

EXTRUSÃO DE MASSA CERÂMICA ARGILOSA COM A ADIÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Marcelo Santos Neves ⁽¹⁾ (marcelosneves@outlook.com), Lucinéa Bayer Poton Moscon ⁽¹⁾ (lpoton@hotmail.com), Alessandra Savazzini dos Reis ⁽¹⁾ (alessandrar@ifes.edu.br), Elvis Pantaleão Ferreira⁽²⁾ (elvispf@ifes.edu.br), Viviana Possamai Della Sagrillo ⁽¹⁾ (viviana@ifes.edu.br)

⁽¹⁾ Instituto Federal do Espírito Santo (IFES); Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais

⁽²⁾ Instituto Federal do Espírito Santo (IFES); Laboratório de Tecnologia em Cerâmica

RESUMO: Para tornar a água potável para a população são utilizadas estações de tratamento de água (ETAs), as quais geram como resíduo o lodo de ETA. A incorporação deste resíduo em massa cerâmica vem sendo uma alternativa sustentável para mitigar os efeitos negativos causados ao meio ambiente, já que muitas vezes o descarte do lodo de ETA é feito de forma inadequada. Considerando este fato, o presente estudo buscou incorporar lodo de ETA em massa cerâmica argilosa para a fabricação de cerâmica vermelha. A princípio, as matérias-primas foram caracterizadas por meio de fluorescência de raios-X, difração de raios-X e análise termogravimétrica. Em seguida, foram incorporados na massa argilosa teores de 5, 10 e 15% de lodo de ETA e conformados corpos de prova por extrusão. Os corpos de prova foram queimados à 850 e 950°C por 180 minutos, com taxa de aquecimento de 2°C/min e submetidos à caracterização através da retração linear de queima, massa específica aparente, porosidade aparente, absorção de água, perda ao fogo e tensão de ruptura à flexão. Os resultados mostraram que é possível incorporar até 10% de lodo de ETA em substituição parcial da argila.

PALAVRAS-CHAVE: CERÂMICA, RESÍDUOS, LODO DE ETA.

OBTENTION OF CLAYEY CERAMIC MASS WITH THE ADDITION OF WATER TREATMENT SLUDGE

ABSTRACT: To make potable water for the population, water treatment plants are used, which generate water treatment sludge as waste. The incorporation of this residue in ceramic mass has been a sustainable alternative to mitigate the negative effects caused to the environment. This is because sludge disposal is often done improperly. The present study incorporated water treatment sludge in clayey ceramic mass for the manufacture of red ceramics. The raw materials were characterized by X-ray fluorescence spectroscopy, X-ray diffraction and thermogravimetric analysis. Then specimens with 5, 10 and 15% sludge contents were extruded. The specimens were fired at 850 and 950°C for 180 minutes, with heating rate 2°C/min, and it were characterized by firing shrinkage, water absorption, open porosity, apparent density, mass loss on ignition and flexural strength after firing. The results showed that it is possible to incorporate up to 10% of water treatment sludge in partial replacement of clay.

KEYWORDS: CERAMIC, WASTE, WATER TREATMENT SLUDGE.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial e, quando destinada ao consumo humano, é necessário que haja um tratamento para garantir que sua qualidade não ofereça riscos à saúde (Braga *et al.*, 2021). Diante disso, as estações de tratamento de água (ETAs), a partir de processos físicos, químicos e biológicos, promovem a potabilidade da água (Libânio, 2016).

Dentre os métodos de tratamento utilizados nas ETAs, podem ser citados a coagulação, floculação, flotação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. No início do processo são utilizados agentes coagulantes e floculantes para que ocorra a decantação ou, em alguns casos, a flotação, que remove os sólidos suspensos na água. Em seguida, ocorre a filtração, que promove a remoção das partículas remanescentes. Posteriormente há a desinfecção para a eliminação de microrganismos patógenos, além da fluoretação para auxiliar na prevenção de cárie dentária na população (Richter, 2009).

Devido às reações dos produtos químicos utilizados nas etapas de decantação e floculação para a remoção de impurezas orgânicas e inorgânicas presentes na água, no processo de tratamento de água é gerado como resíduo o lodo de ETA (Ferreira Filho, 2017).

O lodo de ETA é classificado pela norma ABNT NBR 10004:2004 como resíduo sólido Classe IIA, sendo não perigoso e não inerte (Morselli *et al.*, 2022). Portanto, este resíduo deve seguir as legislações ambientais vigentes e ser disposto de forma adequada. No entanto, grande parte das ETAs brasileiras fazem o descarte inadequado em corpos d'água por envolver um menor custo (Richter, 2009).

Neste contexto, o lodo de ETA pode ser utilizado como matéria-prima alternativa para a fabricação de cerâmica vermelha, fazendo com que este resíduo possua grau de valorização na indústria (Lima *et al.*, 2021). Isso se torna viável devido à capacidade que a cerâmica vermelha possui de incorporar diversos tipos de resíduos sólidos, como os do processo de lapidação de vidros planos sodo-cálcicos (Rodrigues, 2017) e do beneficiamento de rochas ornamentais (Lougon, 2018).

