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 1 e 2 mostram os diagramas de gresificação para as massas M1 e M2, respectivamente, para a produção de revestimentos cerâmicos do tipo grês porcelanato de acordo com a Norma ISO 13.006. Diante disso, o produto final deve apresentar absorção de água inferior a 0,5 % ($AA \leq 0,5$ %) e uma variação dimensional inferior a $\pm 0,5$ % em relação a dimensão de fabricação, ou seja, uma variação máxima de retração linear de queima (RLq) de 1,2 %. Assim, tendo como objetivo alcançar uma absorção de água (AA) de 0,5 % pode-se com base na curva de gresificação avaliar a qualidade das massas cerâmicas investigadas.

Como pode ser observado na figura 1, a faixa de temperatura de queima necessária para se obter absorção de água (AA) de 0,5 % para a massa cerâmica M1 é de 1234 °C a 1240 °C. Esta faixa de temperatura de queima está dentro da faixa adotada na indústria para a queima de revestimentos cerâmicos do tipo grês porcelanato (1210 °C – 1240 °C) ⁽⁸⁾. Considerando que a variação de temperatura no

forno usado é de 5 °C, tem-se que a temperatura no forno está localizada na faixa entre 1229 °C e 1239 °C. Com base na figura 1, os valores de retração linear de queima (RLq) correspondentes a esses dois valores de temperatura são de 7,95 % e 7,98 %, respectivamente. Dessa forma, pode-se ver que para a massa M1, sob as condições de processamento e queima descritas aqui, a variação dimensional observada é de 0,03 %. Esse valor de variação dimensional é compatível com os limites especificados na Norma ISO 13.006 para o grupo Bla (grês porcelanato).

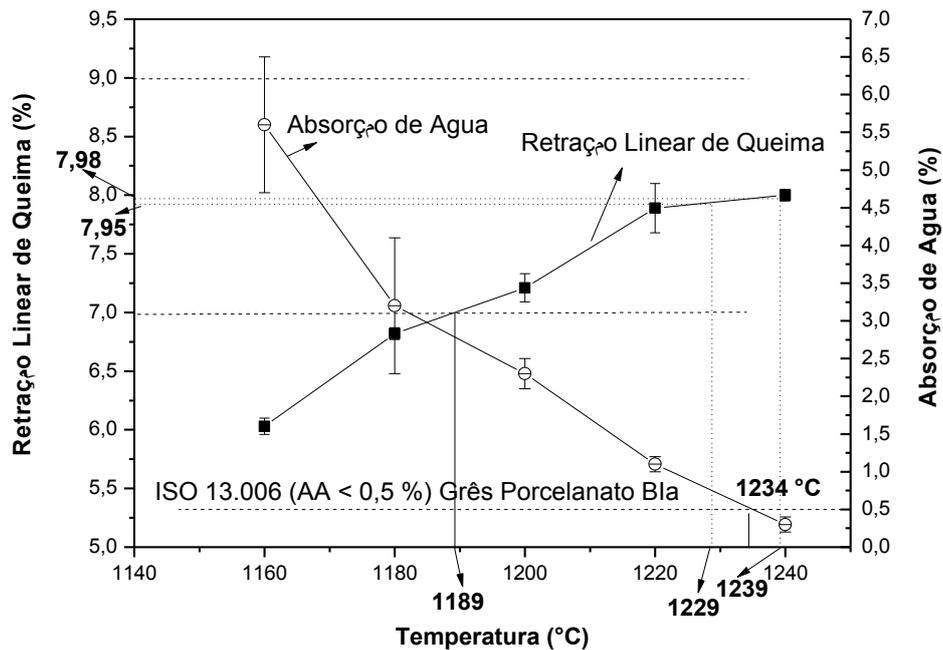


Figura 1 – Curva de gresificação da massa cerâmica M1.

É importante destacar também que os valores de retração linear de queima que os corpos cerâmicos obtidos a partir da massa M1 (7,95 % a 7,98 %) na faixa de temperatura de 1234 °C a 1240 °C, respectivamente, se encontram dentro dos limites para a fabricação industrial ⁽⁹⁾. A faixa de retração linear de queima para revestimentos do tipo grês porcelanato de 7 % a 9 % é classificada como de boa qualidade ⁽¹⁰⁾. Assim, pode-se ver que os valores de retração linear obtidos para as peças cerâmicas da massa M1 dentro da faixa de temperatura de queima na qual foi possível a obtenção de revestimento cerâmico do tipo grês porcelanato (1234 °C a 1240 °C) se encontram dentro desse intervalo. Isso é de grande importância, pois mostra claramente que os produtos (revestimento do tipo grês porcelanato) obtidos a partir da massa M1 cumprem necessariamente dois requisitos importantes: i) a

estabilidade dimensional e, ii) a geometria correta dos corpos cerâmicos ⁽¹¹⁾. Além disso, pode ser observado também a partir da figura 1 que a massa cerâmica M1 alcança o valor de retração linear de 7 % na temperatura de aproximadamente 1189 °C.

