

## Estudo de Recuperação de Resíduos Vítreos na Formulação de Cerâmica Vermelha

Jordana Mariot Inocente<sup>a\*</sup>, Vitor de Souza Nandi<sup>a</sup>, Fábio Rosso<sup>a</sup>, Alex de Oliveira<sup>b</sup>, Alexandre Zaccaron<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Engenharia Cerâmica, Centro Universitário Barriga Verde – Unibave, Cocal do Sul, SC, Brasil

<sup>b</sup> Esmalglass - Itaca Grupo, Criciúma, SC, Brasil

<sup>c</sup> Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais – PPGCEM, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

\*e-mail: [jordanainocente@hotmail.com](mailto:jordanainocente@hotmail.com)

### Resumo

O estudo tem como objetivo analisar a viabilidade técnica de incorporação de resíduo vítreo, oriundo dos decantadores de esmaltes, em massa de cerâmica vermelha para produção de bloco estrutural. O resíduo analisado é considerado como classe I – Perigoso, por apresentar elementos tóxicos no lixiviado acima do permitido por norma brasileira de classificação de resíduos. Foram realizadas 6 formulações, que partiu da massa padrão, e se estendeu a diferentes percentuais (2, 5, 10, 15 e 20%) do resíduo adicionado. Foram realizados testes de caracterização química e física das matérias-primas e as propriedades tecnológicas avaliadas foram: Retração térmica linear de secagem e queima, perda ao fogo, absorção de água e resistência mecânica. Os resultados apresentados nas formulações realizadas demonstraram a viabilidade no uso de até 20% em peso na massa padrão, onde foi possível diminuir a absorção de água e aumentar a resistência mecânica. Esse trabalho também contribui para a diminuição do impacto ambiental e favorece ao desenvolvimento sustentável da cerâmica vermelha contribuindo para a melhoria da qualidade das peças.

**Palavras-chave:** cerâmica vermelha, valorização de resíduo, resíduo vítreo, bloco estrutural cerâmico.

### 1. Introdução

Ao longo do tempo, os recursos naturais do planeta, anteriormente considerados abundantes, têm sido usados indiscriminadamente, gerando quantidades significativas de resíduos sólidos. No entanto, esta prática tem causado sérios problemas ambientais. O setor da construção civil, em particular na manufatura de insumos, em constante crescente se destaca com grande potencial impactante [1–4]. Muito embora o setor da construção civil seja responsável por relevante demanda ambiental, ela tem grande impacto positivo na sociedade e na economia, sendo responsável por 30% do emprego industrial na União Europeia (UE) e contribuindo com cerca de 10,4% para o produto interno bruto da UE [5,6]. No Brasil, o setor houve uma retração de 3% do PIB nacional, passando de 8 para 5%, reflexo da crise, porém, a economia já dá indícios que tornará a crescer, o que esquita o mercado da construção civil [7].

Os resíduos sólidos são gerados em todos os processos de fabricação. Portanto, a reciclagem ou reutilização dentro do mesmo processo pode ser uma maneira razoável de preservar o meio ambiente. No entanto, aumentar o valor dos subprodutos utilizando a metodologia de valorização de resíduos tem sido uma alternativa sustentável para evitar sua disposição em condicionadores de solo ou aterros [3]. A ecologia industrial é considerada uma ferramenta integrada emergente para orientar as indústrias a usar materiais e energia de forma sustentável e reduzir a geração de resíduos. Tal ferramenta considera os resíduos

industriais como subprodutos ou materiais alternativos que podem alimentar outra indústria [8].

Os revestimentos cerâmicos produzidos atualmente são compostos geralmente por três camadas distintas: o suporte cerâmico, o engobe e o esmalte [9], o que demanda uma grande quantidade de matéria-prima gerando uma série de resíduos de processos. Tendo em vista a grande produção de revestimentos cerâmicos e seu alto potencial de geração de rejeitos (aproximadamente 10 ton para cada 100000 m<sup>2</sup> produzidos) [10], torna-se essencial o estudo com a reutilização de resíduos proveniente do processo de fabricação de placas cerâmicas de revestimento, mais precisamente dos setores de preparação de esmalte e linha de esmaltação.