A adição do lodo de ETA em massa cerâmica promove uma alternativa sustentável, que pode mitigar os impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados no tratamento da água, bem como reduzir os custos com a disposição destes em aterros. Além disso, estudos apontam que a composição química do lodo de ETA é predominante de óxidos de silício, alumínio e ferro, sendo similar à da argila, que é a principal matéria-prima utilizada na indústria de cerâmica vermelha. Tal fato corrobora a viabilidade de incorporação do lodo de ETA nas formulações cerâmicas (Silva e Maciel, 2019).

Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da incorporação do lodo de ETA em massa argilosa para a fabricação de cerâmica vermelha usando extrusão, bem como determinar os teores deste resíduo em massa cerâmica argilosa que viabilizam sua utilização na indústria.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção e caracterização das matérias-primas

O lodo de ETA foi doado pela Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN), enquanto a argila foi extraída de uma jazida situada no município de Nova Venécia-ES. Para a caracterização, parte das matérias-primas foram secas em estufa à $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24h e, em seguida, foram destinadas aos ensaios de caracterização.

A caracterização química foi realizada por meio de fluorescência de raios-X (FRX), realizada em espectrômetro da marca PANalytical, modelo AxiosMax, com tubo de 4 kW e alvo de ródio.

A caracterização mineralógica foi realizada por meio de difração de raios-X (DRX), realizada em difratômetro Brucker, modelo D8, com radiação Cu-K α e intervalo de varredura de 4 a 72° (2θ). As fases cristalinas presentes foram identificadas com o software DIFFRACPLUS®, utilizando os padrões da base de dados do Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS).

O comportamento térmico do lodo de ETA foi feito por análise termogravimétrica (TG/DTG), no equipamento BP Engenharia, modelo RB 3000, em atmosfera oxidante, com taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 10 mg de amostra e faixa de temperatura entre 20 e 1200°C .

2.2 Preparação das formulações e conformação dos corpos de prova

Foram selecionadas formulações com base no estudo realizado por da Silva e Maciel (2019). Diante disso, a quantidade de lodo de ETA incorporado na massa argilosa foi limitada em até 15%. Foi preparada também, para controle e validação dos dados, uma formulação de referência (A0), contendo somente argila. A Tabela 1 indica o teor em massa (%) das matérias-primas que foram utilizadas para compor as formulações, além da nomenclatura utilizada para cada uma delas.

TABELA 1. Composição das formulações (% em massa).

| Formulação | Argila (%) | LETA (%) |
|------------|------------|----------|
| A0 | 100 | 0 |
| L1 | 95 | 5 |
| L2 | 90 | 10 |
| L3 | 85 | 15 |

Fonte: Autores (2022).

À princípio, as matérias-primas foram secas em estufa à $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante o período de 24h. Posteriormente, foram desaglomeradas em moinho de bolas Marconi durante 20 minutos, e passadas em peneira ABNT nº 60 com abertura de malha de 0,250 mm.

Em seguida, as misturas foram homogeneizadas a seco, umedecidas em 25% (em massa) de água e acondicionadas em sacos plásticos por um período mínimo de 24h. A conformação dos corpos de prova (cps) foi realizada a partir de uma extrusora da marca Verdés (modelo BR 051). As massas foram impulsionadas através de rosca sem fim para dentro da câmara de vácuo (25 Kgf/cm^2), sendo forçadas a sair pela matriz rígida. Foram conformados 60 cps com dimensões de 95 mm x 30 mm x 15 mm para cada formulação.

Todos os cps foram secos em uma estufa à $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante o período de 24h. Em seguida, os cps foram organizados de modo que 20 cps de cada formulação fossem queimados à 850°C , 20 cps de cada formulação fossem queimados à 950°C e outros 20 cps de cada formulação não fossem queimados. A queima foi realizada em forno laboratorial tipo mufla, com taxa de aquecimento de 2°C/min e patamar de 180 min. Após a queima, os cps foram resfriados por convecção natural dentro do forno até a temperatura ambiente.

2.3 Caracterização dos corpos de prova

A caracterização dos cps foi feita por meio da retração linear de queima, massa específica aparente, porosidade aparente, absorção de água, perda ao fogo e tensão de ruptura à flexão, de acordo com a metodologia proposta por Santos (1989).

