

APLICAÇÃO DE REJEITO DE MINERAÇÃO DA BAUXITA NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS CERÂMICOS*

Beatriz Baiôcco Louzada¹
Carolina de Souza Pires Costa²
Pedro Henrique Cota Drumond³
Beatryz Cardoso Mendes⁴
Leonardo Gonçalves Pedrotti⁵

Resumo

Atualmente, um dos maiores problemas ambientais no estado de Minas Gerais é o armazenamento de rejeitos lavados, provenientes de mineração, em barragens. Buscando reduzir este impacto, o presente trabalho visa ao reaproveitamento dos rejeitos da mineração de bauxita para fabricação de blocos cerâmicos. Para obter um material com uma boa coesão e plasticidade para prensagem e extrusão, foram realizadas misturas binárias do rejeito com um material argiloso (argila amarela) e corpos de provas cilíndricos foram produzidos por meio de prensagem manual, com umidade de 10% e com diferentes proporções de rejeito. Após a queima, as propriedades de retração linear na queima, índice de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência à compressão foram avaliadas. Os resultados obtidos apontam que a produção de tijolos maciços prensados, com adição de até 10% de bauxita, é viável tanto do ponto de vista ambiental como técnico, atendendo às especificações brasileiras para tal produto.

Palavras-chave: Rejeito de bauxita; Tijolos; Cerâmica vermelha.

APPLICATION OF BAUXITE TAILINGS TO PRODUCE CLAY BRICKS

Abstract

Currently, one of the biggest environmental problems in Minas Gerais is the storage of washed tailings, derived from mining, in dams. In order to reduce this impact, the present work aims to reuse bauxite mining tailings to produce ceramic bricks. To obtain a material with good cohesion and plasticity for pressing and extrusion, a clay soil was mixed with the working material and the manual pressing of cylindrical samples, with 10% humidity and different tailings proportions, was done. After firing, the properties of linear shrinkage, water absorption index, apparent porosity, bulk density and compressive strength were evaluated. The results show that the production of solid bricks, with the addition of up to 10% of bauxite and pressed from the mixture between tailings and yellow clay, is feasible both from an environmental and technical points of view, meeting the Brazilian specifications for such product.

Keywords: Bauxite tailings; Clay bricks; Red ceramic.

¹ Engenheira civil, graduanda, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

² Engenheira civil, graduanda, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

³ Engenheiro civil, graduando, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Engenheira Civil, graduada, doutoranda, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

⁵ Engenheiro Civil, doutor, professor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A indústria extrativa mineral representa um importante setor para o desenvolvimento do país, visto que corresponde a 1,4% de todo o Produto Interno Bruto (PIB), empregando cerca de 180 mil trabalhadores diretamente [1]. Um dos principais minérios explorados no Brasil é o de bauxita, utilizado como matéria prima para a produção de alumínio. Apesar da grande relevância econômica, o processo de produção de substâncias minerais, sobretudo o minério de bauxita, produz milhões de toneladas de rejeito por dia. O descarte desse material no ambiente conduz a sérios problemas de deterioração ambiental. O rejeito não tratado não só ocupa grandes terrenos, mas também polui a água, o ar e coloca em risco a segurança da sociedade [2].

A produção de materiais de construção é uma alternativa técnica consolidada para o reaproveitamento de resíduos [3]. Além de ser uma opção para o reuso de materiais descartados, é ainda uma forma de agregar proteção ambiental e sustentabilidade à construção civil. O setor é um grande consumidor de recursos naturais, sendo que muitos destes são não-renováveis [4]. O uso destes recursos pode acarretar a sua perda temporária ou até mesmo definitiva [5].

Um potencial campo de aplicação dos rejeitos é na indústria de cerâmica vermelha, cuja principal matéria prima são as argilas. O uso de resíduos na cadeia de produção pode contribuir para a proteção do meio ambiente e preservação das jazidas naturais de argilas [6]. Além disso, a indústria da cerâmica vermelha é fortemente promissora para a absorção de materiais descartados. As massas cerâmicas são, por natureza, heterogêneas, sendo tolerantes à adição de diversos resíduos, dos mais variados tipos e origens [7].

