

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

PRODUÇÃO DE MATERIAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA EXTRAÇÃO DE OURO EM PLACAS SOLO-CIMENTO

Allana Quelle Pereira de Jesus, allanaquelle@gmail.com¹
William Guterres Oliveira, maioneguterres@gmail.com¹
Tercio Graciano Machado, gracianomil@hotmail.com¹
Vitor Otávio Silva Teixeira de Souza, vostsouza@gmail.com¹
Elione Moura Carlos, elionemoura@hotmail.com²
Raimison Bezerra de Assis, raimisondeassis@hotmail.com¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) – Campus Jacobina, Av. Centenário, 500 – Bairro Nazaré – Jacobina/ BA, CEP 44.700-000, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (UFRN), Av. Sen. Salgado Filho, 3000 – Bairro Lagoa Nova – Natal/ RN, CEP 59.078-970, Brasil.

Resumo: As indústrias de extração e beneficiamento de ouro geram uma grande quantidade de resíduos que poluem e degradam o meio ambiente. Os resíduos de beneficiamento do ouro estão sendo estudados devido ao grande impacto causado ao meio ambiente, ocasionado pela disposição indevida desse material e pelo grande potencial de incorporação em massas cerâmicas. Os resíduos apresentam comportamento não plástico, e assim como nos materiais cerâmicos seus constituintes são na maioria óxidos, sendo estes atrativos a indústria cerâmica e cimenteiras. Para avaliar a viabilidade técnica destes resíduos na produção de placas solo-cimento, foi realizada a análise química e mineralógica por FRX e DRX, respectivamente. Contou-se com os ensaios de propriedades tecnológicas para avaliar a influência da adição dos resíduos nas propriedades físico-mecânicas das placas solo-cimento com o propósito de viabilizar o seu uso na indústria da construção civil. Os resultados mostraram que é viável a utilização de resíduos de extração e beneficiamento de ouro como matéria-prima na indústria da construção civil, desta forma potencializando a inserção de novos materiais para este setor, aumentando o leque de matérias-primas, minimizando o impacto ambiental e proporcionando uma alternativa sustentável.

Palavras-chave: placa solo cimento, resíduos de ouro, aproveitamento de resíduos, material de baixo custo, construção civil

1. INTRODUÇÃO

A construção civil pode ser considerada a maior consumidora de recursos naturais de qualquer economia (Miele, 2009). Cada vez mais, o ramo da construção civil, viabiliza a utilização de materiais reciclados, como por exemplo, as placas solo-cimento. Isso decorre, devido à necessidade de preservação ambiental e a ameaça de escassez de recursos naturais, admitindo-se assim, soluções técnicas e práticas almejando a sustentabilidade nas atividades. Segundo Silveira (2005), quando se faz uso do solo do local da obra, aperfeiçoando as propriedades para determinado fim, utiliza-se então, alternativas de projeto sustentável.

Neste cenário, a reciclagem e o aproveitamento dos resíduos provenientes da mineração ganham destaques de alternativas viáveis para a produção de placas solo-cimento de grande utilização nas construção civil, apresentando vários benefícios, tais como, redução de custo, diminuição do consumo de recursos naturais não renováveis, baixo consumo de energia na extração da matéria-prima, otimização do processo de queima e redução de transporte, uma vez que, a produção das placas pode ser realizada no local da obra, permitindo assim, maior acessibilidade e facilidade na utilização das placas solo-cimento. (Souza *et al.*, 2006)

O solo-cimento pode ser considerado o produto da mistura homogênea de solo, cimento e uma pequena quantidade de água, que quando submetidos ao método de compactação em condições ótimas e sob a máxima massa específica seca, em quantidades já estabelecidas, adquirindo durabilidade e resistência através das reações de hidratação do cimento. O resultado final que é proposto dessa mistura é um material de boa resistência à compressão e boa

impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade. Segundo Souza (2006). Basicamente, o processo de produção das placas solo-cimento adicionados a rejeitos provindo da mineração consiste das seguintes etapas: Preparação do solo e resíduo; Preparação da mistura; moldagem das placas e por fim, cura e armazenamento. (Souza, 2006)