A retração linear de queima (RLQ) foi calculada a partir das dimensões dos cps após secagem a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (L_s) e após queima (L_q), de acordo com a Equação 1.

$$RLQ(\%) = \frac{L_s - L_q}{L_s} \times 100 \quad (1)$$

A massa específica aparente (MEA) foi calculada a partir da massa dos cps após queima (m_q), massa úmida (m_u) e massa imersa (m_i), conforme Equação 2.

$$MEA(g/cm^3) = \frac{m_q}{m_u - m_i} \quad (2)$$

A porosidade aparente (PA) foi obtida a partir da Equação 3, utilizando a massa dos cps após a queima (m_q) e massa úmida (m_u), bem como a massa imersa (m_i) dos cps. Uma balança hidrostática foi utilizada para determinar a m_i , colocando os cps suspensos por um fio preso à balança enquanto estava imerso em água.

$$PA(%) = \frac{mu - mq}{mu - mi} \times 100 \quad (3)$$

O cálculo da absorção de água (AA) foi realizado considerando a Equação 4. À princípio, os cps queimados foram secos em estufa à $110 \pm 5^\circ\text{C}$ para retirar qualquer umidade remanescente e, em seguida, pesados para obtenção da massa dos cps após queima (mq). Logo após os cps foram imersos em água durante 24h. Posteriormente, o excesso de água foi removido com um pano úmido e os cps saturados com água foram pesados novamente para determinar a massa úmida (mu).

$$AA(%) = \frac{mu - mq}{mq} \times 100 \quad (4)$$

Para calcular a perda ao fogo (PF) os cps foram pesados após secagem (ms) em estufa à temperatura de $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ e após a queima (mq). O percentual de PF determina a perda de massa que ocorre no processo de queima, e pode ser determinado pela Equação 5.

$$PF(%) = \frac{ms - mq}{ms} \times 100 \quad (5)$$

A resistência mecânica dos cps foi determinada por meio do ensaio de tensão de ruptura à flexão (TRF) em três pontos, que consiste em colocar as extremidades do cp em uma base e, por meio de um cutelo, impor uma carga progressiva no centro do cp até que a carga atuante cause a ruptura. A distância entre os apoios foi estabelecida em 70 mm. O cálculo da tensão de ruptura à flexão (Equação 6) considera σ = tensão de ruptura à flexão (MPa); P = carga na ruptura (N); L = distância entre os apoios (mm); b = largura do corpo de prova (mm) e h = espessura do corpo de prova (mm).

$$\sigma = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (6)$$

3. RESULTADOS

3.1 Caracterização das matérias-primas

Para a argila, identificou-se uma perda ao fogo (PF) de 8,76%, característica de argilas cauliníticas que, em geral, apresentam valores entre 6,0% e 15,7% (Santos, 1989). A PF do lodo de ETA foi de 22,43%, consideravelmente superior à da argila, possivelmente devido à matéria orgânica presente nesse tipo de resíduo, que volatiliza durante o processo de queima (Caillahua e Moura, 2018).

Na Tabela 2 é apresentada a caracterização química das matérias-primas utilizadas neste estudo. Observa-se que as matérias-primas são constituídas de forma predominante por SiO_2 e Al_2O_3 . Verifica-se baixas concentrações de CaO e MgO , que atuam como fundentes nas massas cerâmicas, diminuindo a temperatura de queima.

TABELA 2. Composição química das matérias-primas (%).

| Componentes (%) | Argila | Lodo de ETA |
|--------------------------|--------|-------------|
| SiO_2 | 55,61 | 29,16 |
| Al_2O_3 | 24,89 | 32,62 |
| Fe_2O_3 | 5,97 | 12,67 |
| Na_2O | 0,42 | 0,13 |
| CaO | 0,15 | 0,32 |
| MgO | 0,62 | 0,36 |
| K_2O | 2,33 | 0,24 |
| TiO_2 | 1,1 | 1,6 |
| P_2O_5 | 0,12 | 0,37 |
| MnO | <0,05 | <0,05 |
| SrO | - | <0,05 |
| ZnO | - | <0,05 |
| ZrO_2/Hf | - | <0,05 |

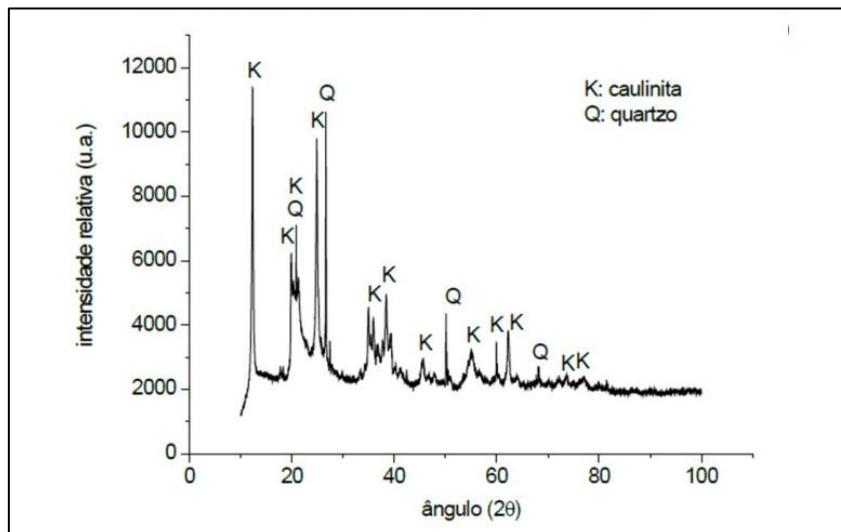
Fonte: Autores (2023).

Considerando a análise química da argila, a relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ da caulinita teórica é de 1,18 (Vieira e Pinheiro, 2011), apesar disso, verifica-se que a relação encontrada na argila é de 2,23, o que indica que há SiO_2 em excesso, provavelmente em forma de quartzo, considerada, nesse caso, uma impureza na argila.

