

Determinação de parâmetros de queima para massa cerâmica vermelha com incorporação de pó de vidro

(Determination of burning parameters for red ceramic mass incorporating glass powder)

B. P. Bohn; C. V. Muhlen, A. Zimmer

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Feliz
Rua Princesa Isabel, 60, Feliz-RS, 95770000
barbarapbohn@gmail.com

Resumo

O vidro é um material amplamente utilizado, entretanto, está longe de ser reciclado em sua totalidade. Uma boa alternativa à reciclagem do vidro é a sua incorporação em massas cerâmicas, uma vez que nestas, o vidro atua como fundente. O presente trabalho investiga a curva de gresificação do vidro em uma massa cerâmica constituída de argila vermelha, de forma a obter uma representação gráfica das variações da absorção de água e retração linear de queima. Foram avaliadas duas formulações, uma constitui-se somente em argila vermelha, e a segunda de 60% argila vermelha e 40% resíduo de vidro. Variou-se as temperaturas de queima entre 900, 1000 e 1100°C e verificou-se o comportamento dos corpos de prova em relação a absorção de água, retração linear e resistência à flexão. As amostras contendo vidro residual apresentaram melhores propriedades mecânicas após a queima, sendo possível sua utilização como matéria-prima alternativa em massas cerâmicas

Palavras chave: argila vermelha, pó de vidro, janela de queima, curva de gresificação

Abstract

Glass is a widely used material, however, it is far from being recycled in its entirety. A good alternative to the recycling of glass is its incorporation in ceramics, once glass acts as a flux. The present work investigates the glass gresification curve in a ceramic clay constituted by red clay, in order to obtain a graphical representation of the variations of water absorption and linear shrink of burning. Two formulations were evaluated, one consisting only by red clay, and the second by 60% red clay and 40% glass residue. The burning temperatures were varied between 900, 1000 and 1100°C and the behavior of the proof bodies in relation to water absorption, linear shrink and flexural strength were verified. Samples containing residual glass presented better mechanical properties after burning, being possible to use them as an alternative raw material in ceramics.

Keywords: red clay, glass powder, burning window, gresification curve.

INTRODUÇÃO

O vidro é um material amplamente utilizado, entretanto, não é reciclado em sua totalidade. Ele pode ser reciclado, reutilizado e também incorporado a massas argilosas para fabricação de cerâmica vermelha, já que possui uma composição química similar a das argilas e fornece fundentes à massa cerâmica, sendo vantajosa sua incorporação [1].

No mundo todo o vidro descartado não reciclado é um fardo crescente, sendo urgentemente necessárias novas soluções que incorporem grandes volumes desse resíduo e deem-no um destino ambientalmente amigável [2]. No cenário atual há cada vez mais estudos científicos que demonstram a viabilidade de utilizar matérias primas alternativas em substituição a diferentes componentes do sistema argila-feldspato-quartzo [3] e [4].

Diferentes estudos têm destacado o benefício da inserção de partículas de vidro na produção de tijolos [5], porcelanatos [6] e espumas vítreas [7]. É possível utilizar resíduos de frascos de vidros de cor mista [8], vidro de janelas [9], vidro de lâmpadas fluorescentes [10], tubos de raios catódicos [11] e monitores LCD [12]. A inserção desses resíduos em produtos comerciais reduz seu descarte, minimizando os potenciais impactos ambientais de aterros sanitários [8].

O processo de queima sinteriza as partículas de argila, conferindo aos tijolos propriedades específicas como alta resistência e durabilidade [13]. Devido à alta demanda energética do processo de sinterização, são adicionados fundentes, que diminuem a temperatura necessária para formação da fase vítrea. Para tanto, a indústria de cerâmicos permite acomodar subprodutos e resíduos como aditivos fundentes [14].

O vidro sodo-cálcico, comumente utilizado em telas monitores, garrafas e demais recipientes, possui propriedades fundentes devido ao seu teor de óxido de sódio e sua composição não cristalina, diminuindo a temperatura necessária para a sinterização [15], [16] e [17] o que caracteriza uma forma alternativa de economizar energia durante o processo de queima de peças e materiais cerâmicos [18] e [19].