Os materiais cerâmicos estão entre aqueles mais tradicionalmente utilizados na construção civil. A indústria da cerâmica estrutural ou vermelha é uma atividade de base ao possibilitar a construção civil, em geral, desde a mais simples à mais sofisticada. Este segmento que produz, principalmente, tijolos furados, tijolos maciços, componentes de lajes, blocos de vedação e estruturais, telhas, manilhas e pisos rústicos é muito importante na geração de renda do setor industrial brasileiro [11]. Para a alvenaria, os tijolos têm sido um material de construção importante por um longo tempo. A produção global anual de tijolos é atualmente de aproximadamente 1400 mil milhões e sua procura deve crescer continuamente.

Tal aumento produtivo demanda uma grande quantidade de matéria-prima bruta, que gera problemas ambientais relacionados à escassez de recursos naturais [12,13].

Muito embora o setor tenha um grande potencial degradante no tocante extração mineral por altos consumos de argila, a fabricação de cerâmica vermelha é capaz de absorver elevadas quantidades de resíduos sólidos oriundos de diversos seguimentos, principalmente devido aos grandes volumes envolvidos, o que permite maior tolerância na composição da sua massa. Esse fator faz com que se elevem o número de pesquisas com a incorporação de uma série de resíduos em massa cerâmica, como vidro [14,15], cinza das mais diversas fontes [16–18], rejeitos de mineração [19], lodos das mais variadas fontes de tratamento [20–22], quebras do próprio processo [23–26] e uma série de outros resíduos.

Portanto, abordagens inovadoras para a produção de tijolos de argila que são menos dependentes de fontes virgens são altamente incentivadas na perspectiva de proteger os recursos naturais e o desenvolvimento sustentável [27].

Dentro dessa premissa, o estudo tem como objetivo aproveitar um resíduo da fabricação de cerâmica de revestimento, mais especificamente do setor de esmaltes como matéria-prima a ser incorporada na fabricação de blocos cerâmicos para alvenaria. Trata-se de um lodo cerâmico, rico em materiais vítreos e fundentes, que depositados em locais impróprios causam contaminação do meio ambiente, principalmente por conter quantidades significativas de metais pesados (Chumbo e Cádmi) e também proporções de alumínio consideráveis. Segundo ABNT NBR 10004/2004 [28], esse resíduo é considerado Classe I (Perigoso), porém, quando reaproveitados corretamente, podem favorecer na diminuição de despesas, contribuir para o desenvolvimento sustentável e em boa parte dos casos proporciona melhoria na qualidade final no produto.

## 2. Material e Métodos

O resíduo cerâmico utilizado neste trabalho foi cedido por uma empresa de colorificios catarinense, oriundo do processo de lavagem e resíduos de esmaltes. A massa cerâmica utilizada foi fornecida por uma empresa Cerâmica sul-catarinense, cuja utilização é para fabricação de blocos estruturais. Esta massa proveniente da mistura de 4 argilas foi coletada após completa homogeneização e retirada após o processo de laminação. Foi coletado aproximadamente 50 kg de massa, que foi denominada como padrão (STD). Em seguida por meio do processo de quarteamo a amostra foi reduzida para 10 kg para realização dos trabalhos em escala laboratorial, onde parte da amostra foi seca juntamente com o resíduo em uma estufa com temperatura de  $70 \pm 5$  °C por 24 h.

Após a secagem, 100 g de cada material foi colocado em 1 L de água e mantido em repouso por 24 h para saturação máxima e facilitar a realização do ensaio de Resíduo Bruto em peneira de malha 325 mesh (44  $\mu$ m).

A umidade ideal para confecção dos corpos de prova foi determinada através do ensaio de plasticidade de *Pfefferkorn*. O índice de plasticidade determinado por este método corresponde à percentagem para a qual o corpo de prova apresenta uma deformação de 30% em relação à sua dimensão inicial (40 mm). Sendo uma razão da medida inicial com a final. Para determinação da umidade ideal de extrusão dos corpos de prova formulados foi realizado o ensaio de plasticidade com a massa padrão, com os seguintes percentuais de umidade: 15, 18, 20, 22 e 24%.