Presença significativa de Fe_2O_3 foi encontrada no resíduo, óxido que confere a cor avermelhada da cerâmica vermelha após a queima. Isso pode ser atribuído à composição química dos sólidos presentes na água bruta e, também, aos agentes coagulantes utilizados no tratamento da água.

No que diz respeito à caracterização mineralógica da argila, verifica-se a presença majoritária de caulinita, corroborando ao fato que a argila utilizada neste estudo é do tipo caulinítica. A grande quantidade de SiO_2 constatada na análise química é justificada pela presença de quartzo na análise mineralógica da argila, conforme ilustra o difratograma de raios-X apresentado na Figura 1.

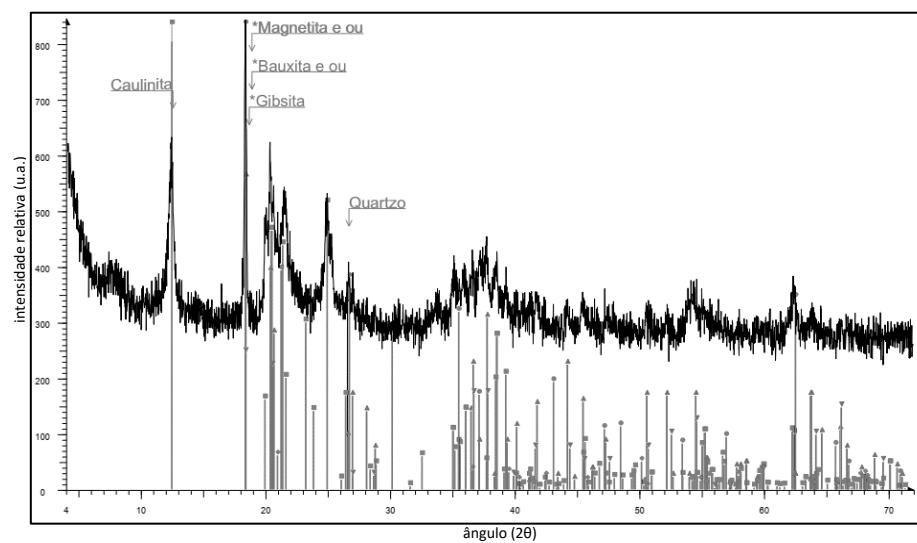
FIGURA 1. Difratograma de raios-X da argila.



Fonte: Autores (2023).

Comportamento similar pode ser verificado na caracterização mineralógica do lodo de ETA (Figura 2). Também é observada a presença de caulinita de forma predominante, no entanto, com quantidades menos expressivas de quartzo. Há indícios da presença de magnetita, bauxita e gibsite. Tal fato possivelmente está atrelado ao elevado teor de Al_2O_3 (alumina) no resíduo estudado, proveniente dos agentes químicos utilizados no tratamento da água, bem como das características da água bruta (Libânio, 2016).

FIGURA 2. Difratograma de raios-X do lodo de ETA.

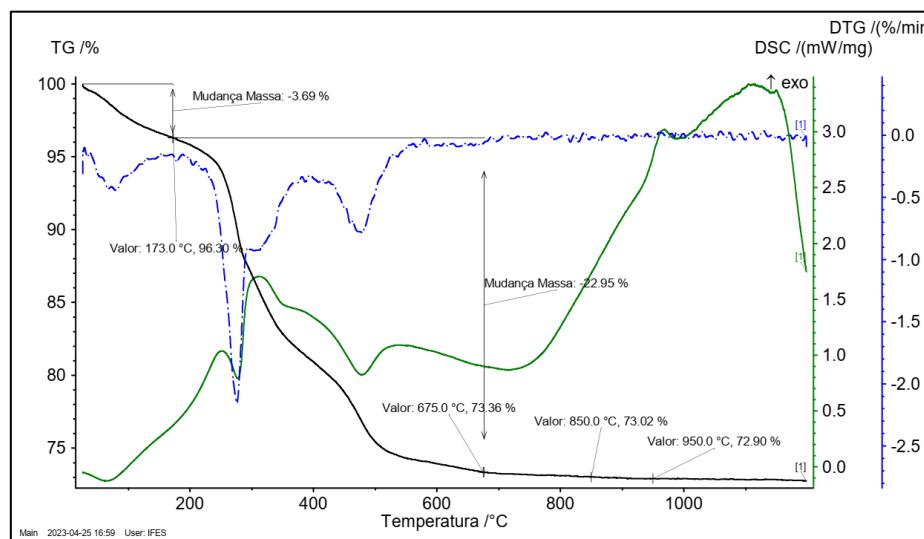


Fonte: Autores (2023).

