

APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DA ETAPA DE LAPIDAÇÃO DE VIDRO EM CERÂMICA VERMELHA*

Juliana Simões Chagas Licurgo¹
Carlos Maurício Fontes Vieira²

Resumo

Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da incorporação de até 40% em peso de um resíduo gerado na forma de lama proveniente da etapa de lapidação da fabricação de vidros em cerâmica vermelha. Inicialmente o resíduo foi caracterizado pelo emprego das técnicas de fluorescência de raios-X, peneiramento e sedimentação e dilatométrica ótica. A plasticidade das composições foi determinada pelo método de Atterberg. Corpos-de-prova foram obtidos por prensagem uniaxial a 20 MPa e queimados nas temperaturas de 900 e 1000°C. As propriedades físicas e mecânicas avaliadas foram: retração linear, absorção de água e tensão de ruptura à flexão. Os resultados indicaram que o resíduo é apropriado para o uso em cerâmica vermelha em mistura com argilas, contribuindo para reduzir a absorção de água e aumentar a resistência mecânica da cerâmica nas temperaturas investigadas.

Palavras-chave: Cerâmica vermelha; Resíduo; Vidro.

UTILIZATION OF WASTE ORIGINATING FROM GLASS STONING INTO CLAY CERAMICS

Abstract

The present study aims to evaluate the effect of incorporation of waste generated as sludge originating from manufacturing glass, up to 40 wt.% , in the clay ceramics. Specimens have been obtained at 20 MPa by uniaxial pressing and fired at 900 ° C. The physical mechanical properties: linear shrinkage, water absorption and flexural strength have been evaluated in this present study. The results have indicated alterations in the ceramic's properties, as a reduced water absorption in the assayed temperatures and an increased mechanical strength.

Keywords: Clay ceramics; Glass; Waste.

¹ Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Graduanda, CCT/LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

² Engenharia Mecânica, Doutor, Professor associado, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional, a industrialização e o incremento nas atividades configuram como os principais motivos da multiplicação dos resíduos. O crescimento acelerado da população implica na expansão automática da industrialização para atender às novas demandas, o que significa um aumento considerável no volume de resíduos gerados, tanto do ponto de vista doméstico quanto industrial.

As indústrias gradativamente estão buscando novas alternativas para a disposição de seus resíduos sólidos industriais, devido às pressões dos órgãos ambientais ou pelo fato de adquirirem aumento da credibilidade perante o mercado consumidor.

Dentre os resíduos gerados encontra-se o vidro, que é um material totalmente reciclável. Entretanto, quando descartado poderá ficar acumulado durante várias gerações. Neste sentido, o resíduo de vidro se insere como um grave problema ambiental quando simplesmente descartado, pois há acúmulo de grande quantidade desse material que não é absorvida na natureza. O reaproveitamento de resíduos vítreos, além de reduzir o impacto ambiental, pode contribuir para a melhoria da qualidade dos produtos finais e para a diminuição dos custos finais de sua produção [CAVALCANTI, *et al.* 2010].

Como uma substância, o vidro desempenha um papel essencial na ciência e na indústria. Sua química, física e suas propriedades ópticas o tornam adequado para aplicações, tais como vidro plano, vidro de embalagem, materiais ópticos e opto eletrônicos, equipamento de laboratório, isolante térmico e materiais de reforço, por exemplo [3].

A cerâmica vermelha ou tradicional é atualmente um dos setores da indústria cerâmica que vem utilizando como uma alternativa viável a incorporação de diversos resíduos como forma de minimizar os impactos ao meio ambiente, além do reaproveitamento como matéria-prima em substituição de outros materiais. O resíduo de vidro, por exemplo, vem sendo estudado por diversos autores, [5] Zhang, 2013, [2], Furlani *et al.*, 2011; Furlani *et al.*, 2010; Loryuenyong, *et al.*, 2009; Pontikes *et al.*, [4], Grespam *et al.*, 2001], para serem empregados na indústria de cerâmica vermelha.