Pesquisas relacionadas à incorporação do rejeito de mineração de bauxita em materiais cerâmicos têm sido desenvolvidas. Babisk [8] estudou a incorporação do rejeito de bauxita, extraído pelo processo de Bayer, em cerâmicas vermelhas, variando o teor do material a ser estudado de 17 a 100% e concluiu que, de acordo com as normas vigentes o material pode ser incorporado em diversos produtos, desde tijolos furados até telhas. Arhin et al. [9] avaliaram a incorporação de elevadas concentrações de rejeitos (50%, 60%, 70% e 80%), misturados a uma argila, para a produção de corpos de prova prismáticos. De acordo com a pesquisa, foi possível adicionar cerca de 50% de rejeito nestes corpos de prova para obter um produto adequado.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de tijolos cerâmicos a partir de adições de rejeito de bauxita (10%, 30%, 50%, 70%, 90% e 100% em massa) e de um material argiloso (argila amarela) já aplicada no ramo industrial. Ensaios de caracterização física e mecânica dos exemplares foram realizados de modo a comprovar a viabilidade técnica do estudo, que se mostra uma alternativa interessante do ponto de vista ambiental e econômico.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

O rejeito de bauxita foi coletado na barragem Bom Jardim (MG), e transportado ao Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Tanto o rejeito como a argila amarela foram expostos ao ar para secagem, passando ainda pelos processos de destorroamento e peneiramento (peneira ASTM 50 mesh). Os materiais utilizados são apresentados na Figura 1.



Figura 1. Argila amarela e rejeito de bauxita, respectivamente.

Os materiais foram caracterizados quanto à granulometria [10], massa específica dos sólidos [11], limite de liquidez [12] e limite de plasticidade [13], segundo normas técnicas brasileiras específicas.

As matérias primas foram submetidas à secagem em estufa, com posterior preparo das misturas, segundo as composições mostradas na Tabela 1. Em seguida, foram produzidos três corpos de prova cilíndricos para cada mistura, conformados por prensagem uniaxial (Figura 2). As dimensões dos exemplares foram 3 cm x 4,5 cm (diâmetro x altura), e adotou-se umidade padrão igual a 10%. Os corpos de prova moldados estão apresentados na Figura 3.

Tabela 1. Composição das misturas preparadas com o rejeito de bauxita e argila amarela

Mistura	Rejeito de Bauxita (%)	Argila amarela (%)
M10R	10	90
M30R	30	70
M50R	50	50
M70R	70	30
M90R	90	10
M100R	100	0



Figura 2. Prensagem uniaxial dos corpos de prova cilíndricos.



Figura 4. Corpos de prova cilíndricos obtidos por prensagem.

Na sequência, os corpos de prova foram submetidos à queima, sob a temperatura de 950°C. Após resfriamento lento, determinou-se a retração linear na queima e foram realizados os ensaios de determinação do índice de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, resistência à compressão axial, segundo as prescrições da NBR 15270 [14].

Para a determinação da massa no estado saturado superfície seca, os exemplares foram imersos em um recipiente com água, à temperatura ambiente, por 24 horas. A massa imersa foi obtida com auxílio de balança hidrostática. No ensaio de determinação da resistência à compressão axial utilizou-se prensa *Marshall* manual (Figura 4).