Além da redução energética, pesquisas demonstram bons resultados em propriedades mecânicas e físicas de cerâmicas e porcelanatos produzidos com resíduo de vidro e queimados a uma temperatura ideal [20]. Mas como saber qual é a temperatura ideal de queima de uma massa cerâmica? Para tanto utiliza-se a curva de gresificação que é uma representação gráfica das variações da absorção de água e retração linear do corpo de prova com a temperatura de queima. Dessa maneira, ao estabelecer uma faixa de absorção de água desejável e as variações dimensionais admissíveis no produto final, pode-se utilizar a curva de gresificação para identificar a temperatura de queima ideal, ou seja, a temperatura na qual a peça adquirirá melhores propriedades físicas e mecânicas [21].

O presente trabalho investiga o efeito da adição de resíduo de vidro a uma massa cerâmica

constituída de argila vermelha sobre a curva de gresificação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Diferentes produtos cerâmicos necessitam de características particulares e para tanto utilizam-se massas com diferentes composições de matérias-primas. A primeira constitui-se somente de argila vermelha, e a segunda é uma mistura de 60% argila vermelha e 40% pó de vidro. O vidro é proveniente de garrafas do tipo long neck na cor âmbar. As mesmas foram lavadas, secas em estufa a 150°C por 24h e moídas em moinho de martelos. A argila vermelha é proveniente da região do Vale do Caí/RS, caracterizada por ser composta predominantemente de caulinita, quartzo e hematita [22]. e foi seca em estufa a 120°C por 24h antes de ser moída em moinho de martelos. Após a preparação das duas diferentes formulações procedeu-se a uma segunda moagem. As formulações foram moídas em moinhos de bolas por 30 minutos. A segunda moagem tem como objetivo homogeneizar e reduzir ainda mais o diâmetro das partículas de argila e vidro. As formulações foram umidificadas com aproximadamente 10% de água e após 24h de repouso efetuou-se a prensagem uniaxial dos corpos de prova. Os mesmos obtiveram, aproximadamente, as dimensões de 76,6 x 36,6 x 12,6mm. Para cada temperatura de ensaio utilizou-se cinco corpos de prova de cada formulação.

Para garantir a qualidade e estabilidade dimensional dos corpos de prova após queima, procedeu-se a uma secagem lenta e gradual. A secagem inicia com a permanência dos corpos de prova em temperatura ambiente por 24h, logo após os mesmos são mantidos em estufa a 50°C por mais 24h e, finalmente, secos a 150°C por 24h. A fim de elaborar a curva de gresificação a queima foi realizada em três temperaturas diferentes: 900, 1000 e 1100°C em um patamar de 100°C/min. Após a queima as amostras foram caracterizadas em relação à retração linear de queima, absorção de água e tensão de ruptura à flexão. Para observar o efeito da adição de vidro sobre as propriedades dos corpos de prova queimados, a amostra de argila pura foi utilizada como referência

Todos os dados foram tratados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e testes tukey no software Microsoft® Excel. A análise de variância inicia-se com o pressuposto de que as amostras possuem propriedades iguais (hipótese nula). Para avaliar essa afirmação deve-se comparar os valores de F e Fc (crítico) fornecidos pelo software citado. Se $F > F_c$ e $P_{valor} < 0,05$ (significância do ensaio de 95%) rejeita-se a hipótese nula, ou seja, afirma-se que os corpos de prova têm propriedades diferentes. Parte-se do mesmo princípio para o teste tukey. Se $T > T_c$ (crítico) e $P < 0,05$ rejeita-se a hipótese nula, ou seja, afirma-se que diferentes temperaturas de queima resultam em diferentes propriedades mecânicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela I exibe os resultados obtidos para as propriedades de retração, absorção de água e resistência à flexão para as duas amostras em diferentes temperaturas de queima.

Observando a Figura 1 percebe-se que a retração linear dos corpos de prova contendo somente argila vermelha aumentou, enquanto que a absorção de água diminuiu com o aumento da temperatura de queima.