Teixeira *et al.*, [6] afirmam que a adição de vidro em cerâmica vermelha provoca um aumento nos teores de óxidos fundentes, responsável pela formação da fase vítrea e pela densificação das massas cerâmicas durante o processo de queima, aumentando a sua resistência mecânica e reduzindo a absorção de água.

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo avaliar a influência da incorporação da lama proveniente da lapidação de vidro plano nas propriedades físicas e mecânicas de uma cerâmica argilosa utilizada na construção civil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados os seguintes materiais para realização desse trabalho: argila caulínica de Campos dos Goytacazes e resíduo de vidro, gerado na forma de lama proveniente da etapa de lapidação de chapas de vidros da empresa Viminis, localizada no município de Serra-ES.

2.1 Processo de Obtenção do Resíduo de Vidro

A Figura 1 descreve o processo de geração do resíduo investigado. A água utilizada no processo de lapidação de vidro, juntamente com o vidro desgastado são

canalizados até tanques de bombas submersas. Após esse processo são bombeados até um reservatório e depois bombeados até um silo de decantação, onde são adicionados à água clarificantes e floculantes, que auxiliam no processo. No silo em que ocorre a decantação a água é acumulada até que transborde. A água que transborda já não contém flocos de vidro e é levada para um segundo silo. Deste silo, é bombeada de volta para os galpões para ser reutilizada no processo de lapidação das chapas de vidro.

O resíduo que permanece no fundo do primeiro silo é sugado para um agitador, onde é constantemente misturado para que não endureça. Este material é bombeado para o filtro prensa. A partir dali, o material é prensado para que a maior quantidade possível de água seja retirada do resíduo e reaproveitada. A água resultante do processo de prensagem retorna ao primeiro tanque e passa novamente por todo o ciclo de purificação. O resíduo resultante do filtro prensa é uma torta de aspecto acinzentado, levemente úmida, contendo entre 3 e 5% de água. Este resíduo é classificado como não perigoso, não inerte, de acordo com norma técnica da ABNT [ABNT, 2004] que trata da classificação de resíduos sólidos [1]

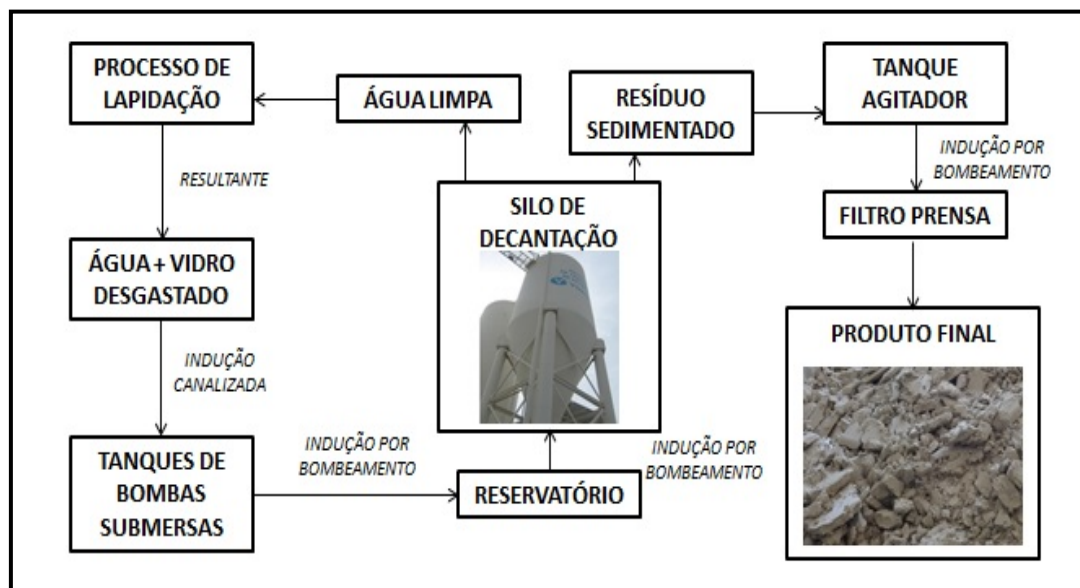


Figura 1: Fluxograma do processo de obtenção do resíduo de vidro.