Em seguida, parte do material da amostra foi analisada quimicamente por meio de um espectrômetro de fluorescência de raios X (FRX, Philips modelo PW 2400). O resíduo foi classificado baseado na metodologia SW 846-3050B [29], e as referências técnicas: ABNT NBR 10004/2004 - Classificação de Resíduos Sólidos [28], ABNT NBR 10005/2004 - Ensaio de Lixiviação [30], ABNT NBR 10006/2004 - Ensaio de Solubilização [31] e ABNT NBR 10007/2004 - Amostragem de Resíduo [32]. Em uma etapa posterior foram desenvolvidas seis formulações variando seu percentual em função da quantidade de resíduo adicionado, contendo percentuais de 0 a 20% em peso de resíduo à massa cerâmica, como mostrada na Tabela 1. Para este procedimento foram realizadas as pesagens da massa padrão e também do resíduo com auxílio de uma balança (marca electronic, modelo SF-400 com capacidade máxima de 10 kg). A quantidade de amostra preparada foi de 1 kg para cada formulação, sendo posteriormente homogeneizadas manualmente com auxílio de uma espátula metálica e em seguida um misturador excêntrico. As formulações evidentemente identificadas foram acondicionadas em embalagens plásticas hermeticamente fechadas para homogeneização de umidade por período superior à 24 h.

A conformação das formulações foi realizada mediante uma prensa laboratorial com capacidade de 15 ton. Foram prensados 10 corpos-de-prova para cada formulação comum total de 60 amostras a uma pressão de 5 ton, equivalente a 29 KgF/cm<sup>2</sup>, ou seja, basicamente a pressão exercida pelo processo de extrusão. Os corpos-de-prova foram prensados com diâmetros de 73 mm e espessura de 15 mm e identificados, pesados e medidos. Em seguida, foram colocados em um secador contínuo industrial, juntamente com os produtos produzidos pela empresa, com temperatura inicial de  $35 \pm 10$  °C e umidade relativa de ~88% e temperatura média final de  $100 \pm 10$  °C e umidade relativa de ~13%, na qual permaneceram durante 36 h para remoção parcial da umidade, adotou-se esse

**Tabela 1.** Composição em percentual das formulações utilizadas.

Fórmulas	STD	F1	F2	F3	F4	F5
Massa Padrão (%)	100	98	95	90	85	80
Resíduos (%)	0	2	5	10	15	20

procedimento no intuito de garantir as mesmas condições estabelecidas pelo processo industrial.

Os corpos-de-prova já secos foram encaminhados para queima em forno contínuo industrial, juntamente com os produtos produzidos pela empresa diariamente, com temperatura máxima de  $870 \pm 15$  °C, com ciclo total de 35 h e patamar de queima de 8 h.

Após a realização da queima, os corpos-de-prova foram caracterizados mediante retração linear de queima, perda ao fogo, resistência mecânica à flexão (compressão diametral) em uma máquina universal de ensaios mecânicos (EMIC modelo DL 20000) e absorção d'água.

### 3. Resultados e Discussão

A Tabela 2 mostra a composição química das matérias-primas obtida por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX), onde é possível verificar a predominância de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) em todas as amostras. A sílica é encontrada em diversas fases mineralógicas argilosas e não argilosas, destacando-se o quartzo (sua forma natural mais pura) e a caulinita ( $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ ). A alumina geralmente está associada também a caulinita, sendo uma fase mineralógica muito característica das argilas [33]. Em teores menores estão presentes também em todas as matérias-primas, o óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (0,4 para o resíduo e 6% para a massa) e óxido de sódio e potássio ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ), variando entre 1 – 3% respectivamente. O óxido de ferro é conhecido por favorecer tonalidades avermelhadas nas peças queimadas e pelo efeito fundente na cerâmica. O óxido de potássio e sódio também possui efeito fundente na massa, formando eutéticos e diminuindo a temperatura de sinterização, contribuindo

para a densificação do material em temperaturas abaixo de 1100 °C [34].

Pode-se observar que o resíduo apresenta teores significativos de metais alcalino terrosos, principalmente o óxido de cálcio, este também contribui para auxiliar a sinterização da massa cerâmica em determinadas temperaturas. A presença de cálcio ( $\text{CaO}$ ), magnésio ( $\text{MgO}$ ) e potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) auxiliam com o aumento da resistência a mudanças bruscas de temperatura. A presença de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) em principal teor, é um indicador que o resíduo pode melhorar a qualidade da peça, principalmente na resistência mecânica, já que é um óxido fundente relacionados à vitrificação do material [35].

