





Análise da viabilidade técnica e ambiental da adição de resíduos provenientes de termoeletrônica e beneficiamento de carvão em massa de cerâmica vermelha

Analysis of the technical and environmental viability of adding waste from thermoelectric and coal processing in clay ceramic paste

Graziela Serafim Casagrande¹, Alexandre Zaccaron^{1,2} , David Batista Gesuino^{2,5,6} , Pedro Gabriel Ambrosio^{5,6} , Sérgio Luciano Galatto^{1,3}, Rosimeri Venâncio Redivo⁴, Kristian Madeira^{5,6} , Fábio Rosso⁷, Michael Peterson^{1,2}

¹Universidade do Extremo Sul Catarinense, Departamento de Engenharia Ambiental. 88806-000, Criciúma, SC, Brasil.

²Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. 88806-000, Criciúma, SC, Brasil.

³Universidade do Extremo Sul Catarinense, Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas. 88806-000, Criciúma, SC, Brasil.

⁴Empresas Rio Deserto. 88801-500, Criciúma, SC, Brasil.

⁵Universidade do Extremo Sul Catarinense, Grupo de Estudos em Métodos Quantitativos Aplicados. 88806-000, Criciúma, SC, Brasil.

⁶Universidade do Extremo Sul Catarinense, Núcleo de Assessoria Estatística. 88806-000 Criciúma, SC, Brasil.

⁷Laboratório de Materiais Cerâmicos Cocal. 88845-000, Cocal do Sul, SC, Brasil.

e-mail: grazii_sc@hotmail.com, alexandrezaccaron@hotmail.com, davidbatista@unesc.net, pgambrosio@gmail.com, projetosambientais@unesc.net, rosimeri@riodeserto.com.br, kristian@unesc.net, fabiorosso@hotmail.com, michael@unesc.net

RESUMO

A investigação teve por objetivo analisar a viabilidade técnica de incorporação do resíduo proveniente do filtro prensa do processo de beneficiamento do carvão mineral (TFP) e de cinzas pesadas (CP) advindos de uma termoeletrônica, em massa cerâmica na escala laboratorial. Foram realizados ensaios de caracterização físico-química e de classificação dos resíduos. Posteriormente foram desenvolvidas dez formulações através de planejamento experimental por delineamento de misturas *simplex centroide*, incorporando esses resíduos a uma massa padrão de cerâmica vermelha. Os corpos-de-prova foram conformados por extrusão sem vácuo e submetidos a tratamento térmico em estufa e queima em forno mufla a 900 °C. As propriedades tecnológicas avaliadas foram: retração térmica linear de secagem e de queima, absorção de água e resistência mecânica à compressão e por fim, foram realizados testes de eflorescência e análise fitotoxicológica. Os resultados de classificação dos resíduos, indicaram esses como não sendo perigoso – Classe II-B – inerte. Os testes físicos dos corpos-de-prova mostram que comparados a formulação base de cerâmica vermelha (STD), as demais formulações obtiveram resultados dentro dos parâmetros técnicos, que podem ser posteriormente realizados em um ensaio de escala industrial. Embora os ensaios mecânicos das provas com incorporação de resíduo ficaram abaixo da formulação base (STD), não se descarta uma prova em escala similar a industrial. No ensaio de eflorescência, observou-se que não houve presença de sais solúveis. E por fim, no ensaio fitotoxicológico, com *Allium cepa L.* de uma formulação com agregação de todas as matérias-primas juntas, apresentou um resultado próximos ao padrão, se mostrando apto a reprodução em escala industrial.

Palavras-chave: Cerâmica vermelha; *Allium cepa L.*; Resíduos; Resíduo de carvão; Cinza pesada.

ABSTRACT

The investigation aims to analyze the technical viability of addition the waste from the filter-press from the mineral coal treatment process (TFP) and bottom ash from a thermoelectric (CP), in ceramic paste on

the laboratory scale. Physical-chemical characterization and waste classification tests were carried out. Subsequently, ten formulations were developed through the mixture design (DoE), incorporating these residues into a standard clay ceramic paste (STD). The samples were formed by extrusion without vacuum and subjected to heat treatment in an oven and fired in a muffle at 900 °C. The evaluated technological properties were: shrinkage of drying and firing, water absorption and mechanical resistance and, finally, efflorescence tests and phytotoxicological analysis were performed. The results of solid waste classification, indicated these as not being dangerous (Class II-B - inert). The technical analysis of the samples show that compared to the clay ceramic standard formulation (STD), the other mixtures obtained results within the technical parameters, which can later be carried out in an industrial scale test. Although the mechanical tests with waste incorporation were below the standard formulation (STD), a test on an industrial scale is not discarded. In the efflorescence test, it was observed that there was no presence of soluble salts. And finally, in the phyto-toxicological test, with *Allium cepa L.* of a formulation with aggregation of all raw materials, it presented a result marginally similar to the standard, proving itself capable of reproduction on an industrial scale.

Keywords: Clay Ceramic; *Allium cepa L.*; Wastes; Coal Wastes; Bottom Ash.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente no extremo sul do estado de Santa Catarina, o setor carbonífero representa destaque no âmbito econômico, como uma das atividades principais, tendo por consequência da mineração associada, grandes impactos ambientais. Em paralelo aos problemas ambientais ocasionados pela mineração de carvão, uma série de resíduos gerados pelo beneficiamento são descartados em aterros industriais, o que acarreta uma série de outros problemas para além dos gerados na extração, levando as mineradoras a se tornarem cada vez mais atuantes para mitigar esses prejuízos [1–3].

Visando a redução dos impactos causados pelo descarte desses resíduos, estudos que promovem a caracterização, estabelecendo antecipações dos problemas e valoração de modo que esses tenham destinação adequada como subprodutos, estão sendo realizados [4–6].

No que se referem à matéria-prima, os produtos da cerâmica vermelha utilizam basicamente argilas comuns e argilitos, sendo geologicamente de fácil obtenção, visando uma composição ideal de plasticidade, que facilita o manuseio e fusibilidade que propicia resistência mecânica após a queima [7, 8].

As massas para fabricação de cerâmica vermelha necessitam de misturas para obtenção de diferentes características ao produto final, e em virtude do grande volume produtivo, possibilita o uso de resíduos de outros processos, desde que não prejudiquem as propriedades da peça cerâmica [9, 10].

O rejeito do processo industrial do setor carbonífero conhecido como “torta”, oriunda do filtro prensa do beneficiamento do carvão mineral, com a junção das cinzas provenientes de sua queima, pode então, ser uma alternativa de reutilização no meio cerâmico, uma vez que esses materiais individualmente já possuem aplicabilidade conhecida no meio científico na produção de cerâmicos [11–16].

Assim, o estudo propõe analisar a viabilização técnica na aplicação de um resíduo mineral proveniente do processo de beneficiamento do carvão, com a junção de cinzas provenientes também de sua queima para que sejam incorporados na massa cerâmica, como forma de valorização e ampliação de produtos para a construção civil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento foi realizado em duas etapas, a primeira tratou da caracterização da massa cerâmica (composta por uma blenda de argilas) bem como dos resíduos utilizados (torta proveniente do processo de beneficiamento e cinza da queima do carvão mineral), nos quais foram classificados conforme a NBR 10004 [17]. A segunda etapa, teve esforços voltados ao desenvolvimento de formulações com diferentes percentuais dos resíduos à massa cerâmica, através de delineamento de mistura, seguindo para análise técnica da qualidade dos corpos-de-prova.