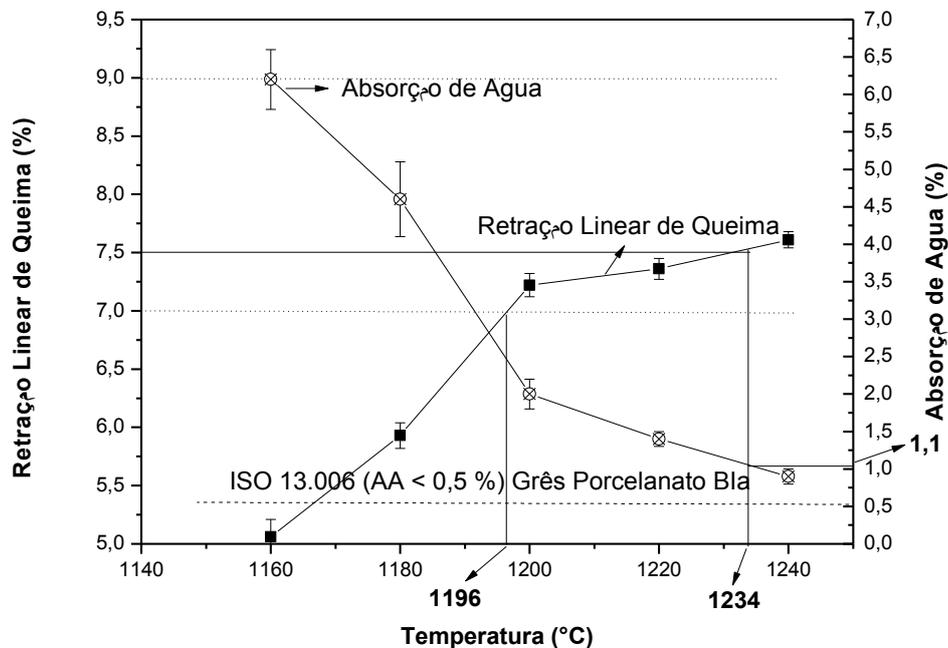


Figura 2 – Curva de gresificação da massa cerâmica M2.

No sentido de demonstrar como a curva de gresificação pode ser usada para avaliar a qualidade de massas cerâmicas com relação a variações de composição, em termos de percentual de matérias primas utilizadas, é feito uma comparação entre as figuras 1 (massa M1) e 2 (massa M2). Primeiramente, é importante mencionar que conforme visto na tabela 1, a massa cerâmica M2 possui uma variação de $\pm 2,5$ % em massa seca das matérias primas feldspato sódico e quartzo em relação a massa M1.

A partir da figura 2, pode ser observado que a massa cerâmica M2, nas condições de processamento e queima utilizadas neste trabalho, não atinge a especificação, em termos de absorção de água, para revestimento cerâmico do tipo grês porcelanato. Considerando a faixa de temperatura de 1234 °C a 1240 °C, conforme mostra a figura 2, uma variação de $\pm 2,5$ % (em massa seca) entre as matérias primas, feldspato sódico e quartzo, faz com que a absorção de água (AA) varie entre aproximadamente 1,1 % a 0,9 % (massa M2) contra 0,5 % a 0,3%

(massa M1). De acordo com esse parâmetro de avaliação pode-se concluir a partir das figuras 1 e 2 que a massa cerâmica M1 apresenta maior potencial (qualidade) para a fabricação de revestimento do tipo grês porcelanato do que a massa M2. O comportamento observado para a massa M2 pode ser explicado pela menor proporção de feldspato sódico presente na massa M2. O feldspato desempenha um papel fundamental nas massas cerâmicas de grês porcelanato. A importância desta matéria prima está na capacidade de diminuir a temperatura de formação de fase líquida durante a queima, atuando como fundente. Isso é devido à presença de óxidos como: Na_2O , K_2O , CaO em sua composição. Este líquido formado durante a queima preenche os poros, diminuindo a absorção de água das peças cerâmicas ⁽¹²⁾. Portanto, o feldspato é a matéria prima responsável inicial do processo de densificação que mais contribui para a diminuição da porosidade das peças de grês porcelanato conferindo-lhes as propriedades desejadas ⁽¹³⁾. Provavelmente, a menor proporção de feldspato sódico na massa M2, não proporcionou formação de fase líquida suficiente para preenchimento da porosidade, fazendo com que as peças cerâmicas obtidas a partir da massa M2 apresentassem maiores valores de absorção de água. Valores estes, que não satisfazem a especificação para revestimento cerâmico do tipo grês porcelanato.