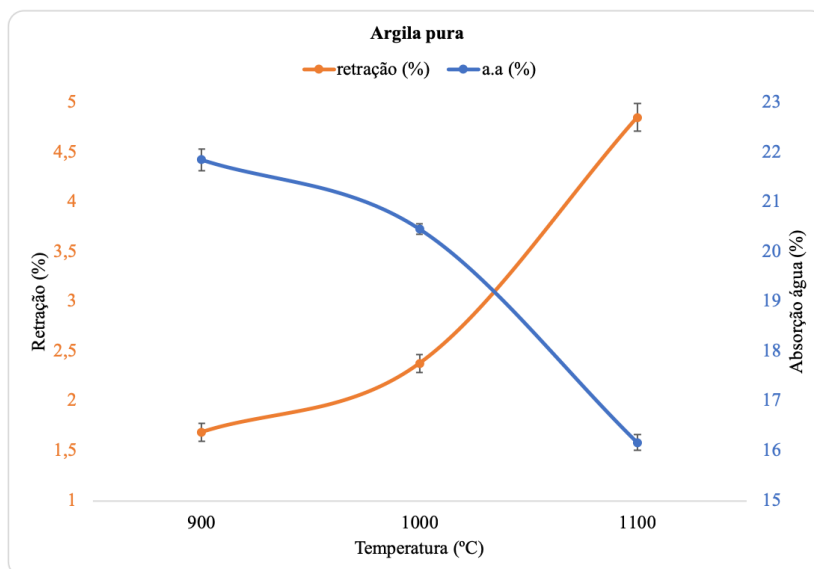


Figura 1 – Curva de gresificação para argila pura

O mesmo comportamento em relação a absorção de água ocorreu com as amostras contendo vidro (Figura 2), porém, percebe-se que esses corpos de prova absorveram muito menos água em relação àqueles constituídos de argila pura. Também fica claro que a redução da absorção de água tem relação direta com a temperatura de queima pois essa diminuiu com o aumento da temperatura. As amostras contendo pó de vidro queimadas a 900°C apresentaram uma diminuição na absorção de água da ordem de 38% comparadas às amostras de argila pura, aquelas queimadas a 1000°C apresentaram 44% de redução e as queimadas a 1100°C, 52% de redução de absorção. Acredita-se que esse comportamento a 1100°C tenha ocorrido devido a formação de poros fechados nas amostras.

Em relação à retração linear houve um aumento no mesmo com a elevação da temperatura de queima e também com a adição de pó de vidro. Observando a Figura 2 percebe-se que a menor retração linear ocorreu nas amostras queimadas na maior temperatura de queima (1100°C). Acredita-se que isso tenha ocorrido devido a sobrequeima. A sobrequeima deve ser evitada pois, além de gerar alterações dimensionais, surte prejuízos em propriedades técnicas, que são decorrentes do aumento do volume ocupado pelos poros fechados na microestrutura

final das peças. Portanto deseja-se que propriedades como baixa absorção de água e elevada resistência mecânica sejam obtidas sem que o fenômeno de sobrequeima se manifeste [23].

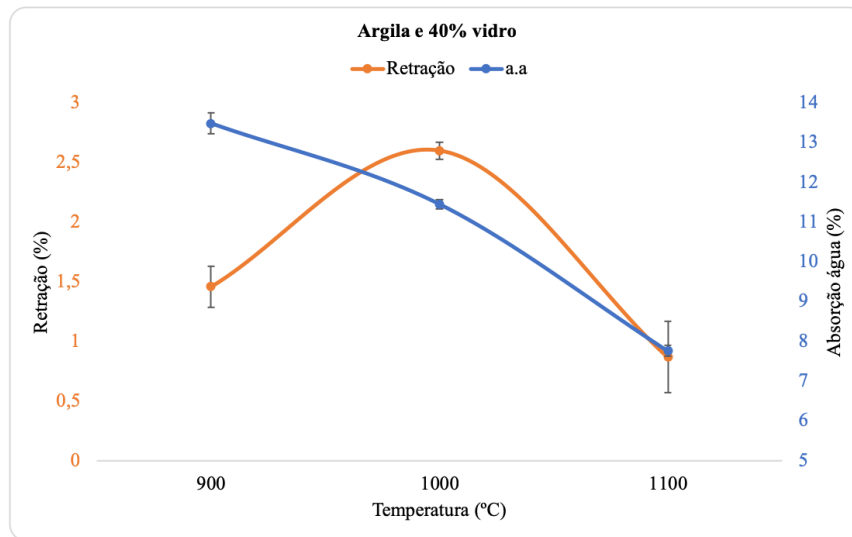


Figura 2 – Curva de gresificação para argila com adição de 40% vidro

Após a queima a 1100°C percebeu-se a formação de bolhas de vidro na superfície dos corpos cerâmicos. Supõem-se que o vidro tenha sido arrastado juntamente com os gases que deixam a peça durante a queima. A Figura 3 ilustra as peças queimadas a 1100°C em b) percebem-se as bolhas de vidro na superfície.