A Figura 3 apresenta a análise termogravimétrica do lodo de ETA, por meio de TG/DTG, que ilustra eventos associados à perda de massa durante o aquecimento no intervalo de 20°C a 1200°C. Na temperatura de 173°C é possível constatar uma perda de massa de aproximadamente 3,69%,

devido à eliminação de água presente no resíduo. Entre 173°C e 675°C existe uma perda de massa de aproximadamente 22,95%, associada à decomposição da matéria orgânica. Após essa faixa de temperatura, não há uma perda de massa significativa e, possivelmente, ocorre devido à decomposição da caulinita no resíduo. A análise térmica reforça os resultados de PF do resíduo, obtidos na caracterização química.

FIGURA 3. Curvas TG/DTG do lodo de ETA.

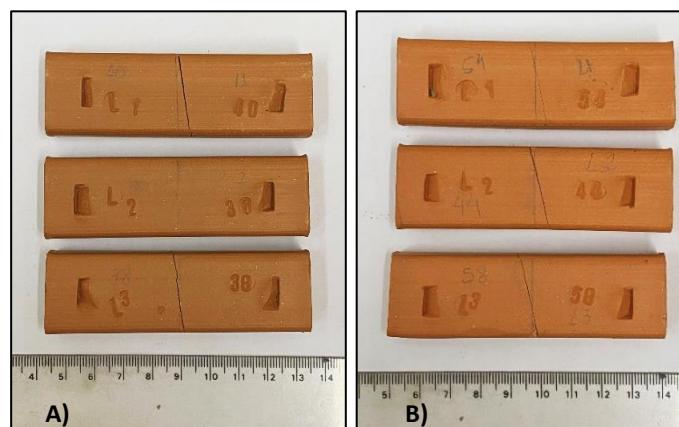


Fonte: Autores (2023).

3.2 Caracterização dos corpos de prova

A Figura 4 apresenta os corpos de prova (cps) utilizados nos ensaios físicos e mecânico, onde é possível observar que os cps queimados na temperatura de 950°C (B) obtiveram coloração um pouco mais avermelhada do que os cps queimados à 850°C (A).

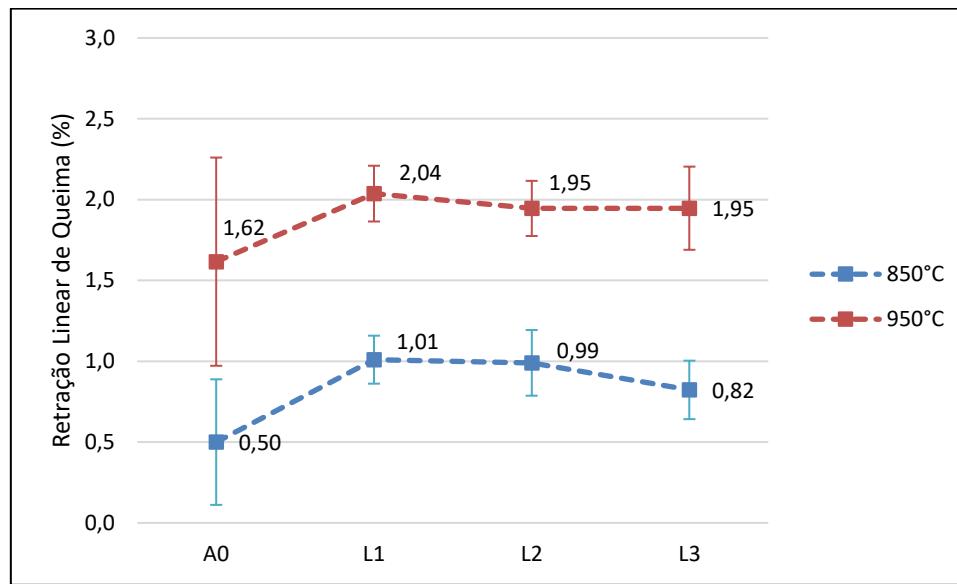
FIGURA 4. Corpos de prova conformados por extrusão.



Fonte: Autores (2023).

A retração linear de queima (RLQ) é um indicativo da efetividade do processo de sinterização, demonstrando o comportamento de densificação das partículas. As formulações L1, L2 e L3 apresentaram maior RLQ em relação aos cps conformados somente com argila (A0), considerando as duas temperaturas de queima. Apesar disso, salienta-se que os maiores valores de RLQ foram identificados nos cps submetidos à queima em 950°C, com destaque para as formulações com resíduos (Figura 5).