Para realização dos estudos, foi utilizada a massa padrão (STD) de uma Indústria de Cerâmica Vermelha, composta de uma blenda de argilas, coletada diretamente do *box* de armazenamento pós-mistura. Num primeiro momento foram recolhidos aproximadamente 100 kg de STD e através do processo de quarteamento, homogeneizadas e reduzidas para um volume de 30 kg.

A primeira amostra, composta de resíduo finos, ultrafinos, lodos e resíduo do pátio, é chamada de torta de rejeito (TFP), proveniente do filtro prensa e do processo de beneficiamento do carvão. A segunda amostra, de cinzas pesadas (CP), tendo por origem as fornalhas do processo de combustão do carvão mineral em uma usina termoeletrica, é obtida depois que as cinzas leves suspensas no ar são retidas por placas eletroestáticas e enviada a silos [17]. Assim, as cinzas leves são encaminhadas para indústrias cimenteiras, enquanto as cinzas pesadas

são encaminhadas as bacias de sedimentação ou utilizadas na recuperação de áreas degradadas. Estima-se que na termoeétrica em que o material foi recolhido, geram-se aproximadamente 1.043 toneladas/mês de cinza pesada, tendo como paralelo uma geração de 9.400 toneladas/mês de torta de rejeitos do filtro prensa.

As amostras de STD, TFP e CP, seguiram o mesmo procedimento preparatório, onde foram desidratadas em estufa (com resistência elétrica, marca DeLeo nº 2211, tipo 8) a 50 ± 10 °C e laminadas (laminador laboratorial Bertan) a fim de homogeneizar partículas mais grosseiras.

Assim, os resíduos recolhidos foram acondicionados em sacos totalizando 30 kg. Os materiais passaram pelo processo de distribuição do tamanho de partículas pelo método de peneiramento, em um agitador eletromagnético, disposto da maior granulometria para menor, com duração de 15 minutos, utilizando as peneiras de #18 mesh (1,00 mm), #35 mesh (0,500 mm), #60 mesh (0,250 mm), #70 mesh (0,210 mm), #100 mesh (0,149 mm), #200 mesh (0,074 mm) e #325 mesh (0,044 mm).

A classificação dos resíduos foi realizada baseada na metodologia da: NBR 10004 - Classificação de Resíduos Sólidos [17], NBR 10005 - Ensaio de Lixiviação [18]; NBR 10006 - Ensaio de Solubilização [19]; NBR 10007 - Amostragem de Resíduos [20] e metodologia baseada na SW 846-3050B [21].

Os resíduos foram caracterizados quimicamente em equipamento de absorção atômica (marca Pelkin Elmer), seguindo para a preparação das amostras por meio das diretrizes da NBR 13809 [22], referente a tratamento preliminar de amostras para determinação de metais.

As composições foram formuladas utilizando-se planejamento experimental através da metodologia de delineamento de misturas, *simplex centroide*, onde foram formatadas 10 formulações distintas, que contemplam as extremidades e o centro do diagrama, utilizando restrições no teor de matérias-primas para obtenção de blocos cerâmicos. Foram formuladas composições, segundo a metodologia de delineamento de misturas do planejamento experimental, contendo, na composição STD: massa padrão de cerâmica vermelha, CP: cinza pesada de termoeétrica e TFP: resíduos de carvão oriundos do filtro prensa, para avaliar a viabilidade da mistura dessas matérias-primas para produção de cerâmica vermelha. Foram estabelecidos limites inferiores e superiores de 50 e 100% de argila, respectivamente, e limites inferiores e superiores de 0 e 50% de resíduos, respectivamente, como pode-se observar na Tabela 1 e na Figura 1 que mostram graficamente as composições formuladas.

Tabela 1: Formulações desenvolvidas pelo delineamento de misturas.

FORMULAÇÕES (%MASSA)										
M.P	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
STD	100	50	50	75	75	50	66,6	83,4	58,3	58,3
CP	0	50	0	25	0	25	16,7	8,3	33,3	8,4
TEF	0	0	50	0	25	25	16,7	8,3	8,4	33,3

M.P. = Matérias-primas.

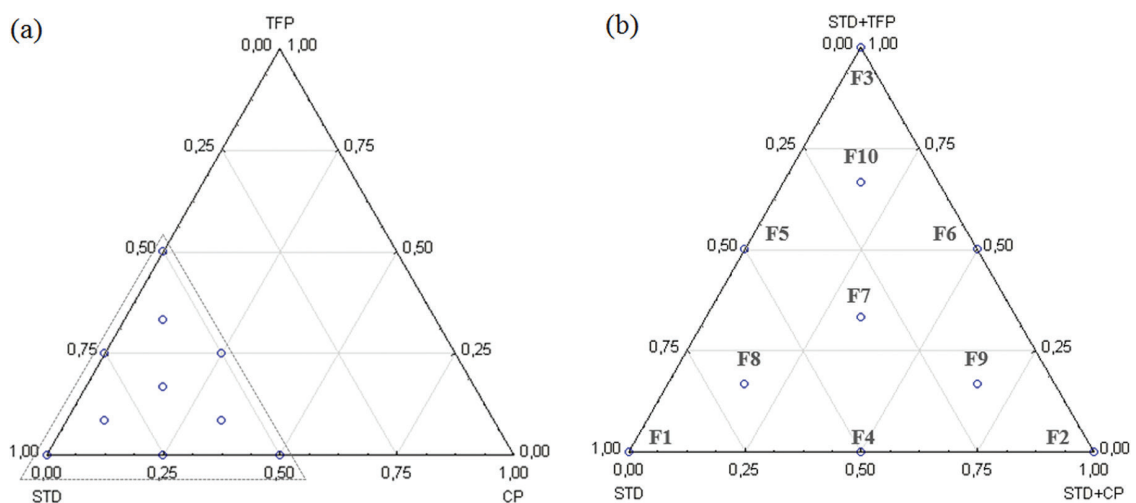


Figura 1: Diagrama de misturas (a) com as extremidades de 100% de cada uma das matérias-primas usadas, e (b) com a extremidade de 100% de argila e 50% de argila + 50% dos resíduos usados.

As formulações passaram pelo Plasticímetro de *Pfefferkorn* (NATREB) para avaliação do teor de umidade ideal para conformação. O coeficiente de plasticidade determinado por *Pfefferkorn* corresponde à porcentagem de água presente, para a qual o corpo-de-prova apresenta uma deformação de 30%, em relação à sua dimensão inicial [23].

Posteriormente, foram realizadas a pesagem e dosagem (balança Marte, AC 10K, precisão de 0,1 g) das 10 formulações (Tabela 1) com posterior umidificação para conformação dos corpos-de-prova. As massas formuladas sofreram um descanso de 24 h para homogeneização da umidade.