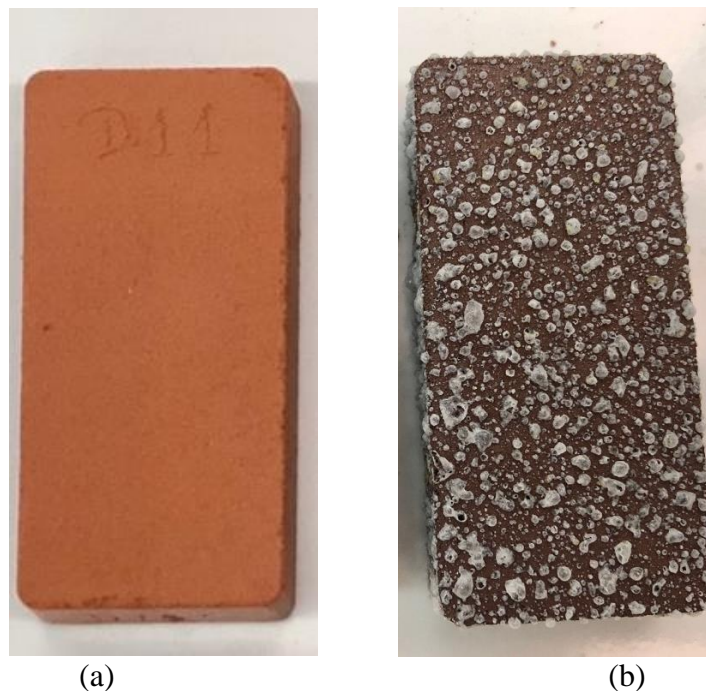


Figura 3 - Corpos de prova queimados a 1100°C. a) amostras de argila pura b) amostras de argila com adição de 40% pó de vidro.

A Figura 4 ilustra o comportamento dos corpos de prova quando submetidos à flexão em função da temperatura de queima. Fica evidente que a adição de pó de vidro e o aumento da temperatura de queima foram fundamentais para os resultados obtidos. As amostras contendo pó de vidro queimadas a 900°C mais que dobraram a resistência à flexão em comparação às amostras de argila pura, as queimadas a 1000°C apresentaram uma melhora de 83% nessa propriedade, enquanto que as queimadas a 1100°C elevaram em 73% sua resistência à flexão.

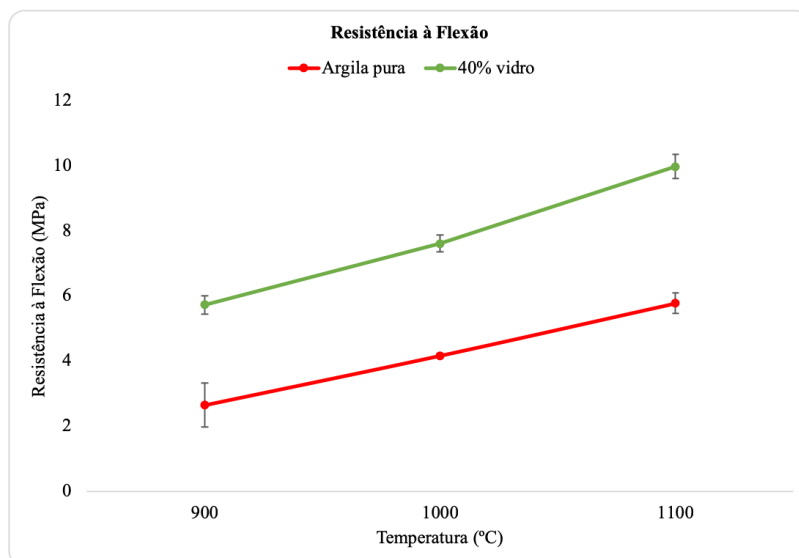


Figura 4 - Resistência à flexão dos corpos de prova de argila pura e com adição de 40% de pó de vidro

As amostras contendo pó de vidro auxiliam na sinterização do corpo cerâmico, elas envolvem as partículas de argila e reduzem a incidência de poros, densificando o material e causando sua retração, isso explica os melhores resultados de resistência à flexão e a menor absorção de água. Em se tratando dos corpos de prova queimados a 1100°C acredita-se que os mesmos poderiam ter adquirido melhores propriedades mecânicas se não tivessem sofrido sobrequeima, o que comprova que para a adição de 40% de pó de vidro essa temperatura de queima não foi adequada.

A Tabela I ilustra os resultados obtidos para as propriedades avaliadas no presente trabalho. A fim de avaliar se houve diferença nas propriedades físicas e mecânicas adquiridas pelos corpos de prova com incorporação de pó de vidro e em função das diferentes temperaturas de queima realizou-se a análise de variância.