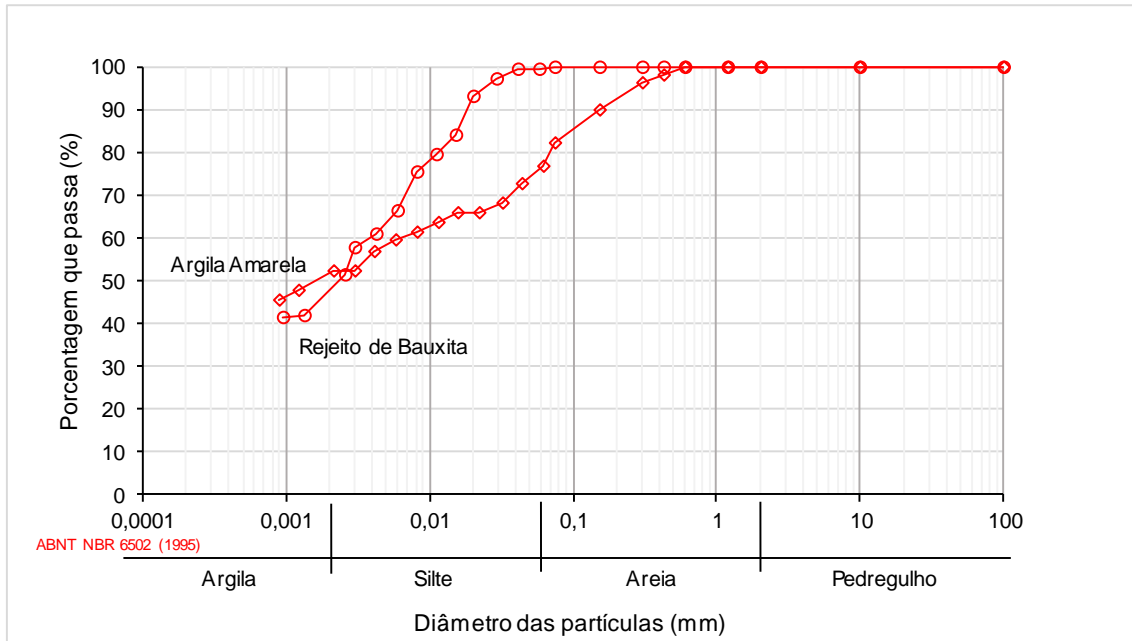
Figura 4. Ensaio de determinação da resistência à compressão axial.

2.2 Resultados e Discussão

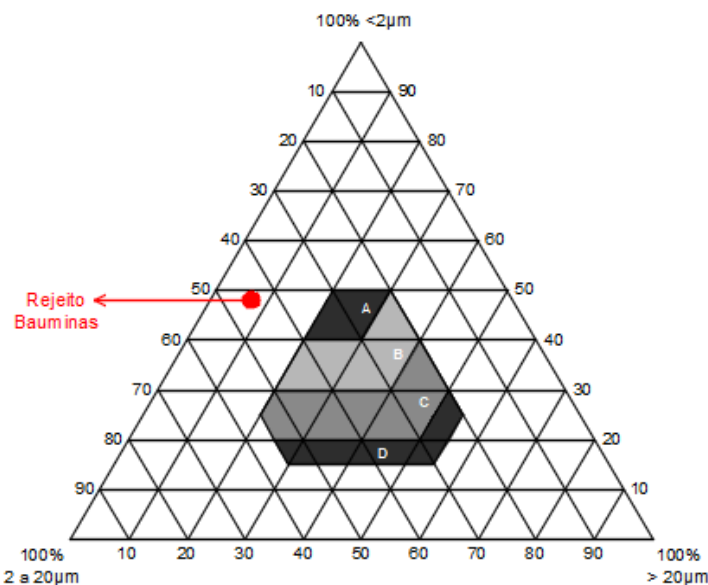
A análise granulométrica do rejeito de bauxita e da argila amarela é apresentada na Tabela 2 e Figura 5. Observa-se que o rejeito é formado basicamente pelas frações silte e argila, ou seja, grãos de menores dimensões. A argila amarela também apresenta teor considerável da fração argila, e uma porcentagem elevada da fração areia.

Tabela 2. Composição granulométrica do rejeito de minério de bauxita

Material	Frações granulométricas		
	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
Argila Amarela	43,60	20,80	35,60
Rejeito de bauxita	48,10	51,40	0,50

**Figura 5.** Curva granulométrica do rejeito de bauxita e da argila amarela.

Por meio da classificação granulométrica, foi possível localizar o rejeito no Diagrama de Winkler, e determinar em qual faixa ele se enquadra (Figura 6). Nota-se que o rejeito puro não é adequado para aplicação em nenhum tipo de produto. No entanto, ao incluir um material argiloso na mistura, os percentuais podem ser reajustados para que ele permaneça na faixa de interesse, a D (produção de tijolos maciços).