No ensaio de classificação do resíduo, apontou características físico-químicas como umidade *in natura* a 105 °C de 38,76%, uma densidade de 1,54 g/cm<sup>3</sup> e sólidos em suspensão de 86,61%.

Os resultados também apontaram que o resíduo não é inflamável. Em mistura com água em proporção 1:1 em peso apresenta pH de 9,4, não ultrapassando o limite estabelecido pela norma ABNT NBR 10004/2004 [28], letra a do item “4.2.1.2 Corrosividade”, sendo “não corrosivo” para esse ensaio. Por apresentar em sua constituição íon de sulfeto em concentração abaixo do limite estabelecido pela norma ABNT NBR 10004/2004 [28], letra d do item “4.2.1.3 Reatividade”, sendo “não reativo” nesse ensaio.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros ensaiados para toxicidade no ensaio de lixiviação.

Devido aos resultados obtidos no decorrer do ensaio de lixiviação, o resíduo é considerado tóxico, por conter bário e chumbo em concentrações superiores aos valores constantes no anexo F, letra a do item “4.2.1.4 Toxicidade”

**Tabela 2.** Fluorescência de raios X das matérias-primas.

Óxidos	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{TiO}_2$	$\text{ZrO}_2$	$\text{ZnO}$
Massa	17,06	65,20	0,19	6,22	2,97	1,17	0,01	1,13	0,12	0,87	-	-
Resíduo	13,85	52,34	7,41	0,46	2,68	2,02	-	1,3	0,06	0,14	3,45	4,8

**Tabela 3.** Resultados obtidos para o ensaio de lixiviação.

Parâmetros	Unidade	Resultados	Limite máximo no lixiviado	L.Q.
Arsênio	(mg/L)	0,002	1,0	0,001
<b>Bário</b>	<b>(mg/L)</b>	<b>100,0</b>	<b>70,0</b>	<b>0,1</b>
Cádmio	(mg/L)	ND	0,5	0,01
<b>Chumbo</b>	<b>(mg/L)</b>	<b>4,70</b>	<b>1,0</b>	<b>0,01</b>
Cromo total	(mg/L)	0,05	5,0	0,02
Fluoreto	(mg/L)	0,2	150,0	0,1
Mercúrio	(mg/L)	ND	0,1	0,002
Prata	(mg/L)	ND	5,0	0,01
Selênio	(mg/L)	0,002	1,0	0,002
Teor de sólidos secos	(%)	61,24	NA	0,01
pH inicial	NA	9,0	NA	0,1
pH final	NA	5,8	NA	0,1
Tempo de lixiviação	Hora	18	±2	NA
Volume de lixiviação	mL	500,0	NA	NA

LQ = Limite de quantificação; ND = Não detectado; NA = Não aplicável.

da norma ABNT NBR 10004/2004 [28], sendo classificado, portanto, como Resíduo Classe I – Perigoso.

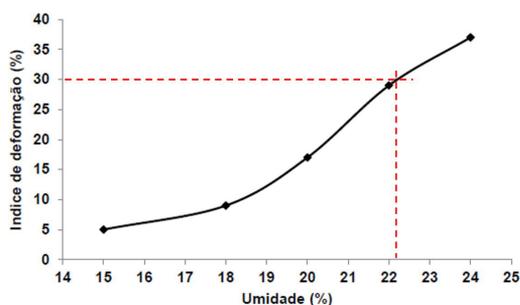
Na Tabela 4 apresenta os resultados do resíduo bruto da massa e do resíduo de esmalte, mostrando que o resíduo utilizado tem tamanho de partículas menores que a massa padrão, auxiliando diretamente no fator de empacotamento contribuindo para uma melhor compactação.

Os resultados expressos na Figura 1 indicam que as amostras contendo adição de aproximadamente 22% de umidade apresentaram a melhor condição, desta forma, este teor foi tomado como padrão para a realização da conformação dos corpos-de-prova.