As vantagens são consideráveis compreendendo desde a fabricação até a sua aplicação. Os equipamentos utilizados, a instalação e a fabricação são simples e de baixo custo. Além das vantagens econômicas, o tijolo de solo-cimento agrada também pelo fato de não sofrer processo de cozimento. O solo-cimento tem como vantagens adicionais a de oferecer conforto térmico e acústico superior ao das construções convencionais. A utilização de placas solo-cimento ganha destaque por atender as necessidades atuais em relação ao meio ambiente, ou seja, a preocupação crescente com os impactos gerados e a tendência de escassez de recursos naturais tem levado a construção civil, a procurar alternativas que atendam aos conceitos e técnicas de conhecimento sustentável.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o aproveitamento dos resíduos provenientes da mineração de ouro do município de Jacobina-BA em placas prensadas de solo-cimento. Pretendeu-se, avaliar a viabilidade técnica de aplicação e a influência da utilização de resíduos na qualidade e desempenho do solo-cimento resultante.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos da extração de ouro, o cimento e a argila caulinítica foram inicialmente cominuídos em moinhos de bolas durante 60 minutos, peneirados em malha ABNT nº200 para uniformização do tamanho da partícula. 15g do pó de cada material foi utilizado para realização das análises químicas e mineralógicas por fluorescência de raios-X (FRX) e difração de raios-X (DRX), respectivamente. A composição química das matérias-primas foi obtida por fluorescência de raios X por um espectrômetro de marca Shimadzu EDX-720/800 HS. A análise mineralógica foi feita por difração de raios X em um difratômetro de marca Shimadzu XRD 7000. A análise por difração de raios-X (DRX) foi realizada através de um difratômetro de raios-X modelo Shimadzu XRD 7000, radiação $\text{CuK}\alpha$, tubo de alvo de cobre, com tensão de 40 kV e corrente de 30 mA. Para confeccionar as placas solo-cimento utilizou-se 4 formulações com percentuais de argila (5%), cimento (5 à 20%) e resíduo (75 à 90%) através do moinho de bolas, conforme Tabela 1. Foi adicionada à mistura um percentual aproximadamente 10% de água em peso, adquirindo consistência plástica para o processo de conformação. Todas as composições das diferentes formulações, misturadas, homogeneizadas e umedecidas foram colocadas em saco plástico, conservando a sua umidade.

Tabela 1. Formulações de placas solo-cimento com adição de resíduo de extração de ouro.

Formulações	Argila caulinítica	Cimento Portland	Resíduo de ouro
<i>Formulação A – FA</i>	5%	5%	90%
<i>Formulação B – FB</i>	5%	10%	85%
<i>Formulação C – FC</i>	5%	15%	80%
<i>Formulação D – FD</i>	5%	20%	75%

As placas solo-cimento foram prensadas em uma matriz metálica, sob forma de corpos de prova prismáticos de 60 x 20 x 5 mm³ e compactados por prensagem uniaxial com pressão de 25 MPa. Depois de compactadas, foram mantidas em estufa a 110°C por um período de 24h para eliminação da umidade e obtenção da cura dos corpos de prova em 1, 7 e 28 dias. As amostras de solo-cimento foram submetidas aos ensaios tecnológicos de porosidade aparente (PA), absorção de água (AA) através do método de Arquimedes, onde as placas foram imersas em água durante 24 horas, densidade aparente (MEA) e ensaio de resistência à compressão (RC) de acordo com a norma ABNT 13.818 (placas e revestimentos cerâmicos) para obtenção das propriedades físico-mecânicas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise química obtida por fluorescência de raios X dos resíduos da extração de ouro e da argila. Os resultados obtidos mostram teores elevados de SiO_2 (64,82%) e Al_2O_3 (17,43%), identificando na composição aluminossilicatos, a presença de feldspato. A análise mostra o SiO_2 como material predominante, mostrando a formação de quartzo. Em geral os altos teores de SiO_2 e Al_2O_3 indicam se tratar de composição química de materiais primários (quartzo, feldspato, e minerais do grupo mica). Os óxidos de potássio K_2O na quantidade de 7,07% presentes nos rejeitos podem ser provenientes do feldspato e da mica e são agentes fundentes, atuando na sinterização preenchendo os vazios no cerâmico. A análise por fluorescência de raios X mostra a presença de materiais fundentes, materiais que apresentam um baixo ponto de fusão, como Fe_2O_3 caracterizado como agente fundente. A presença do CaO e do Fe_2O_3 encontrados nas amostras são oriundos principalmente da granalha e cal utilizados como abrasivos e lubrificantes respectivamente (Moraes, 2007).