Os corpos-de-prova foram conformados pelo processo de extrusão sem vácuo (por êmbolo: funil com redução de 250 mm para 27 mm com ângulo de 45° e pressão registrada por manômetro), no qual foram produzidos 12 corpos-de-prova cilíndricos ($\varnothing 27 \times 45$ mm) para cada formulação. Todas as peças foram pesadas (balança Marte AD 5002 pesagem Máxima 5000 g e precisão 0,01 g) e medidas com Paquímetro (Digmess digital com precisão de 0,01 mm) para obter a massa e tamanho úmido.

Na etapa seguinte, as amostras passaram por secagem (marca DeLeo n° 2211), a uma temperatura de 80 ± 5 °C em um período de 24 h e queima em forno mufla (Jung, modelo J200), com taxa de 2 °C/min, temperatura de 900 °C e tempo de patamar de 120 min. Tais condições foram adotadas conforme a literatura [7].

As peças foram medidas e pesadas após secagem e queima para avaliar os respectivos percentuais de retração.

Também foi realizado ensaio de absorção de água conforme NBR 15270-2 [24], e de resistência mecânica à compressão, realizado em uma máquina universal de ensaios (EMIC DL 10000; com velocidade de 1mm/min), seguindo a norma técnica NBR 15310 [25].

O teste de eflorescência foi realizado conforme norma internacional C 67-92a [26], que consiste em submeter as peças cerâmicas submerso em água deionizada em um recipiente impermeável, num período de sete dias. Após esse tempo, as amostras foram colocadas em estufas com temperatura de 100 °C, durante 24 horas para avaliar possível aparecimento de manchas oriundas de sais solúveis, que indicariam eflorescência.

Para realizar os testes toxicológicos, utilizou-se o método de fitotoxicidade *Allium cepa L* como bioindicador, da formulação F7, baseados de acordo com literatura [27], com adaptações. As *Allium cepa L*, foram preparadas, com a retirada de sua casca e suas raízes, os bulbos (n = 6) colocados sobre os tubos Falcon de 55 mL, contendo formulação em 1,0 g, 1,5 g, 3,0 g, 3,5 g, 5,0 g em concentrações de água deionizada (Figura 2).

Fitotoxicidade é uma reação tóxica provocado nas plantas prejudicando seu crescimento [28]. Nesse caso, as raízes das *Allium cepa L* foram medidas e comparadas a um negativo. O controle negativo foi obtido



Figura 2: Disposição do ensaio toxicológico realizando com *Allium cepa L* como bioindicador na formulação F7.

por uma amostragem apenas com água deionizada. As demais amostras foram reabastecidas nos 7 dias, deixadas à temperatura ambiente e ao abrigo de luz. Depois de retirado as raízes dos bulbos, realizou-se a medida do comprimento das raízes [29].

Os dados coletados foram organizados em planilhas do software IBM *Statistical Package for the Social Sciences* versão 22.0 para posterior análise. As variáveis quantitativas, tamanho das raízes entre os tratamentos, foram expressas por meio de média e erro padrão da média. As análises inferenciais foram realizadas com um nível de significância $\alpha = 0,05$ e, portanto, confiança de 95%. A distribuição das variáveis quantitativas foi avaliada quanto à normalidade por meio da aplicação do teste de *Kolmogorov-Smirnov*.

A verificação da existência de diferença entre as medidas de tendência central do tamanho das raízes entre os tratamentos foi investigada por meio da aplicação do teste H de *Kruskal-Wallis*, e posteriormente aplicou-se o teste de *post hoc* de *Dunn* nas comparações que apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

3. DISCUSSÃO

A umidade ideal (U%) para conformação obtidos por Plasticímetro de *Pfefferkorn*, é apresentada na Tabela 2. As formulações foram umidificadas para conformação de acordo com os percentuais alcançados. Foi possível observar que as formulações que tiveram maior adição de TFP necessitaram de menos água para alcançar o teor ideal de umidade. Esse fator se torna importante no processo de cerâmica vermelha, uma vez que elevados gradientes de umidade dificultam a secagem da peça.

A caracterização química dos resíduos (Tabela 3), se observa um maior percentual de sílica (SiO_2), sendo 63,06% (CP) e 61,54% (TFP). O teor de sílica (SiO_2) depende da presença de silicatos e sílica livre nesses subprodutos; um alto teor de sílica é típico para matérias-primas siliciosas [30, 31].

A alumina (Al_2O_3) se fez presente em teores aproximados nos dois resíduos (~25%). Esse óxido está associado a refratariedade em materiais cerâmicos [31]. Os óxidos cromóforos (Fe_2O_3 e TiO_2), são denominados como óxidos colorantes, e são responsáveis pela cor na produto cerâmico [32]. Esses óxidos apresentaram teores ~5%, e na massa cerâmica confere a cor avermelhada após queima [33].

A presença de teores dos óxidos alcalinos ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) e alcalinos terrosos ($\text{CaO}+\text{MgO}$), podem melhorar a qualidade da peça, sobretudo na resistência mecânica, já que são óxidos fundentes relacionados à vitrificação do material. Esses óxidos apresentaram teores <6% para as matérias-primas.

O gráfico da Figura 3 ilustra a distribuição do tamanho de partículas de STD, TFP e CP. Verifica-se que TFP vem a ser o material de granulometria mais fina, tendo em vista que cerca de 70% do material foi passante

Tabela 2: Formulações pelo delineamento de misturas.

FORM.	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
U (%)	22,5	23,4	16,8	22,9	19,7	20,1	21,0	20,7	22,1	18,9

Tabela 3: Caracterização química dos resíduos estudados.

ÓXIDOS	RESÍDUOS (%MASSA)	
	CP	TFP
SiO_2	63,06	61,54
Al_2O_3	25,80	24,60
TiO_2	0,47	0,49
Fe_2O_3	4,73	5,92
CaO	1,70	1,63
MgO	0,64	0,72
Na_2O	0,21	0,73
K_2O	2,36	2,85
MnO	0,02	0,03
Perda ao Fogo	0,51	0,74

em 325 mesh (0,045 mm) e todo material se torna passante a partir de 60 mesh (0,250 mm). Isso se dá ao fato da origem desse resíduo, que são os finos e ultrafinos do processo de tratamento do carvão.

Em contrapartida, a CP se mostrou como o material mais grosseiro, tendo o mesmo 70% de material passante apenas a partir de 18 mesh (1,0 mm). A procedência desse resíduo vem a contribuir pela maior granulometria, que são as cinzas pesadas da queima do carvão.

Por fim, STD, que é um *blend* de argilas, e que por definição é um composto de minerais, onde os argilo-minerais representam <2 µm e a fração >2 µm indicam sílica livre na forma de quartzo [34]. Vale destacar que para o ensaio de distribuição do tamanho de grãos de STD, o teste de peneiramento não é o mais indicado, pois os argilominerais se concentram em pequenos aglomerados que não desagregam durante o processo.