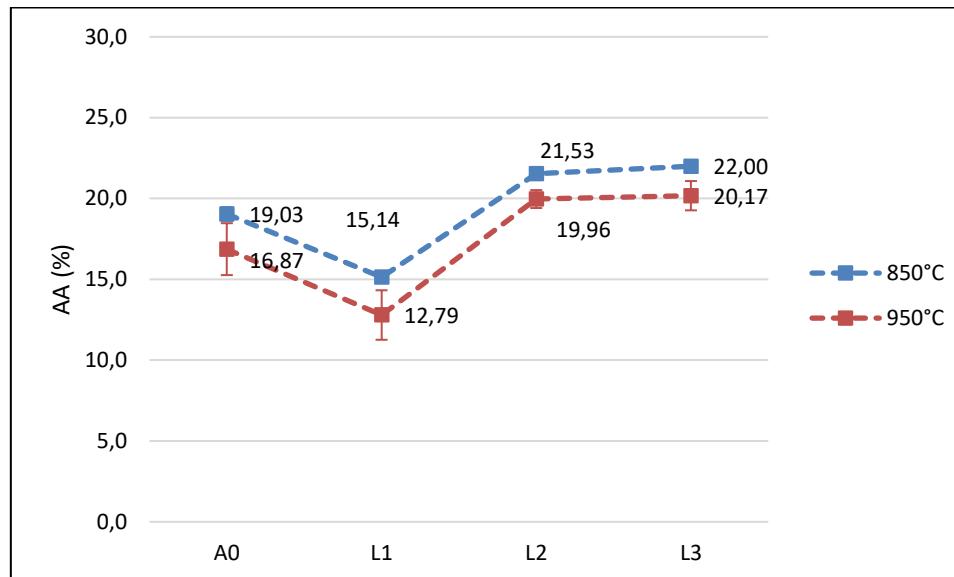
FIGURA 5. Retração linear de queima das formulações testadas.



Fonte: Autores (2023).

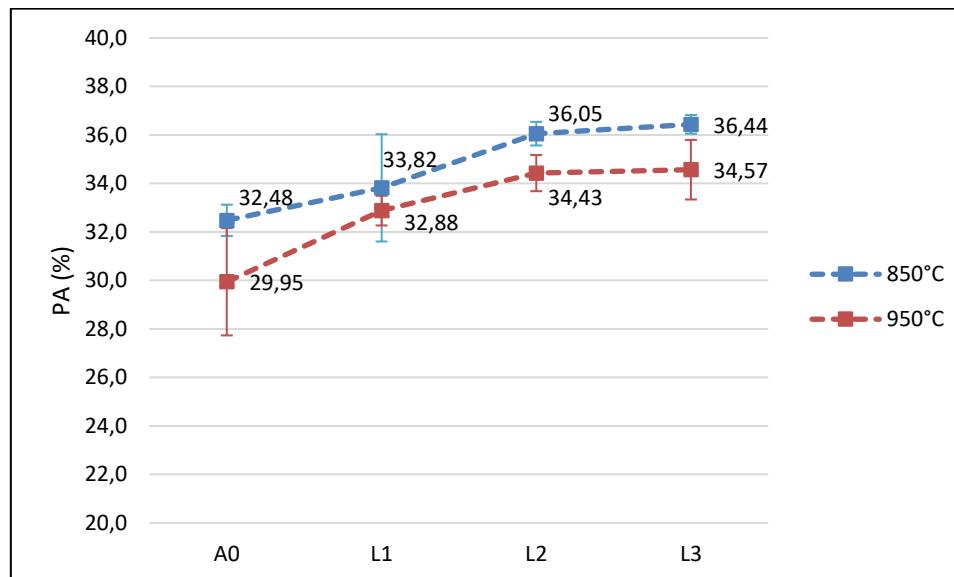
A RLQ tende a reduzir a absorção de água (AA) e a porosidade aparente (PA). Observa-se que, para a formulação L1, houve uma redução na AA em relação à formulação de referência (A0), enquanto a PA foi próxima à A0, considerando o desvio padrão. É possível identificar um aumento na PA à medida em que o resíduo foi incorporado à massa cerâmica. Ressalta-se que todos os cps queimados a 950°C obtiveram resultados inferiores de AA e PA em relação à queima em 850°C, indicando que a temperatura de queima de 950°C foi mais eficiente para os parâmetros citados (Figura 6 e Figura 7).

FIGURA 6. Absorção de água em função das formulações após a queima.



Fonte: Autores (2023).

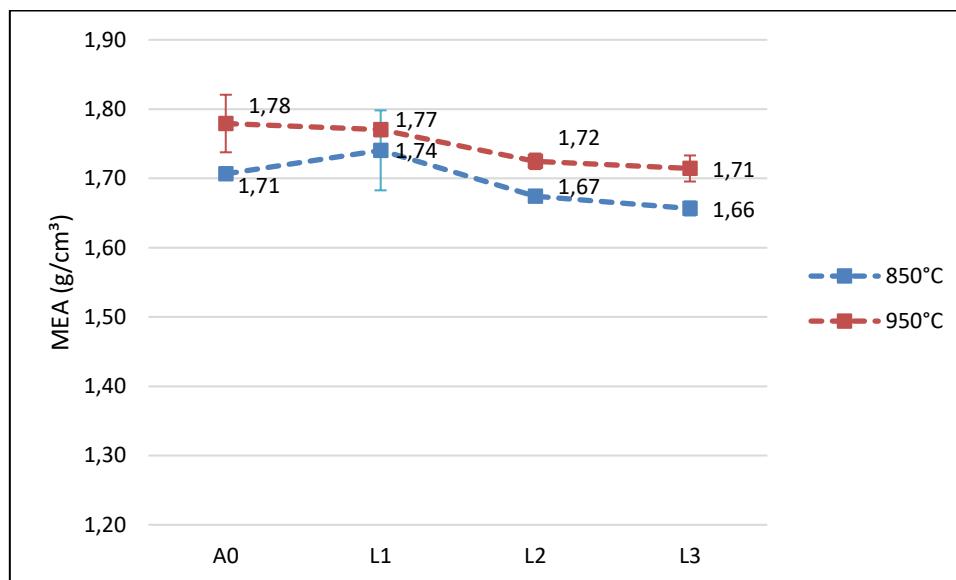
FIGURA 7. Porosidade aparente em função das formulações após a queima.