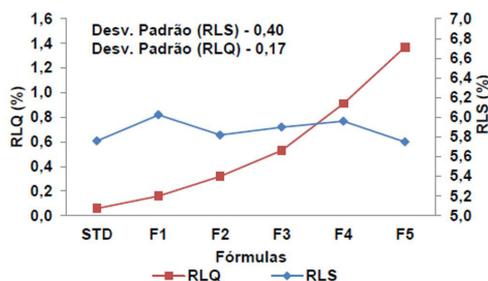
O gráfico da Figura 2 mostra os resultados de retração térmica linear total (secagem e queima) das formulações e massa padrão, utilizadas no estudo. É possível observar que na retração linear de secagem os resultados diminuem com o aumento do resíduo adicionado. A queima tende a reduzir a quantidade de material orgânico presente nas argilas, com isso também suas dimensões, portanto, é possível analisar a diferença da retração linear de queima

**Tabela 4.** Percentual de resíduo bruto retido em peneira 325 mesh.

Resíduo bruto 325# (%)	
Massa	27,3
Rejeito	38,4



**Figura 1.** Gráfico apresentando o índice de deformação plástica pela umidade do teste de plasticidade por *Pfefferkorn*.



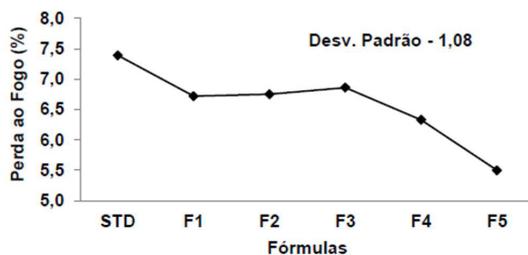
**Figura 2.** Gráfico com a retração térmica linear das formulações estudadas. RLQ: Retração Linear de Queima / RLS: Retração Linear de Secagem.

das formulações, ou seja, a medida que foi aumentado o teor de resíduo também aumentou a retração linear de queima, isso se deve em função do resíduo ter quantidades consideráveis de materiais fundentes como mostrado na Tabela 2.

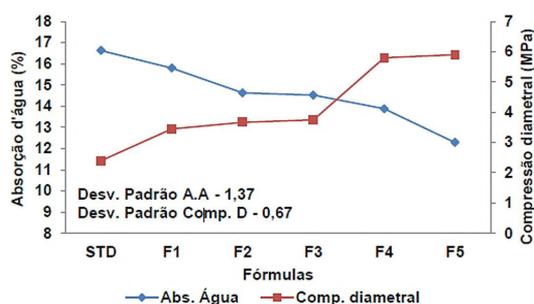
De acordo com a Figura 3, a perda ao fogo da massa padrão e das formulações mostrou-se coerente, uma vez que, apresentaram valores entre 5,5 – 7%, indicando serem relativamente pobres em matéria orgânica. Os resultados também indicam uma redução da perda ao fogo à medida que se aumenta o teor de resíduo, característico, já que o resíduo apresenta menor quantidade de matéria orgânica (4,81%) em relação à massa padrão (7,39%).

Os resultados de resistência mecânica obtidos pelo método por compressão diametral e a absorção de água, estão apresentados através do gráfico da Figura 4.

A resistência mecânica teve um aumento significativo comparado com a massa padrão, ou seja, à medida que o teor de resíduo foi aumentando, diminuiu a absorção d'água e aumentou a resistência. A formulação F5 e F6 apresentaram maior resistência (5,8 Mpa) e menor absorção para F5 (~14%) e para F6 (~12%). Novamente esses resultados estão diretamente ligados ao teor considerável de fundentes existente no resíduo, isso favorece a formação de fase líquida no processo de sinterização diminuindo a quantidade de poros favorecendo a redução da absorção d'água e o aumento da resistência mecânica, que para as empresas de fabricação de cerâmica vermelha isso é de fundamental importância, pois garante a qualidade do produto final.



**Figura 3.** Perda ao fogo da massa padrão e formulações utilizadas no trabalho.



**Figura 4.** Gráfico de absorção d'água e Resistência mecânica a compressão diametral das formulações realizadas no trabalho.

## 4. Conclusão

Através do trabalho realizado pode ser concluir que a adição do rejeito de esmalte à massa argilosa da cerâmica vermelha influencia em suas propriedades, mudando as suas características no produto acabado. Por ser um resíduo fundente a base de sílica, que quando sinterizado forma uma fase líquida diminuindo a porosidade do material, e causando também uma sinterização mais rápida ou em menor temperatura. A adições desde resíduo de esmalte contribuiu para o aumento das propriedades físicas como a retração de queima, a resistência mecânica a flexão, e diminuindo a absorção de água, perda ao fogo. Quanto maior a adição, mais intenso é este efeito. Esses rejeitos têm potencial para serem utilizados como matéria-prima alternativa na fabricação de cerâmica vermelha e, portanto, do ponto de vista fabril pode ser utilizado sendo um ótimo fundente que ainda gera melhorias nas caracterizas no produto final e ganha em marketing sustentável. Inclusive sem inibir a possibilidade de se introduzir ciclos mais rápidos de queima.