2.2 Aplicação do Resíduo em Cerâmica Vermelha

Inicialmente a argila foi beneficiada por peneiramento em 35 mesh (500 µm). O resíduo de vidro foi destorroado e também peneirado em 35 mesh.

O resíduo foi submetido a ensaios para a determinação da sua composição química por fluorescência de raios-X utilizando um espectrômetro da Philips modelo PW 2400, granulometria pela combinação das técnicas de peneiramento e sedimentação [ABNT, 1984a], bem como dilatometria ótica utilizando um equipamento MISURA do SENAI de Criciúma, utilizando uma taxa de aquecimento de 10°C/min em amostra compactada.

Foram elaboradas seis composições com incorporação do resíduo em massa argilosa nos seguintes percentuais: 0; 5; 10; 20; 30 e 40% em peso. As composições foram homogeneizadas em um moinho de bolas durante 20 minutos. Em seguida, as massas foram umidificadas com 8% em peso de água. A plasticidade das

composições foi determinada pelo método de Atterberg conforme procedimentos normatizados [ABNT 1984b; ABNT 1984c].

Foram preparados corpos de prova retangulares, 114,3x2,54x10 mm, por prensagem uniaxial a 20 MPa. A secagem foi realizada em estufa a 110°C até peso constante. Os corpos de prova foram queimados em forno de laboratório tipo mufla nas temperaturas de 900 e 1000°C. A taxa de aquecimento utilizada foi de 2°C/min e isoterma de 180 minutos na temperatura de patamar. Realizou-se o resfriamento por convecção natural desligando-se o forno. Foram determinadas as seguintes propriedades físicas e mecânicas: absorção de água [ASTM, 1977a], retração linear e tensão de ruptura à flexão [ASTM, 1977b].

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição Química

A Tabela 1 apresenta a composição química do resíduo. Observa-se uma composição típica de um vidro sodo-cálcico [3], com predomínio de SiO₂, Na₂O e CaO. Os óxidos alcalinos e alcalinos terrosos presentes no resíduo atuam como modificadores de rede, possibilitando a formação de um fluxo viscoso ou “amolecimento” em temperaturas bem inferiores à correspondente fusão da sílica, SiO₂, que é de 1710°C [Akerman, 2000]. Esta formação de fluxo viscoso pode contribuir para a redução da porosidade da cerâmica, contribuindo para melhorar sua performance técnica. A questão é se a temperatura de formação de fluxo viscoso é compatível com a queima de cerâmica vermelha e qual a sua eficácia, ou seja, se a eventual melhoria nas propriedades físicas e mecânicas da cerâmica é significativa. Estas questões serão respondidas mais adiante.

Tabela 1: Composição química do resíduo (% em peso).

| SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | ZrO ₂ | PF |
|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------------------|------|
| 67,88 | 0,17 | 2,31 | 1,25 | 2,44 | 8,44 | 13,57 | 0,30 | 0,05 | 0,10 | 2,80 |

3.2 Plasticidade

A Figura 3 apresenta a localização das composições, com números correspondendo a quantidade de resíduo, em um gráfico elaborado a partir dos limites de Atterberg que indica regiões de extrusão ótima e aceitável [Marsigli e Dondi, 1997]. O limite de plasticidade (LP) indica a quantidade de água mínima que a argila ou massa cerâmica devem conter para serem conformadas. O limite de liquidez (LL) corresponde à máxima quantidade de água que a argila ou massa cerâmica possam conter para ainda serem moldáveis. Já o índice de plasticidade (IP) representa a diferença entre o LL e LP, indicando a faixa de consistência de plástica.