Fonte: Autores (2023).

A adição do lodo de ETA à argila não influenciou de forma considerável na variação dos resultados de massa específica aparente (MEA) entre as formulações A0 e L1 queimadas à 950°C. Sendo assim, os resultados de AA e PA são coerentes, uma vez que os mesmos demonstraram maior densificação dos cps em relação às formulações L2 e L3. Além disso, pode-se afirmar que a MEA dos cps queimados à 950°C foi superior aos queimados à 850°C (Figura 8).

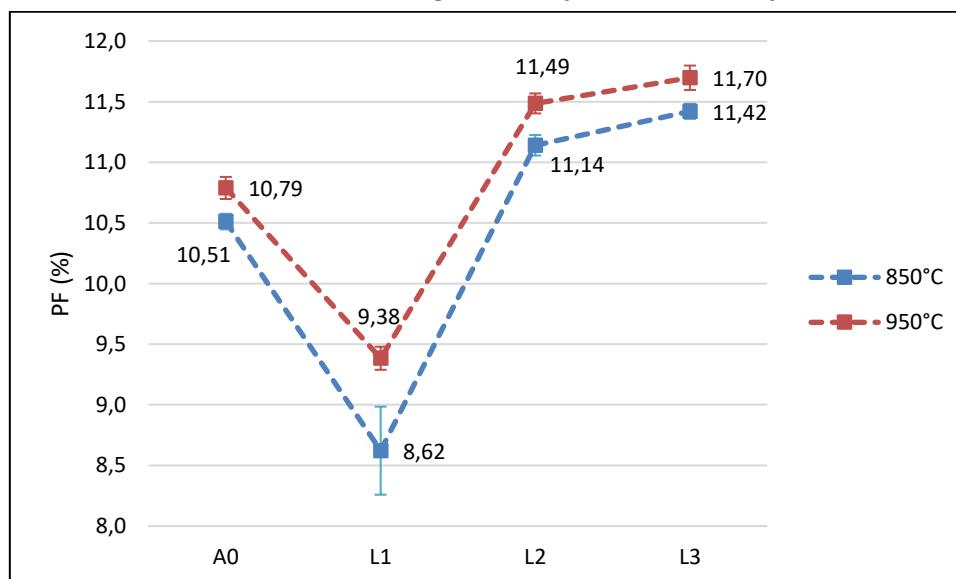
FIGURA 8. Massa específica aparente em função das formulações após a queima.



Fonte: Autores (2023).

Para perda ao fogo (PF), verifica-se que grande parte dos cps queimados apresentou resultados bem próximos, variando entre 10,51% e 11,70%. Esses valores se devem, possivelmente, à diminuição dos teores de matéria-orgânica presentes na argila e lodo de ETA durante a queima. No entanto, considerando as temperaturas de queima, para a formulação L1 é possível observar resultados de PF inferiores aos resultados das demais formulações, conforme é apresentado na Figura 9.

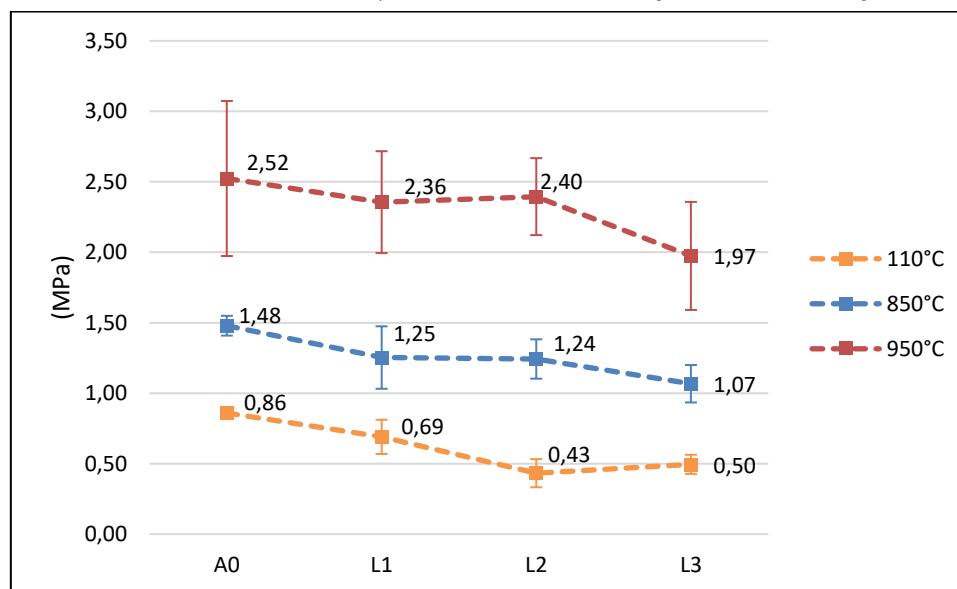
FIGURA 9. Perda ao fogo em função das formulações.