A caracterização físico-química dos resíduos (Tabela 4) mostra que CP é basicamente formado por cinzas, devido sua origem, após passar por um processo de combustão. Portanto, os demais parâmetros se mostram bastante reduzidos. Para TFP, o teor próximo a 70% de cinzas, está ligado ao tipo do carvão brasileiro, bem como demais os parâmetros [2]. Os materiais voláteis e carbono fixo desse resíduo (14,84 e 17,05% respectivamente), estão associados aos compostos que são eliminados durante a queima, e podem provocar porosidade na peça cerâmica, ocasionando perda de resistência bem como aumento da absorção de água. A umidade higroscópica e enxofre total, também tendem a ser eliminados na queima.

Para a análise de caracterização e classificação dos resíduos, efetuou-se num primeiro momento a avaliação na massa bruta, com ensaios de corrosividade (Tabela 5) e reatividade (Tabela 6) para CP e TFP. Esses resíduos são caracterizados como não corrosivo, pois apresentam pH de 8,66 (CP) e 7,65 (TFP) em sua mistura com água na proporção 1:1 em peso, não ultrapassando o limite estabelecido pelo item corrosividade da norma NBR 10004 [17]. Para a análise da reatividade, os resíduos são caracterizados como não reativo, pois não apresentam valores de ácido sulfídrico (H₂S) acima do estabelecido pelo item reatividade da norma NBR 10004 [17]. Portanto, esses resíduos são classificados como não perigoso nesses ensaios.

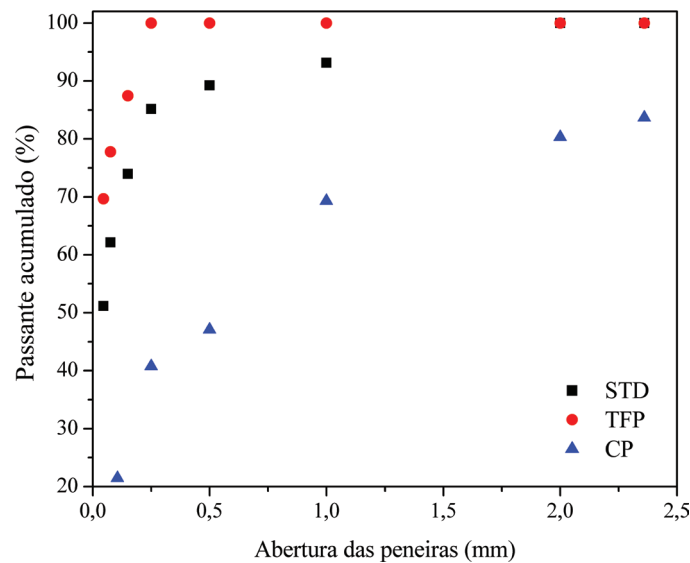


Figura 3: Representação gráfica do percentual passante das matérias-primas.

Tabela 4: Caracterização físico-química dos resíduos.

PARÂMETROS	RESÍDUOS (%)	
	CP	TFP
Umidade Higroscópica	0,57	1,35
Cinzas	96,04	68,11
Mat. Voláteis	0,88	14,84
Carbono Fixo	3,08	17,05
Enxofre Total	0,97	1,33

Posteriormente foi realizado teste de toxicidade, com ensaios de lixiviação e solubilização. No ensaio de lixiviação (Tabela 7), os parâmetros analisados no extrato obtido segundo a NBR 10005 [18], não apresentaram concentrações acima dos limites máximos permitidos conforme item referente a toxicidade, caracterizando os resíduos como não tóxicos. No ensaio de solubilização (Tabela 8), os parâmetros analisados no extrato obtido segundo a NBR 10006 [19], nenhuma concentração ficou superior ao padrão, caracterizando os resíduos como inertes e classificando-os como não perigosos (Classe II-B - inerte).

A análise das propriedades tecnológicas é apresentada na Tabela 9, onde é possível observar os resultados para retração térmica linear de secagem (*RTLs*), retração térmica linear de queima (*RTLq*), absorção de água (*A.A.*) e resistência mecânica à compressão (*R.M.*). Esses valores foram avaliados pela análise de variância - ANOVA (Tabela 10), e reproduzidas em superfície de respostas (Figura 4).

A Figura 4 mostram as superfícies resposta dos resultados de caracterização dos corpos de provas. A retração térmica linear de secagem (Figura 4a) pode-se controlar a dimensão final das peças cerâmica. De acordo com a literatura [35], no processo industrial a retração durante a secagem é considerada ótima entre 5 e 8% e aceitável de 3 a 10%. A análise de variância apontou fator p com confiabilidade de aproximadamente 95%, com um ajuste experimental aceitável ($R^2 = 0,87$) e maior significância estatística ($F = 6,33$) indicando o modelo quadrático para esse teste. As formulações que tiveram menor retração após secagem foram as composições que apresentaram boa distribuição de tamanho de partícula (mistura de mais grossas com mais finas), que proporcionaram um bom empacotamento na conformação, não influenciando muito na retração [36, 37].

Tabela 5: Análise de corrosividade dos resíduos.

PARÂMETRO	RESULTADO		VALOR RECOMENDADO	L.Q.
	CP	TFP		
pH em água (1:1)	8,66	7,65	2 a 12,4	0,10

L.Q.= Limite de quantificação.

Tabela 6: Análise de reatividade dos resíduos.

PARÂMETRO	RESULTADO (mg/kg)		LIMITE LIBERÁVEL POR kg DE RESÍDUO	L.Q.
	CP	TFP		
Ácido sulfídrico (H_2S)	9,6	N.D.	500 mg de H_2S	40, 0

L.Q.= Limite de quantificação.

N.D.= Não detectado.

Tabela 7: Resultados de lixiviação dos resíduos.

PARÂMETROS	RESÍDUOS (mg/L)		LIMITE MÁXIMO NO LIXIVIADO (mg/L)	L.Q.
	CP	TFP		
pH lixiviado	4,95	5,24	–	–
Chumbo	0,00	0,05	1,0	0,05
Bário	0,410	<0,005	5,0	0,1
Cádmio	0,00	0,29	70,0	0,01
Prata	0,00	N.D.	0,5	0,01
Arsênio	0,02	N.D.	5,0	0,01
Fluoreto	0,08	<0,001	1,0	0,1
Mercúrio	<0,001	<0,100	150	0,001
Selênio	<0,010	<0,001	0,1	0,001

L.Q.= Limite de quantificação.

N.D.= Não detectado.

Tabela 8: Resultados de solubilização dos resíduos.

PARÂMETROS	RESÍDUOS (mg/L)		LIMITE MÁXIMO NO SOLUBILIZADO (mg/L)	L.Q.
	CP	TFP		
pH solubilizado	4,95	7,32	–	–
Sulfatos	0,00	11,14	250	10,0
Cloretos	0,410	10,44	250	0,1
Fenol	0,00	0,00	0,01	0,01
Ferro Total	0,00	0,07	0,3	0,02
Manganês	0,02	0,00	0,1	0,01
Cobre	0,08	0,00	2,0	0,01
Zinco	<0,001	0,00	5,0	0,01
Alumínio	<0,010	0,00	0,2	0,1
Chumbo	–	0,00	0,01	0,001
Sódio	–	4,27	200	0,01
Cádmio	–	0,00	0,005	0,0001
Prata	–	0,00	0,05	0,01
Bário	–	<0,010	0,7	0,1
Arsênio	–	<0,01	0,01	0,001
Fluoreto	–	0,29	1,5	0,1
Merúrio	–	<0,001	0,001	0,001
Nitrogênio Nitrato	–	0,24	10,0	0,1
Selênio	–	<0,010	0,01	0,001

L.Q.= Limite de quantificação.