**Figura 6.** Localização do rejeito de bauxita no Diagrama de Winkler.

As massas específicas obtidas para o rejeito de bauxita e a argila amarela foram, respectivamente, 2,519 g/cm³ e 2,748 g/cm³. Nota-se que a massa específica do rejeito é similar à encontrada em materiais argilosos. Em relação aos limites de consistência, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Massa específica e limites de consistência das matérias primas

Material	Massa específica (g/cm ³)	Limite de Plasticidade (%)	Limite de Liquidez (%)	Índice de Plasticidade (%)
Argila Amarela	2,748	35	56	21
Rejeito de bauxita	2,519	24	36	12

De acordo com a classificação estabelecida por Caputo [15], a argila amarela pode ser considerada altamente plástica, pois apresenta índice de plasticidade (IP) superior a 15%. O rejeito de bauxita, por sua vez, se enquadra como medianamente plástico (7% < IP < 15%). A determinação dos limites de consistência permite que os materiais sejam classificados como adequados ou não para o processo de extrusão, por meio do diagrama de prognóstico de extrusão [16]. Por meio do diagrama mostrado na Figura 7, observa-se que o rejeito já se enquadra na região considerada aceitável para a extrusão, em termos de plasticidade do material. Já a argila amarela, por apresentar um elevado limite de plasticidade, encontra-se fora da zona ideal. Portanto, a mistura do rejeito de bauxita com a argila pode resultar em misturas que estejam dentro da zona aceitável ou até mesmo na região ótima.

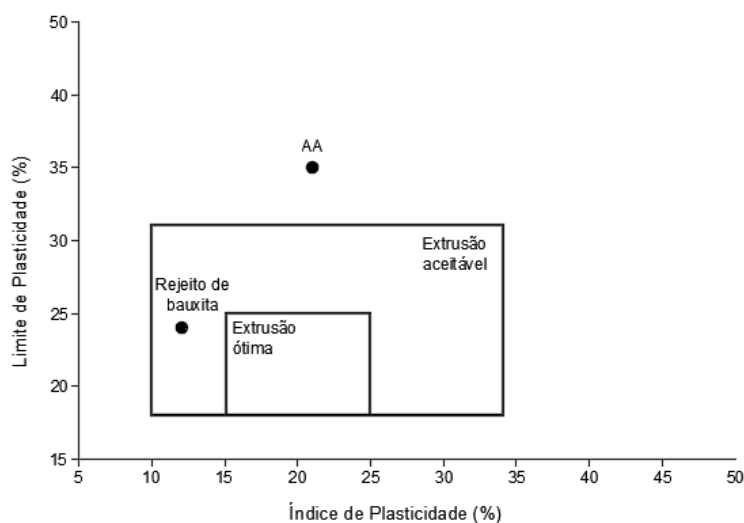


Figura 7. Localização do rejeito de bauxita e da argila amarela no prognóstico de extrusão.

Os resultados de retração linear na queima, índice de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência à compressão axial das misturas, obtidos a partir dos corpos de prova cilíndricos, estão apresentados nas Figuras 8-11.