Fonte: Autores (2023).

Mediante aos ensaios de tensão de ruptura à flexão (TRF), percebe-se que as temperaturas influenciaram na resistência mecânica dos cps, uma vez que os resultados atribuídos à queima em 950°C foram superiores aos da queima em 850°C (Figura 10). A incorporação do lodo de ETA em L1 e L2 não interferiu de forma significativa na resistência mecânica dos cps queimados à 950°C, uma vez que os resultados foram similares à formulação de referência (A0). No que diz respeito à formulação L3, é esperada redução na resistência mecânica dos cps com maior quantidade desse resíduo, uma vez que há o aumento da porosidade em decorrência da perda ao fogo.

FIGURA 10. Tensão de ruptura à flexão em função das formulações.



Fonte: Autores (2023).

De acordo com as recomendações de Santos (1989), para que a massa cerâmica possa ser utilizada na fabricação de tijolos de alvenaria, o limite mínimo da tensão de ruptura à flexão após a queima é de 2,0 MPa e, portanto, as formulações A0, L1 e L2, quando queimadas à 950°C, atendem ao padrão especificado.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que é possível incorporar o lodo de ETA como matéria-prima alternativa na fabricação de cerâmica vermelha. Do ponto de vista químico, o lodo de ETA possui predominantemente SiO_2 e Al_2O_3 , além de possuir caulinita e quartzo em sua composição mineralógica, características que são similares às da argila.

Os melhores resultados foram identificados para os corpos de prova queimados à 950°C. A incorporação de 5% de lodo de ETA na massa argilosa reduziu a absorção de água, com valores de porosidade aparente próximos aos da formulação de referência. Entretanto, a elevada perda ao fogo

é um fator limitante na utilização deste resíduo como matéria-prima, devido à grande quantidade de matéria orgânica presente na mesma.

Os resultados do ensaio de tensão de ruptura à flexão demostraram que a adição de lodo de ETA em até 10% na massa argilosa obedece aos padrões especificados por Santos (1989) para a fabricação de tijolos de alvenaria. Isso corrobora a viabilidade de utilizar o lodo de ETA como matéria-prima alternativa para a produção de cerâmicas vermelhas associadas à sustentabilidade, promovendo a valorização do resíduo na indústria.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

BRAGA, B. et al. Introdução à engenharia ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável. 3^a. ed. Pearson, São Paulo; Bookman, Porto Alegre, 336 p., 2021.

CAILLAHUA, M. C.; MOURA, F.J. Technical feasibility for use of FGD gypsum as an additive setting time retarder for Portland cement. Journal Of Materials Research and Technology, v. 7, n. 2, p.190-197, 2018.

FERREIRA FILHO, S. S. Tratamento de água: Concepção, projeto e operação de estações de tratamento, 1 ed. Elsevier Editora Ltda., Rio de Janeiro, 472 p., 2017.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água. 4^a. ed. Átomo, Campinas, 496 p., 2016.

LIMA, U. T. G. M.; MARTINS, M. C. S.; da COSTA, A. T.; JUNKES, J. A. Destinações ambientalmente adequadas do resíduo gerado no processo de tratamento de água convencional. Brazilian Journal of Development, v.7, n.3, p. 24041-24057, 2021.

LOUGON, M. C. M. Avaliação da incorporação do resíduo proveniente da lama do beneficiamento de rochas ornamentais nas propriedades físicas de massas cerâmicas. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Sustentáveis), Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, 98 p., 2018.

MORSELLI, L. B. G. A.; do CARMO, L. A. G.; QUADRO, M. S.; ANDREAZZA, R. Lodo de estação de tratamento de água: possibilidade de aplicação no solo. Scientia Plena, v. 18, n. 5, 2022.

RODRIGUES, L. R. Valorização de resíduos do processo kraft e de lapidação de vidros sodo-cálcicos para obtenção de cerâmica vermelha. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais), Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, 113 p., 2017.

RICHTER, C. A. Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento. 1^a. ed. Editora Blucher, São Paulo, 352 p., 2009.

SANTOS, P. S. Ciência e tecnologia de argilas. 2^a. ed. Edgar Blucher, São Paulo, v. 1, 408 p., 1989.

SILVA, E. L. G.; MACIEL, A. P. Uso de resíduos sólidos de estação de tratamento de água como carga em blocos cerâmicos. Cerâmica Industrial, v. 24, n. 4. p. 29-39, 2019.

VIEIRA, C. M. F.; PINHEIRO, R. M. Avaliação de argilas caulíníticas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. Cerâmica, v. 57, n. 343, p. 319-323, 2011.

AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), aos professores e servidores do Instituto Federal do Espírito Santo envolvidos no projeto, e à Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) pela doação do resíduo utilizado nesse experimento.