N.D.= Não detectado.

Tabela 9: Resultados obtidos para retração térmica linear de secagem (*RTLs*), retração térmica linear de queima (*RTLq*), absorção de água (*A.A.*) e resistência mecânica à compressão (*R.M_c*).

FORMUL.	<i>RTLs</i> (%)		<i>RTLq</i> (%)		<i>A.A.</i> (%)		<i>R.M_c</i> (MPa)	
F1	9,3	±0,7	1,0	±0,3	17,2	±0,3	36,3	±2,4
F2	9,6	±1,0	1,8	±0,5	23,3	±0,9	3,9	±0,7
F3	9,7	±0,3	1,8	±0,3	22,9	±0,6	12,9	±2,7
F4	6,2	±0,4	1,4	±0,1	20,3	±0,2	9,9	±1,3
F5	7,9	±0,7	2,2	±0,4	17,6	±0,3	23,9	±2,0
F6	5,1	±0,5	2,2	±0,1	22,3	±0,2	12,2	±2,6
F7	5,9	±0,6	1,9	±0,2	18,1	±0,2	13,9	±1,4
F8	7,0	±0,5	1,9	±0,2	17,8	±0,1	15,2	±4,1
F9	4,1	±0,6	2,3	±0,3	19,9	±0,1	10,0	±1,6
F10	5,4	±0,2	2,8	±0,1	20,1	±0,1	13,2	±0,6

A superfície de resposta da retração térmica linear de queima (Figura 4b), mostra, que as formulações que possuem resíduos incorporados, obtiveram maiores percentuais de retração de queima, em destaque para maior quantidade de TFP, que possui material volátil. Observaram-se na literatura, fenômenos similares com a utilização de resíduos de vidro [33, 38], resíduos vítreos oriundo da preparação de esmalte para revestimentos

Tabela 10: Análise de variância (ANOVA) para retração térmica linear de secagem (*RTLs*), retração térmica linear de queima (*RTLq*), absorção de água (*A.A.*) e resistência mecânica à compressão (*R.M.*)[‡].

(<i>RTLs</i>)	F	p	R ²
Linear	1,34351774	0,320756172	0,277385
Quadrático	6,32682187	0,0533954399	0,874221
Cúbico Especial	0,140963908	0,732299278	0,879866
Cúbico	0,806297899	0,618676882	0,954017
(<i>RTLq</i>)	F	p	R ²
Linear	2,654107	0,138727	0,431274
Quadrático	2,580485	0,191056	0,806250
Cúbico Especial	0,108822	0,763181	0,813032
Cúbico	0,086093	0,923638	0,840497
(<i>A.A.</i>)	F	p	R ²
Linear	9,86156836	0,0091989259	0,738054702
Quadrático	4,40686732	0,0929536134	0,939155368
Cúbico Especial	4,8866357	0,114040569	0,97685529
Cúbico	329,150578	0,0389455715	0,999964895
(<i>R.M.</i>)	F	p	R ²
Linear	11,8938348	0,005604337	0,77263625
Quadrático	3,26016231	0,141745113	0,934004146
Cúbico Especial	0,181221371	0,699019383	0,937763664
Cúbico	2,43237137	0,412929126	0,989388054

F = valor-F (significância estatística); p = valor-p (confiabilidade); R² = coeficiente de determinação (Ajuste).

[‡]São destacados os modelos estatisticamente significativos, com intervalo de confiança de 95%, isto é, valor de p < 0,05.

cerâmicos [39, 40] e rochas ornamentais [41, 42]. A análise de variância apontou fator p com confiabilidade de aproximadamente 80% e um ajuste experimental (R² = 0,80) indicando que o modelo quadrático é o mais indicado para esse teste. No processo de retração térmica linear de queima para produtos como tijolos e telhas são considerados valores ótimos acima de 1,5%, sendo aceitáveis de 1,5 a 3,0% [35], com base nisso, o uso da argila pura (STD), fica abaixo desse range.

A absorção de água (Figura 4c) é uma propriedade técnica de grande relevância em estudos de cerâmica vermelha, uma vez que esses produtos tem seu pior desempenho mecânico em contato com a água [43]. Para processamento cerâmico industrial, os valores de referência geralmente aceitos, no caso tijolo e telhas usam-se na absorção de água a variação ótima entre 12 e 24% e variação aceitável 10 e 30%, onde comparando com estas informações todas as formulações são consideradas aceitáveis [35]. Se compararmos com as normas brasileiras, a NBR 15270 [44], que representa blocos para alvenaria, apresenta que o índice de absorção de água não deve ser inferior a 8% nem superior a 25%, já para telhas cerâmica, a norma NBR 15310 [25], apresenta que os valores não devem exceder 20%, onde baseado nisso, as formulações com elevados teores de CP e TFP ficam acima do permitido, o que pode estar atribuído ao aumento de porosidade ocasionado, no caso da CP, pelos grãos maiores que dificultam o empacotamento durante a conformação, e para a TFP devido à grande presença de voláteis e outros materiais que ocasionam perda de massa durante a queima, deixando a porosidade. Resultados similares foram observados na literatura [45–47]. A análise de variância, para esse ensaio apontou fator p com confiabilidade superior a 95%, um ótimo ajuste experimental (R² = 0,99) e maior significância estatística (F = 329,15), indicando o modelo cúbico ideal para esse teste.

A resistência mecânica à compressão foi realizada para comparação entre os resultados, onde a superfície de resposta (Figura 4d) ilustra que o aumento de incorporação de resíduos diminui a resistência dos corpos de provas. Houve uma minimização maior da resistência com a adição da CP em relação a TFP. A análise de variância, para esse ensaio apontou fator p com confiabilidade superior a 95%, ajuste experimental (R² = 0,77) e maior significância estatística que indica o modelo linear para esse teste.