O limite de plasticidade é um parâmetro de grande interesse tecnológico já que apresenta a quantidade de água mínima necessária para que uma argila ou misturas de argilas alcance a consistência necessária para sua conformação no estado plástico. Esta água adicionada à massa cerâmica atua de duas maneiras. Primeiramente, a água adicionada atua no preenchimento dos poros das partículas, sendo chamada de água intersticial. Já a segunda, localiza-se entre as partículas, facilitando a conformação das peças. Este tipo de água é denominado de água lubrificante, sendo que sua eliminação na etapa de secagem é responsável pela retração da peça.

É possível observar que a argila investigada, localiza-se dentro da região de extrusão ótima, indicando que se tratar de um material que já possui uma quantidade ideal tanto de material argiloso, plástico, quanto de material não plástico. Já a incorporação do resíduo na argila reduz demasiadamente sua plasticidade, ao ponto que com 20% de resíduo, a massa já se localiza fora da região aceitável. Neste caso, deve-se misturar a argila investigada com outra de maior plasticidade, ou seja, com maior quantidade de argilomineral.

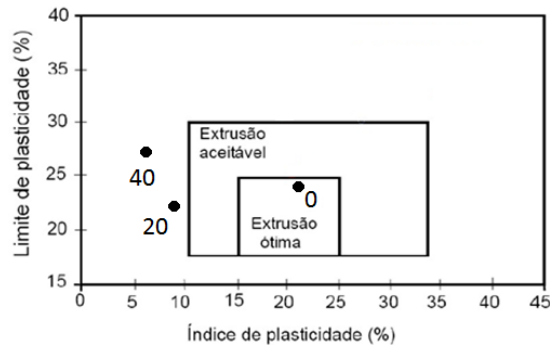


Figura 3: Prognóstico de extrusão das composições.

3.3 Análise Térmica – Dilatometria Ótica

O resultado do ensaio de dilatometria ótica, microscopia de estágio a quente, do resíduo de vidro é apresentado na Tabela 2. Os resultados indicam que as temperaturas de transição vítrea, sinterização, e de amolecimento ocorrem a 755 e 850°C, respectivamente. A temperatura de transição vítrea indica a temperatura que um material não cristalino se transforma de um líquido superesfriado em um vidro rígido e temperatura de amolecimento corresponde a temperatura máxima que uma peça de vidro pode ser manuseada sem causar alterações dimensionais significativas [3]. A temperatura de fusão significa que o vidro é fluido o suficiente para ser considerado líquido, que neste caso é 1110°C. Na prática, o resíduo investigado pode contribuir para o preenchimento da porosidade da cerâmica, por meio de fluxo viscoso, a partir de 850°C, temperatura ainda compatível com o processamento industrial.

Tabela 2: Resultados da dilatometria ótica para o resíduo.

| Parâmetros Térmicos | T(°C) |
|---------------------|-------|
| Sinterização | 755 |
| Amolecimento | 850 |
| Fusão | 1110 |

3.4 Propriedades Físicas e Mecânicas

A Figura 4 apresenta a absorção de água das cerâmicas queimadas em função da temperatura de queima. Nota-se que o aumento da temperatura acarreta uma redução da absorção de água de todas as cerâmicas. Com relação ao efeito da incorporação do resíduo à argila, é possível observar que até 20% de incorporação

há um decréscimo da absorção de água, sobretudo, na temperatura de 1000°C. Com 20% de resíduo a 1000°C, a redução da absorção de água foi de 24,5%. Este comportamento é atribuído a menor viscosidade do resíduo com o aumento da temperatura, favorecendo o preenchimento da porosidade da cerâmica.

A partir de incorporações superiores a 20%, a absorção de água praticamente não se altera a 900°C, e aumenta a 1000°C. Possivelmente o excesso de vidro esteja acarretando o aparecimento de trincas na cerâmica devido ao diferente coeficiente de dilatação térmica em comparação à argila.