Tabela I- Resultados ANOVA

	Retração	Absorção	Flexão
F temperaturas	241,2869	4291,5391	242,2874
Fc temperaturas	3,4028	3,4028	3,4028
F concentrações	730,9829	27746,1915	684,3506
Fc concentrações	4,2597	4,2597	4,2597
P valor temperaturas	1,2700E-16	2,2094E-31	1,2198E-16
P valor concentrações	1,7400E-19	2,7995E-38	3,7477E-19

O ensaio foi realizado em função das concentrações e temperaturas de queima das amostras. Analisando os resultados da Tabela I pode-se afirmar que a adição de 40% pó de vidro e as diferentes temperaturas de queima resultaram em diferentes propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova. Dessa maneira procedeu-se ao teste Tukey para analisar se há diferença entre as temperaturas de queima para cada composição de massa cerâmica. Fixou-se a composição e variou-se as temperaturas de queima (Tabela II). Analisando as Tabelas I e II pode-se afirmar que a adição de pó de vidro resultou em diferentes propriedades mecânicas do corpo cerâmico, assim como diferentes temperaturas de queima influenciam nas mesmas.

Tabela II- Resultados Tukey

	T	Tc	P
(continua)			
Retração argila pura			
900 e 1000°C	11,7818	2,3060	2,4654E-06
1000 e 1100°C	32,5697	2,3646	6,6557E-09
900 e 1100°C	41,1574	2,3646	1,3034E-09
Retração 40% vidro			
900 e 1000°C	21,8585	2,3060	2,0244E-08
1000 e 1100°C	15,4828	2,5706	2,0410E-05
900 e 1100°C	5,1775	2,5706	0,0035
Absorção argila pura			
900 e 1000°C	12,7603	2,4469	1,4219E-05
1000 e 1100°C	49,2416	2,3646	3,7287E-10
900 e 1100°C	46,3033	2,3646	5,7291E-10
Absorção 40% vidro			
900 e 1000°C	33,3160	2,7764	4,841E-06
1000 e 1100°C	66,9787	2,7764	2,9769E-07
900 e 1100°C	70,4510	2,3060	1,8349E-12

			(conclusão)
Flexão argila pura	T	Tc	P
900 e 1000°C	5,0703	2,7764	0,0071
1000 e 1100°C	11,0438	2,7764	0,0004
900 e 1100°C	9,4165	2,4469	8,1518E-05
Flexão 40% vidro	T	Tc	P
900 e 1000°C	10,8302	2,3060	4,6656E-06
1000 e 1100°C	11,4959	2,3646	8,4761E-06
900 e 1100°C	20,4112	2,3646	1,6989E-07

CONCLUSÕES

A adição de pó de vidro tem efeito positivo na sinterização das massas cerâmicas de argila vermelha pois resultou em melhores propriedades dos corpos de prova queimados, pois verificou-se maior densificação das peças após queima, o que denota maior sinterização.

Analisando a curva de gresificação pode-se concluir que a temperatura de queima de 1100°C não foi adequada para as amostras contendo 40% de pó de vidro pois houve uma sobrequeima desta fórmula, o que corrobora com a afirmação de que o vidro promove a sinterização e queima das peças a uma temperatura menor que as tradicionais.

Os dados tratados estatisticamente revelam que a melhora das propriedades mecânicas dos corpos cerâmicos foi possível com a adição de pó de vidro e com o aumento da temperatura de queima, ressalvadas as características superficiais das peças queimadas a 1100°C devido a formação de bolhas de vidro. Portanto, conclui-se que em temperaturas de 900 a 1000°C houve uma melhora pouco expressiva das propriedades de resistência à flexão e absorção de água, em contrapartida a temperatura de 1100°C ultrapassa o ponto ideal de queima para a mistura argila e 40% de pó de vidro pois ocorre a sobrequeima.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFRS pelo fomento disponibilizado ao desenvolvimento de projeto em que se insere o presente artigo.

REFERÊNCIAS

- [1] K. O. Godinho, J. N. F. de Holanda, A. G. P. da Silva, Anais do 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Pedro, SP, 2005.
- [2] Heriyanto, F. Pahlevani, V.Sahajwalla. From waste glass to building materials - An innovative sustainable solution for waste glass. Journal of Cleaner Production, 191 (2018), p. 192-206.