Tabela 2. Análise química por fluorescência de raios X (FRX) dos resíduos e da argila.

Óxidos (% em massa)	Resíduo	Argila caulinítica
---------------------	---------	--------------------

SiO_2	64,82 %	68,75 %
Al_2O_3	17,43 %	26,34 %
K_2O	7,07 %	0,49 %
Fe_2O_3	4,57 %	3,37 %
CaO	3,25 %	0,21 %
MgO	1,09 %	-
TiO_2	0,74 %	0,62 %
P_2O_5	0,71 %	-
SO_3	0,29 %	-
BaO	-	0,19 %

Os resultados obtidos através da fluorescência de raios X na amostra da argila apresentaram valores de Al_2O_3 inferior a 46,0%, segundo as normas da ABNT, o material é classificado com sílico-aluminoso (Silva, 2005). A análise por fluorescência de RaiosX mostrou também a presença de materiais fundentes, tais como, o ferro (Fe_2O_3) e o titânio (TiO_2). Foram realizadas análises de identificação de fases, a análise por difração de raios X, a Fig. 1 apresenta os resultados obtidos no difratograma da argila e dos resíduos da extração de ouro. O difratograma de raios X, apresentado na Fig. 1, revela a presença das fases de quartzo (SiO_2), albita ($NaAlSi_3O_8$), anortita ($CaAl_2Si_2O_8$) e muscovita ($KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$) na amostra de resíduos. Na argila foram identificadas as fases quartzo (SiO_2), caulinita ($Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$) e muscovita ($KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$).

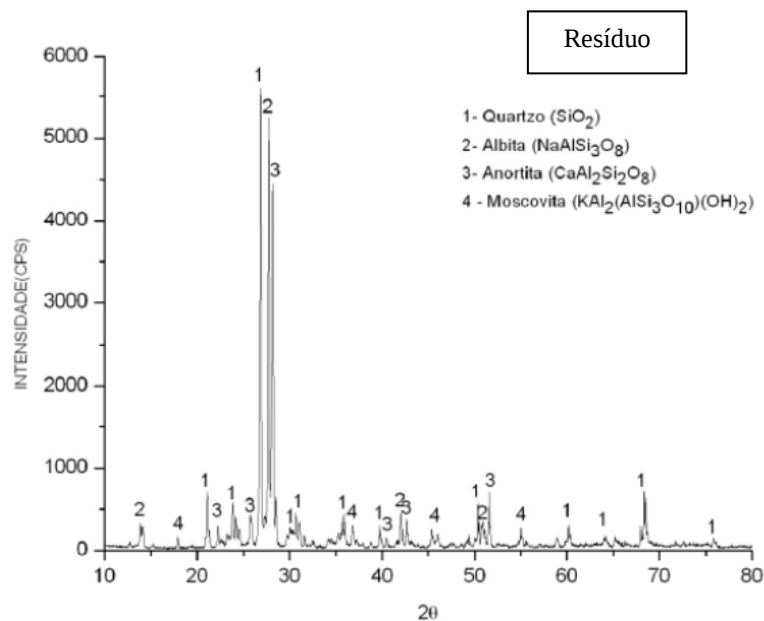
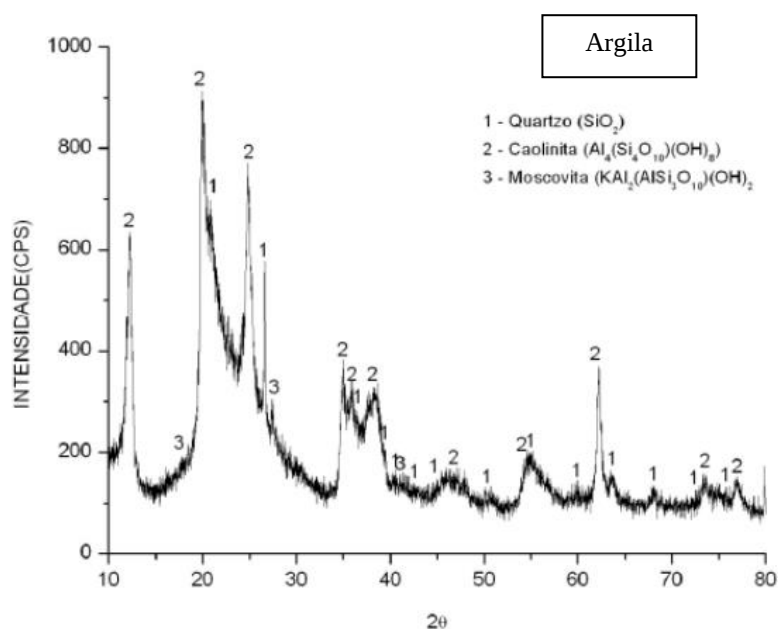