Finalmente, todas as cerâmicas e nas duas temperaturas de queima atendem às normas técnicas que especificam uma absorção de água máxima para telhas e blocos de vedação de 20 e 22%, respectivamente [ABNT, 2005a; ABNT, 2005b].

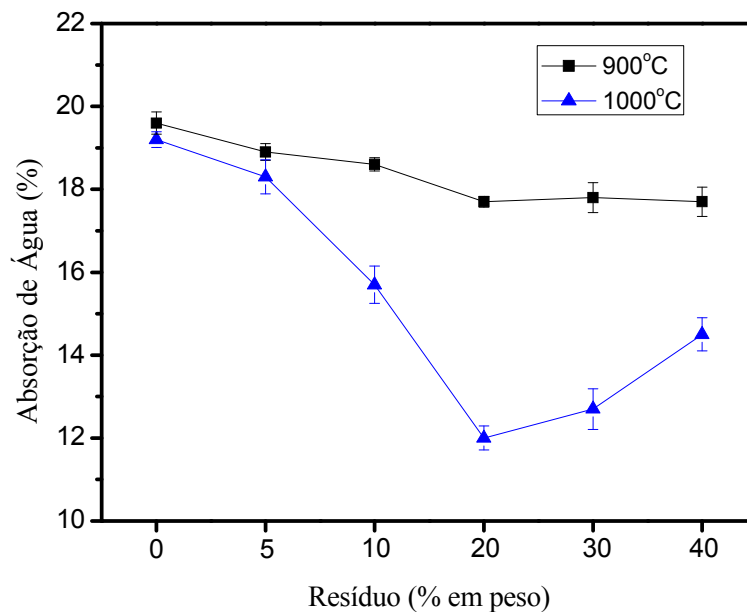


Figura 4: Absorção de água das cerâmicas.

A Figura 5 apresenta a retração linear das cerâmicas queimadas. Nota-se que tanto o aumento da temperatura de queima quanto o aumento do teor de resíduo incorporado, acarretam um aumento significativo da retração linear da argila. A retração é consequência do fechamento da porosidade da cerâmica. Com o aumento da temperatura há incremento na quantidade de fluxo viscoso com redução da viscosidade, facilitando o escoamento pela porosidade da cerâmica.

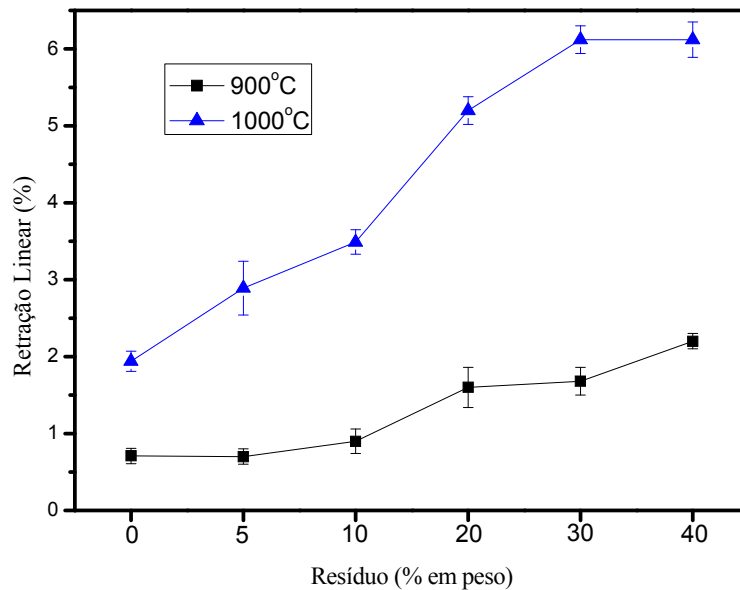


Figura 5: Retração linear das cerâmicas.