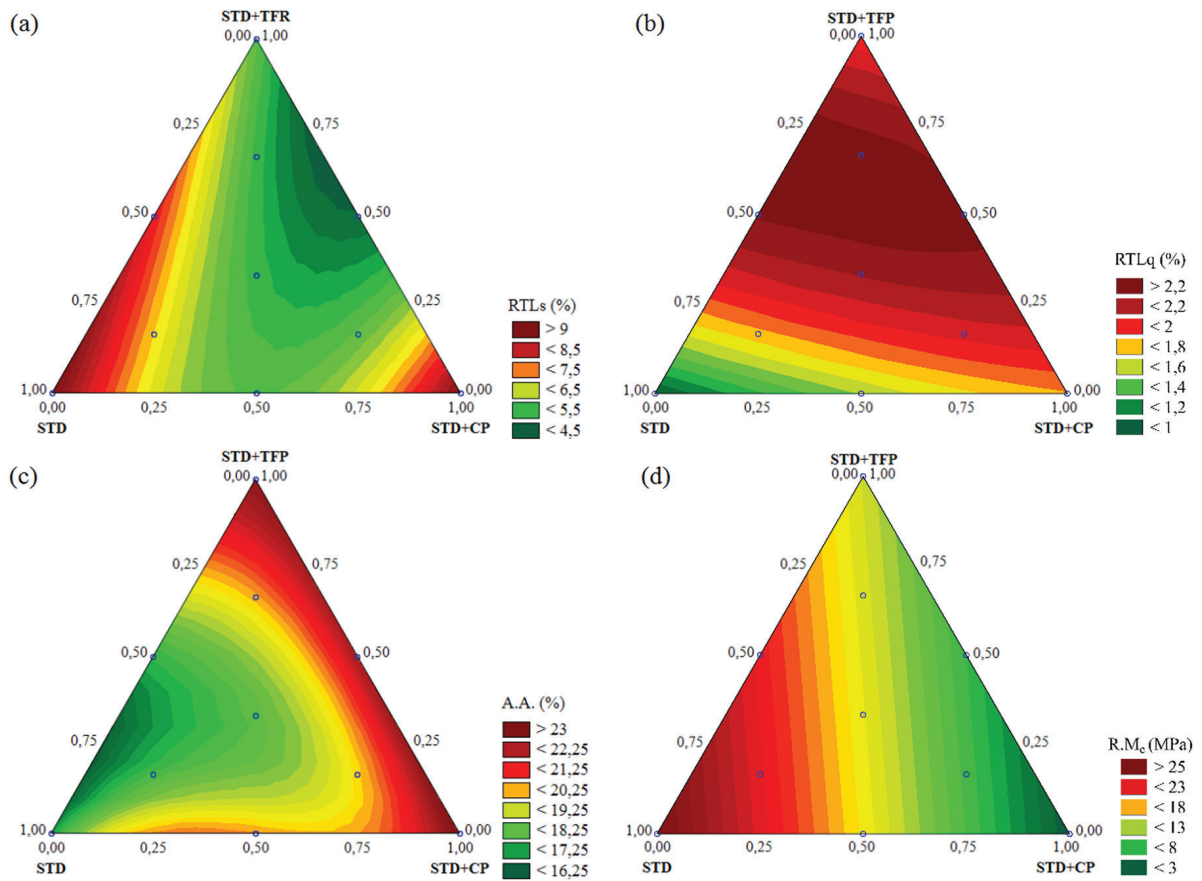


Figura 4: Superfície de respostas para (a) retração térmica linear de secagem (*RTLs*), (b) retração térmica linear de queima (*RTLq*), (c) absorção de água (*A.A.*), e (d) resistência mecânica à compressão (*R.M_c*).

As Equações 1, 2, 3 e 4, apresentam os ajustes para os modelos adotados para a retração térmica linear de secagem (*RTLs*), retração térmica linear de queima (*RTLq*), absorção de água (*A.A.*) e resistência mecânica à compressão (*R.M_c*), com os diferentes teores de matérias-primas base, *STD* (*x*), *STD + CP* (*y*) e *STD + TFP* (*z*).

$$RTLs = 9,06 * x + 5,54 * y + 5,73 * z - 6,16 * x * y + 1,07 * x * z - 4,33 * y * z \quad (1)$$

$$RTLq = 0,99 * x + 1,79 * y - 1,93 * z + 0,48 * x * y + 3,42 * x * z + 1,87 * y * z \quad (2)$$

$$A.A. = 17,18 * x + 23,31 * y + 22,84 * z + 0,13 * x * y - 9,81 * x * z - 3,22 * y * z - 42,80 * x * y * z + 16,83 * x * y * (y - x) - 6,93 * x * z * (x - z) \quad (3)$$

$$R.M_c = 29,38 * x + 2,15 * y + 13,84 * z \quad (4)$$

O ensaio de eflorescência buscou investigar a possível presença de manchas de sais solúveis no material cerâmico, oriundo dos resíduos utilizados, e por meio da análise visual (Figura 5), pode-se observar que não houve presença de sais, não ocasionando eflorescência.

Essa análise visual ainda pode mostrar o comportamento superficial das amostras. As formulações com maior presença de CP (F2, F4 e F9), apresentaram maior rugosidade na peça, muito provavelmente devido a maior granulometria desse resíduo, o que se estende inclusive ao interior dessas peças.

Para o ensaio de fitotoxicidade, pode-se inferir conforme a Tabela 11, evidências de que existem diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos tamanhos das raízes ($p < 0,001$), sobretudo para amostra de 5,0 g de material e para a amostra de 1,5 g de material, se comparadas as demais e a amostra de 1,0 g respectivamente. No entanto, vale ressaltar que essas diferenças nas médias do tamanho de raízes, não demonstram desfavorecer o seu crescimento, mesmo com o aumento da concentração de material por amostra. Assim, não foi possível observar diferenças relativas quanto a inibição ou ao não crescimento, atestando a não-toxicidade do material.



Figura 5: Análise visual das peças que comprovam o não aparecimento de eflorescência.



Figura 6: Teste de fitotoxicidade com *Allium cepa L* com as concentrações de 0 a 5 g de F7 adicionado às amostras.

Tabela 11: Comparação do tamanho das raízes (cm) entre as quantidades de material em amostra.

MATERIAL (g)	TAMANHO DA RAIZ (cm) MÉDIA ± DESVIO PADRÃO	VALOR-p [†]
0,0	3,52 ± 1,21 ^{a,c}	<0,001
1,0	3,79 ± 1,50 ^c	
1,5	3,24 ± 1,36 ^a	
3,0	3,36 ± 1,33 ^{a,c}	
3,5	2,82 ± 1,23 ^{a,c}	
5,0	3,69 ± 1,43 ^b	

[†]Valores obtidos após realização do teste H de *Kruskal-Wallis*.

^{a,b,c}Letras distintas significam diferença estatisticamente significativa, valores obtidos após realização do teste *post hoc* de Dunn.

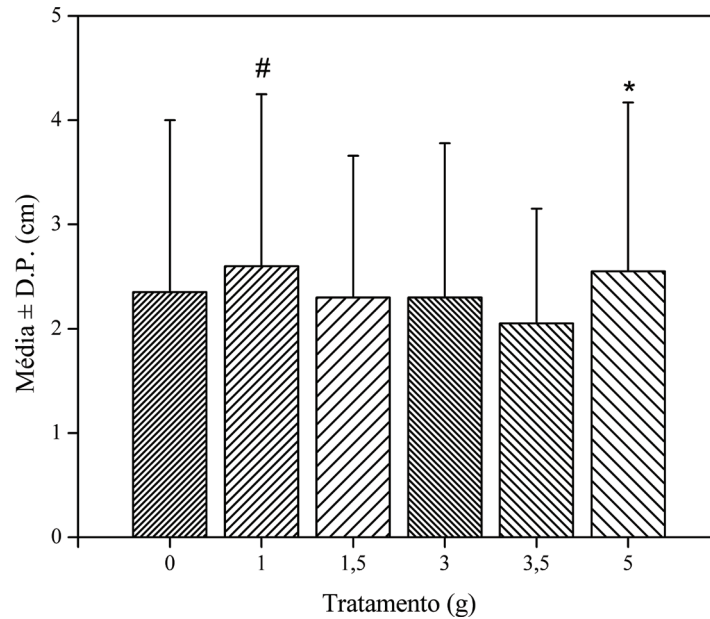


Figura 7: Comparação do tamanho das raízes (cm) entre as quantidades de material em amostra.