Figura 1. Difratoograma de raios X das amostras de argila e resíduo da extração de ouro.

A argila utilizada é constituída basicamente por caulinita e quartzo. O quartzo combinado com o CaO, K₂O contribui para a diminuição da porosidade aparente, já que este funciona como “esqueleto” durante a formação de fase líquida. O quartzo possui uma estrutura cristalina trigonal e hexagonal composta por tetraedros de silica (Vieira, 2007). A caulinita e os óxidos de ferro determinam, normalmente, a cor e influenciam à estrutura, consistência, infiltração e retenção de água e reações de troca iônica dos solos. A moscovita caracteriza-se pela clivagem basal bem marcada, e de acordo com as impurezas presentes, a moscovita pode ser incolor (mais comum), marrom ou rósea (Betejtin, 1977). A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios tecnológicos de propriedades físico-mecânicas.

Tabela 3. Resultados de ensaios tecnológicos de propriedades físico-mecânicas das placas solo-cimento com resíduos.

	Resultados obtidos após 24 horas (1 dia)			
Ensaio Tecnológico	FA	FB	FC	FD
Absorção de água (%)	3,80	1,75	5,47	13,07
Porosidade aparente (%)	7,91	3,74	10,47	22,90
Densidade aparente (g/cm ³)	2,14	2,22	2,05	1,75
Resistência à Compressão (MPa)	22,79	20,17	19,18	14,18