Sob o ponto de vista da retração linear de queima, considerando a faixa de temperatura de 1234 °C a 1240 °C, conforme mostrado na figura 2, a variação de $\pm 2,5\%$ (em massa seca) entre as matérias primas, feldspato sódico e quartzo, faz com que esse parâmetro varie entre aproximadamente 7,5 % a 7,61 % (massa M2) contra 7,95 % a 7,98 % (massa M1). Este comportamento está relacionado, principalmente, com a presença de maior percentual de quartzo na massa M2. Pode-se notar que o aumento no percentual de quartzo fez diminuir a retração linear de queima das peças cerâmicas. O quartzo numa massa para grês porcelanato, é necessário, principalmente, para diminuir a retração linear de secagem e queima ⁽¹⁴⁾. Quando participa da fusão com os feldspatos, é um componente que equilibra a viscosidade da fase líquida formada, já que ao se dissolver aumenta a quantidade de silício e, principalmente, mantém a viscosidade da fase líquida elevada, reduzindo assim, a tendência da peça cerâmica a empenar ou distorcer durante a queima. O quartzo que não se dissolve na fase líquida, constitui a matriz base das fases cristalinas presentes no produto acabado, junto a uma modesta quantidade de mulita, resultante da decomposição da caulinita ⁽¹⁵⁾. Pode-se notar também que os

valores de retração linear se encontram dentro do intervalo classificado como peças de boa qualidade. Com relação a variação dimensional, considerando o intervalo de temperatura de queima de 1234 °C a 1240 °C, as peças cerâmicas obtidas a partir da massa M2 atingiram um valor de 0,11 %. Apesar desse valor de variação dimensional ser compatível com os limites especificados na Norma ISO 13.006 para o grupo BIa (grês porcelanato), ele é maior para a massa M2 do que para a massa M1. Isso é de grande importância, pois mostra que a massa M2 apresenta maior variação nas suas dimensões do que a massa cerâmica, ou seja, a massa M1 apresenta maior estabilidade dimensional do que a massa M2.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que a curva de gresificação permite:

- Determinar a faixa de temperatura de queima na qual uma massa cerâmica atinge as especificações, em termos de absorção de água (AA) e retração linear de queima (RLq), para revestimento do tipo grês porcelanato. Neste sentido, pode-se notar que a massa cerâmica M1 atinge as especificações, em termos de absorção de água, na temperatura de 1234 °C se estendendo até 1240 °C (1234 °C a 1240 °C). Já a massa cerâmica M2 não atinge tais especificações. Diante disso, fica evidente o maior potencial (qualidade) da massa M1 em fabricar produtos cerâmicos classificados como revestimento do tipo grês porcelanato de acordo com as condições de processamento e queima mencionadas aqui.
- Determinar a variação dimensional sofrida pelos produtos cerâmicos na faixa de temperatura na qual as peças cerâmicas se enquadram, de acordo com os valores de absorção de água especificados por norma (Norma ISO 13.006), como revestimento do tipo grês porcelanato. Com relação a isso, nota-se claramente que a massa cerâmica M1 atinge o valor de 0,03 % de variação dimensional e a massa M2 atinge o valor de 0,11 %. Ambos os valores se encontram dentro dos valores permitidos por norma. Mas, ao se comparar a qualidade das massas, verifica-se que a massa cerâmica M1 apresenta maior estabilidade dimensional.
- Verificar o quanto as variações de composição, em percentual de matérias primas, afetam o comportamento das massas cerâmicas, em termos da

absorção de água (AA) e retração linear de queima (RLq). Neste sentido, pode-se notar claramente que o efeito da variação de $\pm 2,5\%$ (em massa seca), das matérias primas, feldspato sódico e quartzo foi o de reduzir a qualidade dos produtos cerâmicos obtidos a partir das massas cerâmicas M1 e M2. Isto pode ser comprovado pelo fato de que a variação (2,5 % em massa seca) na composição das massas cerâmicas, em termos das matérias primas feldspato sódico e quartzo, fez com que a massa M2 não atingisse o valor de absorção de água para revestimento cerâmico do tipo grês porcelanato especificado por norma (0,5 % - Norma ISO 13.006).