A Figura 6 apresenta a tensão de ruptura à flexão das cerâmicas em função da temperatura de queima. É possível observar que com o aumento da temperatura de queima acarreta um incremento da resistência mecânica das cerâmicas. Isto ocorre devido à redução da porosidade. Já a incorporação do resíduo promove um aumento da resistência mecânica da argila, sobretudo, com 20% de incorporação na temperatura de 1000°C. Nestas condições o aumento da tensão de ruptura à flexão é de 69,7%. Quantidades superiores a 20% não acarretam melhoria da resistência mecânica, possivelmente atribuída ao aparecimento de trincas, conforme já mencionado anteriormente.

Como considerações finais pode-se mencionar que o resíduo investigado neste trabalho tem grande potencial de utilização no segmento de cerâmica vermelha com melhorias significativas nas propriedades físicas e mecânicas da cerâmica.

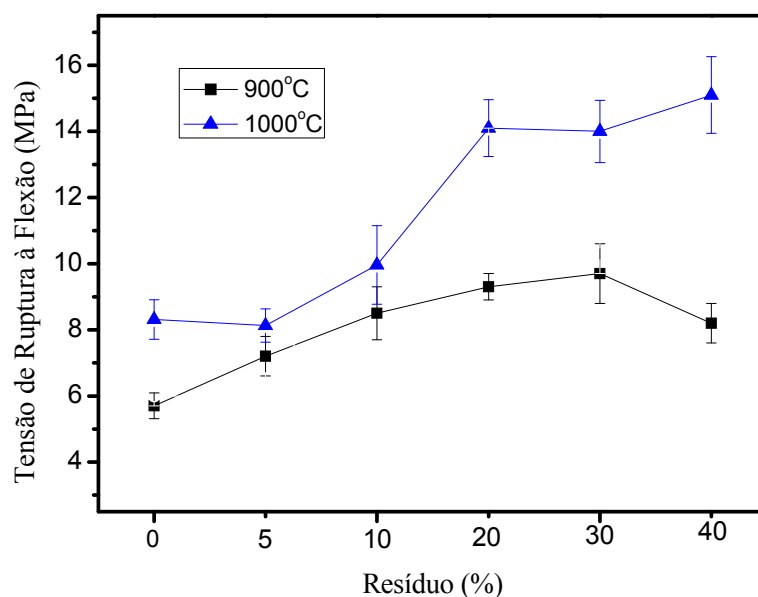


Figura 6: Tensão de ruptura à flexão das cerâmicas.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho que teve por objetivo avaliar o efeito da incorporação de até 40% em peso de um resíduo gerado na forma de lama proveniente da etapa de lapidação da fabricação de vidros em cerâmica vermelha, pode-se concluir que:

- O resíduo possui composição típica de vidro sodo-cálcico e características fundentes, devido à granulometria fina.
- A formação de fluxo viscoso do resíduo ocorre a partir de temperatura, 850°C, compatível industrialmente ao processamento de cerâmica vermelha.
- O resíduo atua como material não plástico, reduzindo consideravelmente a plasticidade da argila. Desta forma, recomenda-se a utilização do resíduo em mistura com uma argila ou massa argilosa de elevada plasticidade.
- A melhor composição investigada foi com 20% de resíduo queimada a 1000°C. Nestas condições, a absorção de água da argila foi reduzida em 24,5%. Com relação à tensão de ruptura a flexão, obteve-se um incremento de 69,7%.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a FAPERJ (proc. n. E-26/103.023/2008), ao CNPq (proc. N. 306027/2008-9) e a Empresa Viminis pela concessão do resíduo.