*Representa diferença estatisticamente significativa da média observada na amostra com 5,0 g de material quando comparado com os demais.

#Representa diferença estatisticamente significativa das médias observadas, exclusivamente, na amostra de 1,0 g de material quando comparado a amostra de 1,5 g de material.

Em comparação com os estudos que apresentam toxicidade expressiva, como por exemplo com o uso de pirita como material [29], níveis de concentração de 0,03 g, 0,05 g, 0,1 g, 0,15 g e 0,2 g, demonstraram prejudicar significativamente o crescimento das raízes. Foram apresentadas resultados de ausência de crescimento aparente das raízes com somente 0,2 g de material, se comparados a amostra padrão de 0 g [29]. Por fim, a síntese dos resultados obtidos está apresentada na Figura 6 e expressa graficamente na Figura 7.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, pode se afirmar que a incorporação desses resíduos apresentou resultados físico-mecânicos dos testes tecnológicos bastante interessantes, nos quais destaca-se a diminuição da retração linear de secagem, fenômeno físico que apresenta maior variação dimensional, na qual contraiu de ~9% para até 4,1% com adição de CP. Essa propriedade é extremamente importante para controlar dimensionalmente a peça cerâmica.

Além da secagem, na queima também ocorrem transformações físico-químicas que alteram a dimensão do material cerâmico. Observou-se que as formulações ficaram marginalmente em uma mesma média, onde não houve alterações significativas para essa análise.

O teste de absorção de água mostrou que os resíduos aumentaram a porosidade das provas, deixando algumas formulações próximas ao limite da norma (~23%). Pode-se associar essas porosidades com o comportamento mecânico das amostras, onde a adição dos resíduos diminuiu consideravelmente a resistência das amostras. Associa-se a CP a uma dificuldade de empacotamento durante a conformação devido sua granulometria, o que ocasiona certa porosidade. Já para TFP, a geração de poros está ligada a presença de materiais voláteis e desidratação. Sugere-se que processos mecânicos, como moer CP ou calcinar TFP antes de fazer as cerâmicas, obter-se-iam resultados mais promissores.

O ensaio fitotóxicológico mostrou, que para F7, usada como base para esse teste, não apresentou toxicidade, com o uso de *Allium cepa L.*, em diferentes concentrações. Esse teste comprova que o uso dos resíduos incorporados na massa cerâmica, não acarretará problemas ambientais. Os resíduos também foram caracterizados como Classe II-B - inerte. O ensaio de eflorescência não mostrou a presença de manchas oriundas de sais solúveis. Conclui-se com isso, que a aplicação desses resíduos, em teores de até 50% podem ser reproduzidos em uma escala industrial, pois não irão contribuir negativamente ao ambiente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, a CAPES, ao SINDICER de Morro da Fumaça e a todas as empresas/instituições que colaboraram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

O estudo foi apresentado na VIII Semana de Ciência e Tecnologia (2017) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC e premiado na modalidade Extensão da Unidade Acadêmica de Ciências, Engenharia e Tecnologia (UNACET).