## Referências

- [1] R. Taurino, L. Barbieri, F. Bondioli, Surface properties of new green building material after TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> coatings deposition, **Ceram. Int.** **42** (2015) 4866–4874. doi:10.1016/j.ceramint.2015.12.002.
- [2] A. Domínguez, M.I. Domínguez, S. Ivanova, M.A. Centeno, J.A. Odriozola, Recycling of construction and demolition waste generated by building infrastructure for the production of glassy materials, **Ceram. Int.** **42** (2016) 15217–15223. doi:10.1016/j.ceramint.2016.06.157.
- [3] V.S. Nandi, F. Raupp-Pereira, O.R.K. Montedo, A.P.N. Oliveira, The use of ceramic sludge and recycled glass to obtain engobes for manufacturing ceramic tiles, **J. Clean. Prod.** **86** (2015) 461–470. doi:10.1016/j.jclepro.2014.08.091.
- [4] R. Ji, S. Wu, C. Yan, H. Wang, Y. He, D. Zhao, X. Wang, Preparation and Characterization of the One-piece Wall Ceramic Board by Using Solid Wastes, **Ceram. Int.** *In press* (2017). doi:10.1016/j.ceramint.2017.03.088.
- [5] European Commission, Energy-efficient buildings PPP, multi-annual road map and longer term strategy., Publications Office of the European Union, Brussels, Belgium., 2010.
- [6] M.I. Almeida, A.C. Dias, M. Demertzi, L. Arroja, Environmental profile of ceramic tiles and their potential for improvement, **J. Clean. Prod.** **131** (2016) 583–593. doi:10.1016/j.jclepro.2016.04.131.
- [7] CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção, Banco de Dados, (2017) www.cbicdados.com.br/home.
- [8] Y. Taha, M. Benzaazoua, R. Hakkou, M. Mansori, Coal mine wastes recycling for coal recovery and eco-friendly bricks production, **Miner. Eng.** **107** (2016) 123–138. doi:10.1016/j.mineng.2016.09.001.
- [9] M. Dal Bó, F.G. Melchiades, A.O. Boschi, D. Hotza, Efeito das propriedades dos esmaltes e engobes sobre a curvatura de revestimentos cerâmicos, **Cerâmica.** **58** (2012) 118–125.
- [10] V. de S. Nandi, J. Feltrin, M. Volpato, A. Pedro, N. de Oliveira, Caracterização de Resíduo Sólido de ETE da Indústria Cerâmica de Revestimento, **Cerâmica Ind.** **17** (2012) 32–35. doi:10.4322/cerind.2014.011.
- [11] C.A.S. Pérez, C. Paduani, J.D. Ardisson, D. Gobbi, A. Thomé, Caracterização de Massas Cerâmicas Utilizadas na Indústria de Cerâmica Vermelha em São Domingos do Sul - RS, **Cerâmica Ind.** **15** (2010) 38–43.
- [12] L. Zhang, Production of bricks from waste materials - A review, **Constr. Build. Mater.** **47** (2013) 643–655. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.05.043.
- [13] M. Sutcu, H. Alptekin, E. Erdogmus, Y. Er, O. Gencel, Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials, **Constr. Build. Mater.** **82** (2015) 1–8. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.02.055.
- [14] N. Phonphuak, S. Kanyakam, P. Chindaprasirt, Utilization of waste glass to enhance physical-mechanical properties of fired clay brick, **J. Clean. Prod.** **112** (2016) 3057–3062. doi:10.1016/j.jclepro.2015.10.084.
- [15] C.M.F. Vieira, A.S.C. Morais, S.N. Monteiro, G.C.G. Delaqua, Teste industrial de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de vidro de lâmpada fluorescente, **Cerâmica.** **62** (2016) 376–385.
- [16] N.C. Coutinho, C.M.F. Vieira, Caracterização e incorporação de cinza de resíduo sólido urbano em cerâmica vermelha, **Cerâmica.** **62** (2016) 249–255. doi:10.1590/0366-69132016623631985.
- [17] C. Leiva, C. Arenas, B. Alonso-fariñas, L.F. Vilches, B. Peceño, M. Rodríguez-galán, Characteristics of fi red bricks with co-combustion fl y ashes, **J. Build. Eng.** **5** (2016) 114–118. doi:10.1016/j.jobe.2015.12.001.
- [18] E.N.M. de Medeiros, R.M. Sposto, G. de A. Neves, R.R. Menezes, Incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica. Utilização da técnica de planejamento, **Cerâmica.** **56** (2010) 399–404. doi:10.1590/S0366-69132010000400014.
- [19] Y. Taha, M. Benzaazoua, R. Hakkou, M. Mansori, Natural clay substitution by calamine processing wastes to manufacture fired bricks, **J. Clean. Prod.** **135** (2016) 847–858. doi:10.1016/j.jclepro.2016.06.200.
- [20] P.H.S. Almeida, C.R.G. Tavares, Influência do tipo de argila no processo de solidificação / estabilização de lodo têxtil, **Cerâmica.** **61** (2015) 137–144. doi:10.1590/0366-69132015613571870.
- [21] M.A. Tantawy, R. Sa, Applied Clay Science Middle Eocene clay from Goset Abu Khashier : Geological assessment and utilization with drinking water treatment sludge in brick manufacture, **Appl. Clay Sci.** **138** (2017) 114–124. doi:10.1016/j.clay.2017.01.005.
- [22] C. Coletti, L. Maritan, G. Cultrone, C. Mazzoli, Use of industrial ceramic sludge in brick production : Effect on aesthetic quality and physical properties, **Constr. Build. Mater.** **124** (2016) 219–227. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.07.096.
- [23] M.D.P. De Morais, R.S. Macedo, C.M.O. Raposo, Preparação e caracterização de sistemas chamote / argila visando o reaproveitamento de descartes industriais, **Cerâmica.** **61** (2015) 206–212. doi:10.1590/0366-69132015613581864.
- [24] B. Rajamannan, G. Viruthagiri, K.S. Jawahar, Effect of grog addition on the technological properties of ceramic, **Int. J. Latest Res. Sci. Technol.** **2** (2013) 81–84.
- [25] F.P. Gouveia, R.M. Sposto, Incorporação de chamote em massa cerâmica para a produção de blocos . Um estudo das propriedades físico-mecânicas, **Cerâmica.** **55** (2009) 415–419.