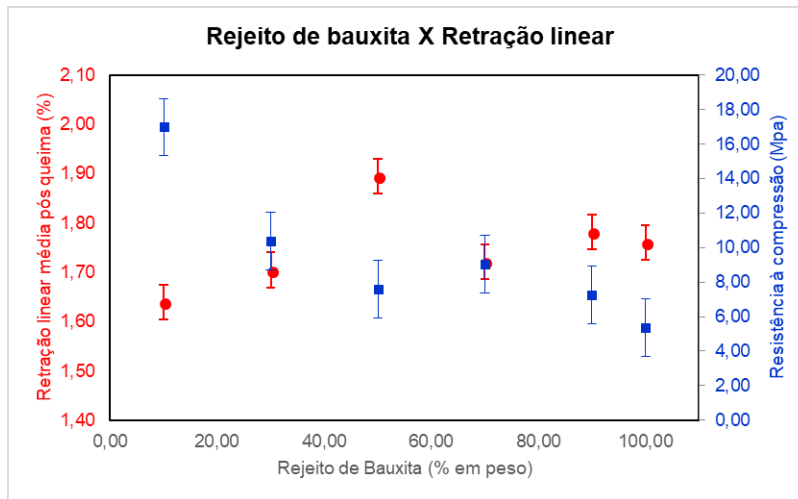


Figura 8. Resultados obtidos para as propriedades de resistência à compressão axial e retração linear na queima para os corpos de prova cilíndricos.

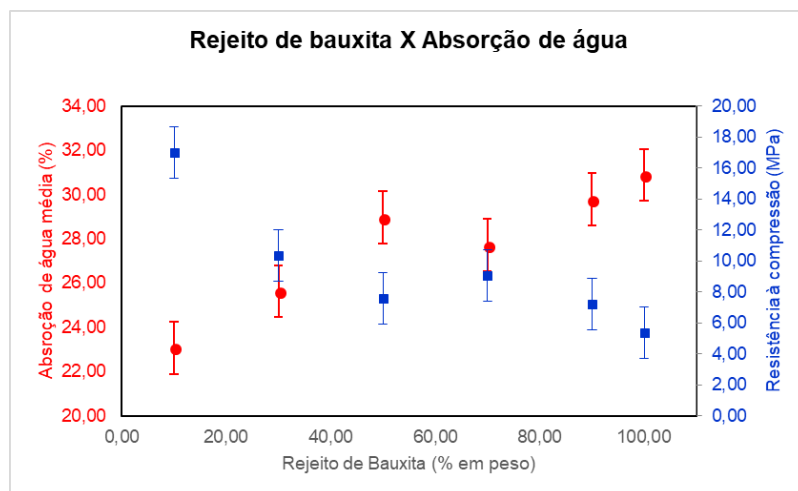


Figura 9. Resultados obtidos para as propriedades de resistência à compressão axial e absorção de água para os corpos de prova cilíndricos.

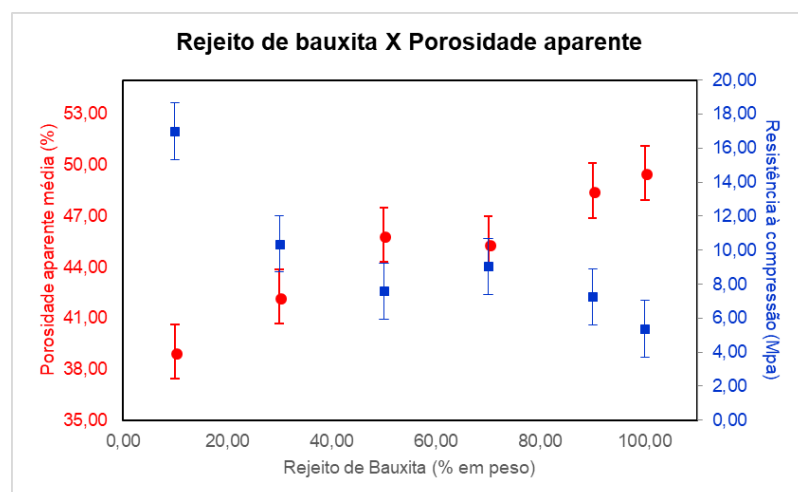


Figura 10. Resultados obtidos para as propriedades de resistência à compressão axial e porosidade aparente para os corpos de prova cilíndricos.