- [3] Ahmad, F., Mujah, D., Hazarika, H., Safari, A. Assessing the potential reuse of recycled glass fibre in problematic soil applications. *Journal of Cleaner Production* 35 (2012) p. 102-107.
- [4] Andreola, F., Leonelli, C., Manfredini, T. Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: state of art and glass case studies. *Ceramics International*. 42 (2016a) p. 13333-13338.
- [5] M. Dondi, G. Guarini, M. Raimondo, C. Zanelli. Recycling PC and TV waste glass in clay bricks and roof tiles. *Elsivier*, 29 (2009) p. 1945-1951.
- [6] Luz, A.P., Ribeiro, S. Use of glass waste as a raw material in porcelain stoneware tile mixtures. *Ceramics International* 33 (2007), p. 761–765.
- [7] D'Amore, G., Caniato, M., Travan, A., Turco, G., Marsich, L., Ferluga, A., Schmid, C. Innovative thermal and acoustic insulation foam from recycled waste glass powder. *Journal of Cleaner Production*, 165 (2017) p. 1306-1315.
- [8] Gong, Y., Dongol, R., Yatongchai, C., Wren, A.W., Sundaram, S.K., Mellott, N.P. Recycling of waste amber glass and porcine bone into fast sintered and high strength glass foams. *Journal of Cleaner Production*, 112 (2016) p. 4534-4539.
- [9] Granzotto, N.; Bettarello, F.; Ferluga, A., Marsich, L.; Schmid, C.; Fausti, P.; Caniato, M., 2017. Energy and acoustic performances of windows and their correlation. *Energy and Buildings*, 136, p. 189-198.
- [10] Mugoni, M., Montorsi, C., Siligardi, F., Andreola, I., Lancellotti, E., Bernardo, L., Barbieri, L. Design of glass foams with low environmental impact. *Ceramics International*. 41 (2015) p. 3400-3408.
- [11] Singh, N., Li, J., Zeng, X. Solutions and challenges in recycling waste cathoderay tubes. *Journal of Cleaner Production*. 133 (2016) p. 188-200.
- [12] Kim, K., Kim, K. Valuable Recycling of waste glass generated from the liquid crystal display panel industry. *Journal of Cleaner Production*, 174 (2018) p. 191-198.
- [13] Phonphuak, N., Kanyakam, S., Chindaprasirt, P. Utilization of waste glass to enhance physicalemental properties of fired clay brick. *Journal of Cleaner Production*. 112 (2016) p. 3057-3062.
- [14] Turgut, P. Manufacturing of building bricks without Portland cement. *Journal of Cleaner Production*. 37 (2012), 361-367.
- [15] Mustafi, S., Ahsan, M., Dewan, H., Ahmed, S., Khatun, N., Absar, N. Effect of waste glass poder on physico-mechanical properties of ceramic tiles. *Journal of Science Research*. 24 (2011), p. 169-180.
- [16] Chawakitchareon, P., Tiansiri, W. Utilization of glass scrap as raw material for ceramic tile production. *Thai Environmental Engineering Journal*, 1(2008) p. 103– 112.
- [17] Chidiac, S.E.; Federico, L.M. Effects of waste glass additions on the properties and durability of fired clay brick. *Can. J. Civil Eng.* 2007, 34, p. 1458–1466.
- [18] Rambaldi, E., Carty, W.M., Tucci, A., Esposito, L. Using waste glass as a partial flux substitution and pyroplastic deformation of a porcelain stoneware tile body. *Ceramics International*. 33 (2007), p. 727-733.
- [19] Topcu, I.B., Canbaz, M. Properties of concrete containing waste glass. *Cement Concrete Research* 34 (2004), 267-274.
- [20] L, A.P., Ribeiro, S. Use of glass waste as a raw material in porcelain stoneware tile mixtures. *Ceramics International* 33 (2007), p. 761–765.
- [21] F. G. Melchiades, E. Quinteiro, A. O. Boschi. A curva de gresificação: parte I. *Cerâmica Industrial*, São Carlos, 1996, 01, p. 30-31
- [22] J. E. Zorzi, S. G. Echeverregaray, J. V. Emiliano, C. A. Perottoni, R. C. D. Cruz. Caracterização de matérias-primas cerâmicas do Vale do Rio Caí. *Cerâmica* 58 (2012), p. 509-515.

[23] M. Magalhães, F. Contartesi, L. R. S. Conserva, F. G. Melchiades, A. O. Boschi. Efeitos do ciclo de queima sobre as temperaturas de mínima absorção de água e máxima densificação de porcelanatos. *Cerâmica Industrial* 19 (2), 2014, p. 20-25.