- [26] A. Zaccaron, S.L. Galatto, V. de S. Nandi, P. Fernandes, Incorporação de Chamote na Massa de Cerâmica Vermelha como Valorização do Resíduo, **Cerâmica Ind.** **19** (2014) 33–39.
- [27] A. Ukwatta, A. Mohajerani, Characterisation of fired-clay bricks incorporating biosolids and the effect of heating rate on properties of bricks, **Constr. Build. Mater.** **142** (2017) 11–22. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.03.047.
- [28] ABNT, NBR 10004 - Resíduos Sólidos - Classificação, Assoc. Bras. Normas Técnicas. (2004) 71.
- [29] US EPA - United States Environmental Protection Agency., SW 846 - Test Method For Evaluating Solid Waste Report Number SW-846., Washigton, DC, 1986.
- [30] ABNT, NBR 10005 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, Assoc. Bras. Normas Técnicas. (2004) 16.
- [31] ABNT, NBR 10006 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, Assoc. Bras. Normas Técnicas. (2004) 3.
- [32] ABNT, NBR 10007 - Amostragem de resíduos sólidos, Assoc. Bras. Normas Técnicas. (2004) 21.
- [33] A.A. Oliveira, Tecnologia em cerâmica., 1ª, Editora Lara, Criciúma, SC, 2011.
- [34] R.R. Menezes, R.R. De Almeida, L.N.L. Santana, G.A. Neves, H.L. Lira, H.C. Ferreira, Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos, **Cerâmica.** **53** (2007) 192–199.
- [35] A. Zaccaron, A.M. Bernardin, F. Rosso, V. de S. Nandi, P. Fernandes, Utilização de Vidro de Garrafas para Redução da Absorção de Água em Produtos de Cerâmica Vermelha, **Cerâmica Ind.** **20** (2016) 35–39.