REFERÊNCIAS

1. PINHEIRO, B.C.A.; HOLANDA, J.N.F.; SILVA, A.G.P. Utilização de Matérias Primas da Região Nordeste do Brasil para a Fabricação de Revestimentos Cerâmicos para Pisos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 50., 2006, Blumenau – SC. Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica Blumenau: ABC, 2006. p. 1-9.
2. MOTTA, J.F.M.; ZANARDO, A.; JUNIOR, M.C. As Matérias Primas Cerâmicas. Parte I. O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e seus Produtos - São Paulo : *Cerâmica Industrial*, 2001, 06 (02), p. 28-39.
3. LUZ, A.P.; RIBEIRO, S. Uso de Pó de Vidro na Produção de Grês Porcelanato. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 49., 2005, São Pedro – SP. Anais do 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica Blumenau: ABC, 2005. p. 1-6.
4. HECK, C. Grês Porcelanato - São Paulo : *Cerâmica Industrial*, 1996, 01 (04/05), p 21- 24.
5. MELCHIADES, F.G.; QUINTEIRO. E.; BOSCHI, A.M. A Curva de Gresificação: Parte II - São Paulo : *Cerâmica Industrial*, 1997, 02 (01/02), p. 23 - 26.
6. MELCHIADES, F.G.; QUINTEIRO. E.; BOSCHI, A.M. A Curva de Gresificação: Parte I - São Paulo : *Cerâmica Industrial*, 1996, 01 (04/05), p. 30 - 31.
7. SANCHEZ-MUÑOZ, L.; CAVA, S.S.; PASKOCIMAS, C.A.; CERISUELO, E.; LONGO, E.; CARDA, J.B. Modelamento do Processo de Gresificação de Massas Cerâmicas de Revestimento - São Paulo : *Cerâmica* , 2002. 48 (308), p. 217- 222 : Vol. I
8. TUCCI, A.; ESPOSITO, L.; PALMONARI, C.; RAMBALDI, E. Use of Soda-Lime Scrap-Glass as a Fluxing Agent in a Porcelain Stoneware Tile Mix. *Journal of the European Ceramic Society*, 2004, 24, p. 83-94.
9. DONDI, M. Caracterização Tecnológica de Materiais Argilosos: Métodos experimentais e Interpretação de Dados. *Cerâmica Industrial*, 2006, v.11, nº 3. p. 39.
10. DONDI, M.; RAIMONDO, M.; ZANELI, C.; CAVALCANTE, P.M.T. Sintering Mechanism of Porcelain Stoneware Tiles. An International Conference on the Science, Thecnology & Applications of Sintering Pennsylvania - EUA, 2003.

11. PINHEIRO, B.C.A.; HOLANDA, J.N.F.; SILVA, A.G.P. Utilização de Matérias Primas do Rio Grande do Norte na Preparação de Massa Cerâmica para Grês Porcelanato. *Cerâmica Industrial*, 2010, v.15, n° 01, p. 29-33.
12. RIELLA, H. G., FRANJNDLICH, E. U. DE C., DURAZZO, M. Caracterização e Utilização de fundentes em Massas Cerâmicas. *Cerâmica Industrial*, 2002, v. 7, n° 3, p. 33-36.
13. RODRIGUEZ, A. M., PIANARO, S. A., BERG, E. A. T., SANTOS, A. H. Propriedades de Matérias-primas Seleccionadas para a Produção de Grês Porcelanato. *Cerâmica Industrial*, 2004, v. 9, n°. p. 33-38.
14. ABADIR, M.F., SALLAM, E.H., BAKR, I. M. Preparation of Porcelain Tiles from Egyptian Raw Materials. *Ceramics International*, 2002, 28, p. 303-310.
15. OLIVEIRA, A. P. N. Grês Porcelanato: Aspectos Mercadológicos e Tecnológicos. *Cerâmica Industrial*, 1998, v.3, n° 3, p. 34-41.

EVALUATE OF THE QUALITY OF THE PORCELAIN STONEWARE TILE FORMULATIONS USING VITRIFICATION CURVE

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the quality of the porcelain stoneware tiles formulations using vitrification curve. The parameters investigated were variation of the firing temperature and variation composition. Two tiles formulations (M1 and M2) containing kaolin, sodic feldspar and quartz were formulated, pressed and fired at temperatures between 1160 and 1240 °C using a fast-firing cycle. Two parameters were used to describe densification: linear shrinkage and water absorption. The analysis of the vitrification curves showed that the M1 have large potential (quality) to be use in the manufacture of porcelain stoneware tiles.

Keywords: Vitrification curve, Ceramic tiles, Quality.