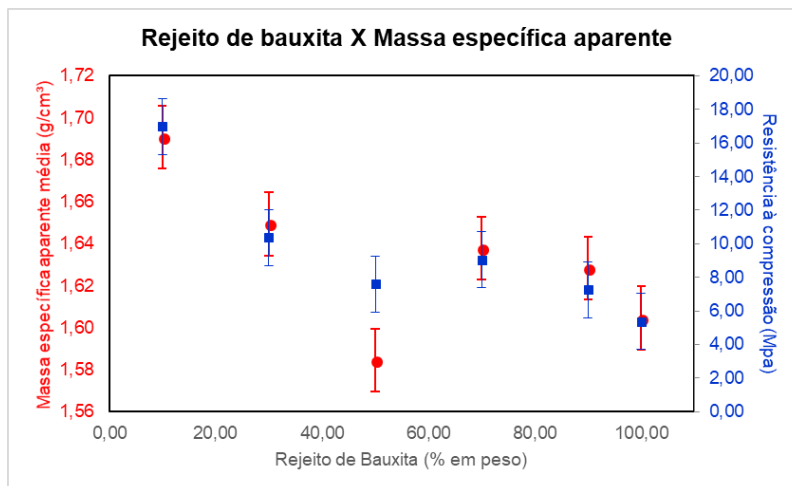


Figura 11. Resultados obtidos para as propriedades de resistência à compressão axial e massa específica aparente para os corpos de prova cilíndricos.

Observa-se, por meio da Figura 10, que a adição do rejeito de bauxita influencia na retração linear na queima dos corpos de prova. O maior valor de retração observado, cerca de 1,90%, correspondeu a uma incorporação de 50% de rejeito. Após esse teor, houve uma tendência de redução da retração linear. Em relação à resistência a compressão, nota-se que, em termos de médias absolutas, a incorporação do rejeito de bauxita contribuiu para a diminuição da resistência. Em termos estatísticos, pode-se inferir que as médias referentes às incorporações de 30%, 50%, 70% e 100% não diferem estatisticamente entre si. Ressalta-se que o valor de resistência obtido para a mistura com 10% é, aproximadamente, 4 vezes superior ao valor verificado para a mistura com 100% de rejeito. Em todas as misturas, a resistência à compressão atende o limite mínimo estipulado pela NBR 15270-1 [19].

Em relação à absorção de água (Figura 9), o rejeito de bauxita contribuiu para o aumento desta propriedade. As médias obtidas para incorporações superiores a 50% não diferem estatisticamente entre si. Quanto à porosidade aparente (Figura 10) observa-se, graficamente, uma tendência similar à da absorção de água com maiores incorporações de bauxita. De fato, as duas propriedades se relacionam, uma vez que a absorção está diretamente ligada ao número de poros existentes na peça [17]. O aumento da porosidade após o processo de queima está relacionado com a eliminação de matéria orgânica e água presentes no corpo cerâmico. Dessa forma, quanto maior a porosidade aparente, espera-se uma maior absorção de água no material, devido à maior probabilidade de existência de poros interligados.

A tendência de aumento da porosidade aparente também está relacionada à diminuição da resistência mecânica para teores crescentes de adição do rejeito. Quanto maior a ocorrência de poros na matriz cerâmica, tem-se mais pontos sujeitos à concentração de tensões, provocando a queda da resistência à compressão.

A propriedade de massa específica aparente (Figura 11) sofreu alterações significativas com o aumento do teor de rejeito de bauxita. Pela análise gráfica, observa-se que houve uma alta redução da massa específica aparente entre as incorporações de 10% e 50%. Esse efeito pode estar relacionado à perda de massa durante a queima e ao nível de densificação da matriz cerâmica relativamente baixo [18]. Mesmo sendo predominantemente composto por partículas de pequenas dimensões (argila e silte), provavelmente o rejeito não contribuiu para o processo de sinterização. No entanto, essa afirmação só pode ser confirmada após a

investigação da composição química, mineralógica e do comportamento térmico do material. Esses resultados estão em conformidade com os resultados de resistência mecânica: a redução da massa específica indica uma massa cerâmica menos densa e consolidada e, conseqüentemente, menos resistente.

Diante dos resultados expostos, a mistura que demonstra melhor comportamento físico e mecânico é a M10R, ou seja, com 10% em peso de bauxita. A resistência à compressão axial e o índice de absorção de água dos corpos de prova associados a esta mistura foram 16,98 MPa e 23,08%, respectivamente. Esses valores atendem aos critérios estipulados pela norma NBR 15270-1 [19], que limita o índice de absorção de água em 25% e estabelece resistência à compressão mínima igual a 4,0 MPa para tijolos cerâmicos maciços.