REFERÊNCIAS

- 1 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação da Análise Granulométrica dos solos, NBR – 7181-84, 1984(a).
- 2 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984b. NBR 7180 – Determinação do Limite de Plasticidade, ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- 3 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984c. NBR 7180 - Determinação do Limite de Liquidez, ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- 4 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos Sólidos- Classificação: NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.
- 5 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15310:2005. Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2005a.
- 6 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15270-1:2005. Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005b.
- 7 Akerman, M. Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro, CETEV (Centro Técnico de Elaboração do Vidro), 2000.
- 8 Antônio A. P. Potencialidades do aproveitamento do resíduo de estação de tratamento de efluentes do processo de lapidação do vidro sodo – cálcico na produção de concretos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo. 2012.
- 9 ASTM - American Society for Testing and Materials. Test method for water absorption, bulk density, apparent porosity and apparent specific gravity of fired whiteware products. C373-72, 1977a.
- 10 ASTM - American Society for Testing and Materials. Flexural properties of ceramic whiteware Materials. C674-77, 1977b.

- 11 Caldas, T.C.C.; Morais, A.S.C.; Monteiro, S.N.; Vieira, C.M.F. Characterization and thermal behavior of red ceramic incorporated with flat glass waste. *Mater. Sci. Forum*, v. 727-728, p. 994-1004, 2012.
- 12 Callister W. D. *Ciência e Engenharia dos Materiais, uma introdução*. 7 ed. Ed LTC. 2008.
- 13 Cavalcanti, M.S.L.; Porto, V.S.; Meneses, R.L.; Albuquerque, A.V.; Guedes, B.F.R.; Morais, C.R.S; Santana, L.N.L. Characterization of plain glasses residues for Applying in ceramic bodies. Sixth International Latin-American Conference on Powder Technology, Búzios, Rio de Janeiro, Brazil, 2010.
- 14 Furlani, E.; Tonello, G.; Maschio, S.; Aneggi, E.; Minichelli, D.; Bruckner, S.; Lucchini, E. Sintering and characterization of ceramics containing paper sludge, glass cullet and different types of clayey materials. *Ceramics International*, v. 37, p. 1293–1299, 2011.
- 15 Furlani, E.; Tonello, G.; Maschio, S.; Aneggi, E.; Minichelli, D.; Brunckner, S.; Lucchini, E. Sintering Behaviour of Ceramics Containing Paper Sludge, Glass Cullet and Different Types of Clayey Materials. *Advances in Science and Technology*, v. 68, p. 120, 2010.
- 16 Grespan Setz, L.F.; Munhoz Jr., A.H.; Zandonadi, A.R. Reciclagem de resíduo sólido de “pó de vidro” em cerâmica vermelha - utilização do método estatístico de Weibull na análise da resistência a flexão de corpos contendo teores diferentes de resíduo. *Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica*. Florianópolis -SC, 2001.
- 17 Godinho K. O.; Rabelo, T. R.; Holanda J. N. F.; Silva A. G. P. Incorporação de resíduo de vidro em cerâmica vermelha. *Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica (CNC)*. Curitiba, PR, 2004b.
- 18 Loryuenyong, V., Panyachai, T., Kaewsimork, K., Siritai, C. Effects of recycled glass substitution on the physical and mechanical properties of clay bricks. *Waste Management*, v. 29, p.2717–2721, 2009.
- 19 Marsigli, M.; Dondi, M., “Plasticità delle argille italiane per laterizi e previsione del loro comportamento in foggatura”. *L’Industria dei Laterizi*, v.46, PP. 214-222, 1997.
- 20 Morais A. S. C. Incorporação de Resíduo de Vidro de Lâmpada Fluorescente em Cerâmica Vermelha. *Dissertação (Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais)*. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 2013.
- 21 Pontikes Y.; Espósito, L.; Tucci, A, Angelopoulos, G.N. Thermal behavior of clays for traditional ceramics with soda-lime-silica waste glass mixture. *J. European Ceramic Soc.*, v.27, p.1657-1663, 2007.
- 22 Teixeira, S.R.; Costa, F.B.; Souza, A.E.; Santos, G.T.A. Reuse of glass cullet as aggregate for red ceramic clays. *Revista Ciências Exatas – Universidade de Taubaté (UNITAU)*, vol. 2, n. 1, 2008.
- 23 Zhang, L. Production of bricks from waste materials – a review. *Construction and Building Materials*, v. 47, p. 643–655, 2013.