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] GOULARTI FILHO, A., “A formação econômica de Santa Catarina”, *Ensaio FEE*, v. 23, n. 2, pp. 977–1007, 2002.
- [2] RESTREPO, Á., BAZZO, E., MIYAKE, R., “A life cycle assessment of the Brazilian coal used for electric power generation”, *Journal of Cleaner Production*, v. 92, pp. 179–186, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.065>
- [3] GALATTO, S.L., PETERSON, M., ALEXANDRE, N.Z., *et al.*, “Incorporação de resíduo do tratamento de drenagem ácida em massa de cerâmica vermelha”, *Cerâmica*, v. 55, n. 333, pp. 53–60, 2009. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132009000100007>
- [4] FERRONATO, N., TORRETTA, V., “Waste mismanagement in developing countries: a review of global issues”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, n. 6, pp. 1–28, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph16061060>. PMID:30909625.
- [5] SIQUEIRA, J.S., SOUZA, C.A.G., SOUZA, J.A.S., “Reaproveitamento de cinzas de carvão mineral na formulação de argamassas”, *Cerâmica*, v. 58, n. 346, pp. 275–279, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132012000200020>
- [6] ZANIN, T.L., KLITZKE, W., LUZ JUNIOR, L.F.L., “Estudo da influência da adição de cinzas de carvão mineral nas propriedades da cerâmica vermelha”, *Cerâmica*, v. 59, n. 350, pp. 231–234, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132013000200006>
- [7] ZACCARON, A., GALATTO, S.L., NANDI, V.S., *et al.*, “Incorporação de chamote na massa de cerâmica vermelha como valorização do resíduo”, *Cerâmica Industrial*, v. 19, n. 3, pp. 33–39, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2014.077>
- [8] ZACCARON, A., SOUZA NANDI, V., DAL BÓ, M., *et al.*, “Characterization and use of clays and argillites from the south of Santa Catarina State, Brazil, for the manufacture of clay ceramics”, *Clay Minerals*, v. 55, n. 2, pp. 172–183, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.1180/clm.2020.23>
- [9] LUCAS, D., BENATTI, C.T., “Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil”, *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 1, n. 3, pp. 405–418, 2008. doi: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2008v1n3p405-418>
- [10] ZHANG, L., “Production of bricks from waste materials: a review”, *Construction & Building Materials*, v. 47, pp. 643–655, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.043>
- [11] ZACCARON, A., NANDI, V.S., SILVA, D.B., *et al.*, “Estudo da utilização do resíduo proveniente do beneficiamento do carvão mineral como matéria-prima alternativa na fabricação de blocos de vedação”, *Cerâmica Industrial*, v. 20, n. 2, pp. 38–44, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2015.005>
- [12] TAHA, Y., BENZAAZOUA, M., HAKKOU, R., *et al.*, “Coal mine wastes recycling for coal recovery and eco-friendly bricks production”, *Minerals Engineering*, v. 107, pp. 123–138, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2016.09.001>
- [13] ABBAS, S., SALEEM, M.A., KAZMI, S.M.S., *et al.*, “Production of sustainable clay bricks using waste fly ash: mechanical and durability properties”, *Journal of Building Engineering*, v. 14, pp. 7–14, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.09.008>
- [14] LINGLING, X., WEI, G., TAO, W., *et al.*, “Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio”, *Construction & Building Materials*, v. 19, n. 3, pp. 243–247, 2005. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.05.017>
- [15] FUNGARO, D.A., DA SILVA, M.V., “Utilization of water treatment plant sludge and coal fly ash in brick manufacturing”, *American Journal of Environmental Protection*, v. 2, n. 2, pp. 83–88, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.12691/env-2-5-2>
- [16] SENADA FONSECA, B., GALHANO, C., SEIXAS, D., “Technical feasibility of reusing coal combustion by-products from a thermoelectric power plant in the manufacture of fired clay bricks”, *Applied Clay Science*, v. 104, pp. 189–195, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.11.030>
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação*, Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*, Rio de Janeiro, ABNT, 2004.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*, Rio de Janeiro, ABNT, 2004.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos*, Rio de Janeiro, ABNT, 2004.
- [21] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, *Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number SW-846*, Washington, DC, USA, USEPA, 1986.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 13809: Água - Tratamento Preliminar de Amostras Para Determinação de Metais - Método Da Espectrometria de absorção atômica/emissão em chama*, Rio de Janeiro, ABNT, 1997.
- [23] RIBEIRO, M.J., FERREIRA, A.A.L., LABRINCHA, J.A., “Aspectos fundamentais sobre a extrusão de massas de cerâmicas vermelhas”, *Cerâmica Industrial*, v. 8, n. 1, pp. 37–42, 2003.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 15270-2: Componentes Cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 2: Métodos de ensaio*, Rio de Janeiro, ABNT, 2017.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 15310: Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio*, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
- [26] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, *C 67-92a: Standard Test Methods for Sampling and Testing Bricks and Structural Clay Tile*, Philadelphia, ASTM, 1992.
- [27] FISKESJÖ, G., “The Allium test - an alternative in environmental studies: the relative toxicity of metal ions”, *Mutation Research. Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, v. 197, n. 2, pp. 243–260, 1988. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0027-5107\(88\)90096-6](http://dx.doi.org/10.1016/0027-5107(88)90096-6). PubMed PMID: 3340086.
- [28] GARRIDO, R.M., KOLB, R.M., “A busca por novos herbicidas para plantas daninhas resistentes”, *Aprendendo Ciência*, v. 9, pp. 47–49, 2020.
- [29] NUERNBERG, J.B., MADEIRA, K., ALANO, M.L., *et al.*, “Caracterização da pirita quanto a danos ambientais, utilizando parâmetros físico-químicos e bioensaio”, In: *XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, COBEQ IC*, pp. 5, São Carlos, Brasil, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.5151/chemeng-cobeqic2017-400>
- [30] VIEIRA, C.M.F., SALES, H.F., MONTEIRO, S.N., “Efeito da adição de argila fundente íltica em cerâmica vermelha de argilas caulínicas”, *Cerâmica*, v. 50, n. 315, pp. 239–246, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132004000300011>
- [31] COMIN, A.B., ZACCARON, A., NANDI, V.S., *et al.*, “Characterization and use of clays from the Rio Bonito Formation/Paraná Basin for ceramic industry application”, *International Journal of Applied Ceramic Technology*, v. 18, n. 5, pp. 1814–1824, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/ijac.13749>
- [32] GALES, D.F., NETO, C.L., MELCHIADES, F.G., *et al.*, “Caracterização das principais argilas utilizadas em engobes para revestimento cerâmicos”, *Cerâmica Industrial*, v. 10, n. 3, pp. 7–12, 2005.
- [33] NANDI, V.S., ZACCARON, A., FERNANDES, P., *et al.*, “Adição de vidro reciclado de lâmpadas na fabricação de cerâmica vermelha”, *Cerâmica Industrial*, v. 19, n. 5, pp. 29–32, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2014.089>
- [34] VIEIRA, C.M.F., TERRONES, L.A., SÁNCHEZ, R., *et al.*, “Características e efeito da fração granulométrica <2 µm no comportamento de queima de uma argila”, *Cerâmica*, v. 53, n. 327, pp. 249–254, 2007. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132007000300006>
- [35] DONDI, M., “Caracterização tecnológica dos materiais argilosos: métodos experimentais e interpretação dos dados”, *Cerâmica Industrial*, v. 11, n. 3, pp. 36–40, 2006.
- [36] CROZETTA, J.R., NANDI, V.S., ROSSO, F., *et al.*, “Influência de tamanhos de partículas na plasticidade e retração de secagem das argilas”, *Cerâmica Industrial*, v. 21, n. 1, pp. 21–29, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2016.002>
- [37] PETERSON, M., NANDI, V.S., ZACCARON, A., *et al.*, “Estudo da incorporação de cinza proveniente da queima de lenha de eucalipto na formulação de massa de uma indústria cerâmica estrutural do sul- Catarinense”, *Revista Unifebe*, v. 1, n. 15, pp. 9–18, 2015.
- [38] ZACCARON, A., BERNARDIN, A.M., ROSSO, F., *et al.*, “Utilização de vidro de garrafas para redução da absorção de água em produtos de cerâmica vermelha”, *Cerâmica Industrial*, v. 21, n. 5-6, pp. 35–39, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2016.035>

- [39] INOCENTE, J.M., SOUZA NANDI, V., ROSSO, F., *et al.*, “Estudo de recuperação de resíduos vítreos na formulação de cerâmica vermelha”, *Cerâmica Industrial*, v. 23, n. 3, pp. 34-39, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2018.004>
- [40] INOCENTE, J.M., NANDI, V.S., ROSSO, F., *et al.*, “Study for vitreous waste recovery in the formulation of heavy clay ceramics”, *Material Science & Engineering International Journal*, v. 1, n. 2, pp. 56–60, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.15406/mseij.2017.01.00010>
- [41] TAGUCHI, S.P., SANTOS, J.C., GOMES, T.M., *et al.*, “Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado”, *Cerâmica*, v. 60, n. 354, pp. 291–296, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132014000200020>
- [42] MOREIRA, J.M.S., MANHÃES, J.P.V.T., HOLANDA, J.N.F., “Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha”, *Cerâmica*, v. 51, n. 319, pp. 180–186, 2005. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132005000300002>
- [43] ZACCARON, A., GALATTO, S.L., NANDI, V.S., *et al.*, “Avaliação da resistência mecânica e absorção de água em cerâmica vermelha com incorporação de chamote”, *Scientia Plena*, v. 14, n. 2, pp. 029901, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2018.029901>
- [44] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 15270-1: Componentes Cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Parte 1: Requisitos*, Rio de Janeiro, ABNT, 2017.
- [45] MEDEIROS, E.N.M., SPOSTO, R.M., NEVES, G.A., *et al.*, “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*, v. 56, n. 340, pp. 399–404, 2010. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132010000400014>
- [46] WEIZENMANN, M., BRUXEL, F.R., SANTANA, E.R.R., *et al.*, “Avaliação da incorporação de resíduo de gemas na massa cerâmica vermelha - um estudo de caso”, *Cerâmica*, v. 59, n. 351, pp. 442–447, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132013000300014>
- [47] BRUXEL, F.R., OLIVEIRA, E.C., STULP, S., *et al.*, “Estudo da adição de resíduo (lodo) de gemas na massa cerâmica vermelha”, *Cerâmica*, v. 58, n. 346, pp. 211–215, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132012000200011>