3 CONCLUSÃO

Esse estudo foi realizado para explorar a utilização de rejeito de bauxita e um material argiloso (argila amarela) como matérias primas para a produção de tijolos cerâmicos maciços. Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O rejeito de bauxita apresenta características físicas - como granulometria e limites de consistência - que possibilitam o seu uso na indústria cerâmica vermelha;
- A adição da argila amarela contribui para adequar a granulometria do rejeito. Por outro lado, o rejeito de bauxita também contribui para o ajuste da plasticidade da argila amarela, tornando a mistura viável para o processo de extrusão;
- Após a análise dos resultados obtidos para as propriedades de retração linear na queima, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência à compressão axial, conclui-se que a mistura mais adequada para a produção de tijolos cerâmicos maciços é a mistura M10R, ou seja, com 10% em peso de bauxita. Essa composição atendeu aos requisitos técnicos estipulados pela norma brasileira, relacionados à absorção de água e resistência mecânica;
- Este estudo mostrou que a produção de tijolos cerâmicos maciços a partir de rejeito de bauxita e argila amarela é uma alternativa que apresenta viabilidade técnica, ambiental e econômica. Dessa forma, evita-se que o rejeito, material com baixo custo agregado, seja disposto no ambiente, colaborando para o desenvolvimento sustentável.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Viçosa pelo suporte financeiro e técnico dado ao desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 Instituto Brasileiro de Mineração. Relatório anual de atividades: Julho de 2017 - junho de 2018. Brasília: IBRAM; 2018.

- 2 Zhao S, Fan J, Sun W. Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*. 2014; 50: 540-548.
- 3 Ma B, Cai L, Li X, Jian S. Utilization of iron ore tailings as substitute in autoclaved aerated concrete: physico-mechanical and microstructure of hydration products. *Journal of Cleaner Production*. 2016 (in press).
- 4 John VM. *Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2000.
- 5 Holanda RM, Silva BB. Cerâmica vermelha – Desperdício na construção versus recurso natural não renovável: estudo de caso nos municípios de Paudalho/PE e Recife/PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2011; 4 (4): 872-890.
- 6 Monteiro SN, Vieira CMF. On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update. *Construction and Building Materials*. 2014; 68: 599-610.
- 7 Souza CC, Vieira CMF, Monteiro SN. Alterações microestruturais de cerâmica argilosa incorporada com rejeito de minério de ferro. *Revista Matéria*. 2008; 13 (1): 194-202.
- 8 Babisk MP. *Incorporação de lama vermelha em cerâmica vermelha*. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense; 2015.
- 9 Arhin DD, Konadu D, Annan E, Buabeng FP, Yaya A, Tuffour BA. Fabrication and characterisation of ghanaiian bauxite red mud-clay composite bricks for construction applications. *American Journal of Materials Science*. 2012; 3 (5): 110-119.
- 10 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT; 1984.
- 11 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6508: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT; 1984.
- 12 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT; 2017.
- 13 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT; 2016.
- 14 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15270: Componentes cerâmicos. Rio de Janeiro: ABNT; 2017.
- 15 Caputo HP. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 6 ed. São Paulo: LTC; 1981.
- 16 Marsigli M, Dondi M. Plasticità delle Argille Italiane per Laterizi e Previsione del Loro Comportamento in Foggatura. *L'Industria dei Laterizi*. 1997; 46: 214–222.
- 17 Facincani E. *Tecnologia cerâmica: cerâmica estrutural*. Tradução de Géol Jaime Pedrassani. São Paulo: Faenza Editrice do Brasil; 2002.
- 18 Mendes BC. *Reaproveitamento do rejeito de minério de ferro, liberado no desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão (MG), na produção de blocos cerâmicos*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2019.
- 19 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15270: Componentes cerâmicos. Rio de Janeiro: ABNT; 2017.