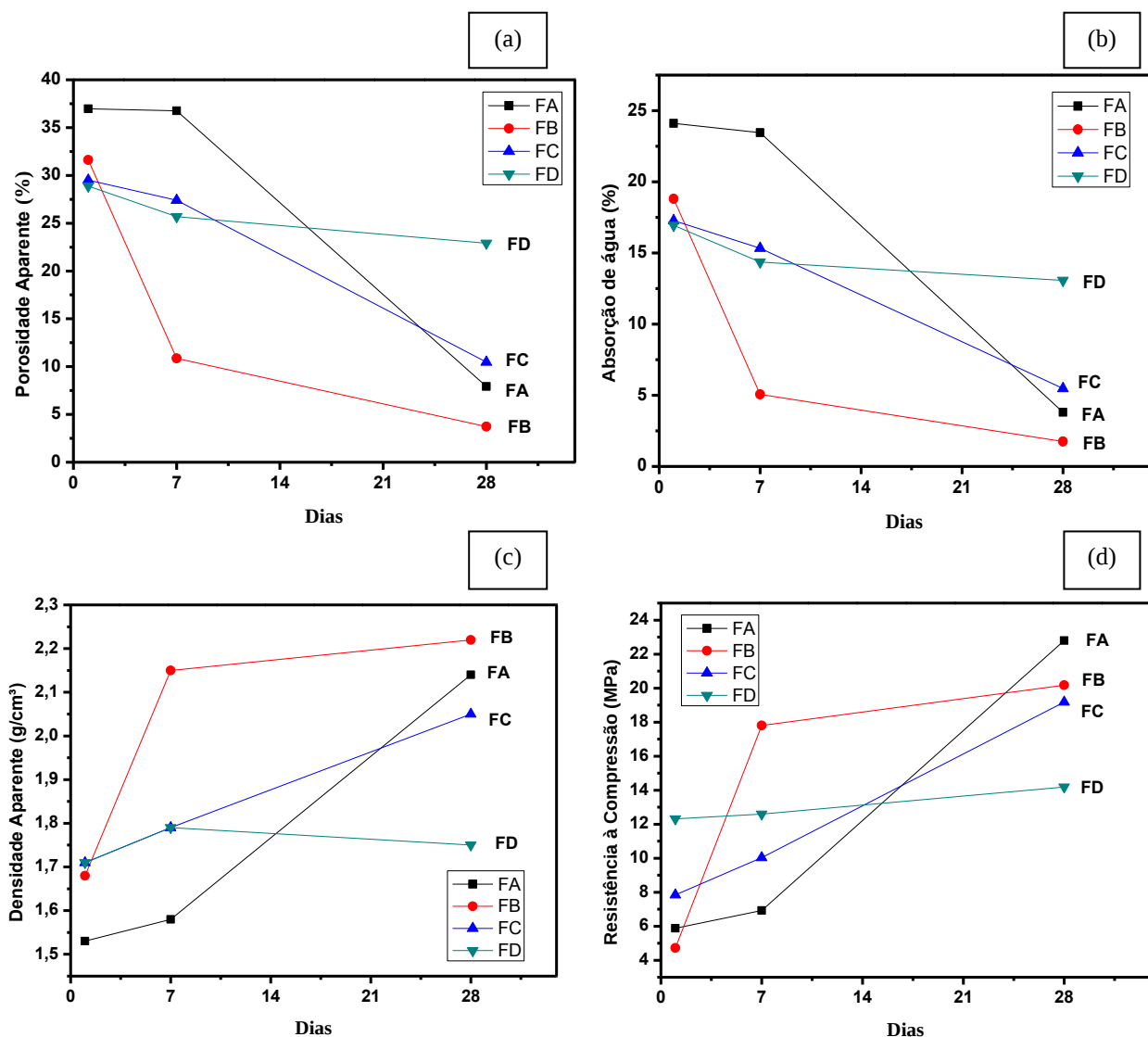


Figura 2. Ensaios tecnológicos de propriedades físico mecânicas das formulações por (a) porosidade aparente; (b) absorção de água; (c) densidade aparente; (d) resistência à compressão.

A Fig. 2 apresenta a porosidade das placas solo-cimento. Os corpos de prova curados a 28 dias apresentaram uma homogeneidade dos valores de porosidade aparente, corroborando com os resultados de absorção de água. A porosidade aparente das placas solo-cimento variou entre 0,2 e 0,74%, estando coerente com os resultados de absorção de água. Observa-se que com uma menor porosidade aparente, menor é a absorção de água desses corpos cerâmicos, devido à dissociação dos poros com o aumento do tempo de cura, diminuindo a porosidade da mesma conforme pode ser observado também pelos valores de absorção de água.

Observa-se no gráfico, a absorção de água no tempo de 1 dia variou entre 16,94% (FD) a 24,11% (FA), no tempo de 7 dias variou entre 5,07% (FB) a 23,45% (FA) e no tempo de 28 dias variou entre 1,75% (FB) a 13,07% (FD). Este resultado mostra que no tempo de 1 dia os corpos-de-prova de todas as formulações se enquadram no grupo BIII de absorção de água como piso poroso/ azulejo fino ($AA > 10\%$) da classificação e definição dos revestimentos cerâmicos de acordo com a norma CEN-EN 87 (Pinheiro, 2010). No tempo de 7 dias os corpos-de-prova da formulação FB se enquadram no grupo de BIIa de absorção de água como produto de semi-grês ($3\% < AA < 6\%$), diferente das formulações FA (23,45%), FC (15,33%) e FD (14,63%) que se enquadram no grupo BIII ($AA > 10\%$) como piso poroso/ azulejo fino.

No tempo de 28 dias os corpos-de-prova da formulação FB se enquadram no grupo BIb – grês ($0,5\% < E < 3\%$), já as formulações FA e FC se enquadram no grupo BIIa – semi-grês ($3\% < AA < 6\%$) e FD no grupo BIII como piso poroso/ azulejo fino ($AA > 10\%$). Este comportamento está atribuído a grande quantidade de poros dos corpos-de-prova, sendo oriundos do processo de compactação e do tempo de cura, sendo responsável pelo fechamento e arredondamento parcial dos poros. Todas as formulações analisadas apresentaram aumento da densidade com a elevação do tempo de cura. As formulações analisadas apresentam-se superiores devido à presença em maior quantidade de fundentes quando comparada a formulação FA (Pinheiro, 2010). Os resultados são coerentes com a literatura e evidenciam o comportamento de densificação dos corpos de prova com o aumento do tempo de cura das placas solo-cimento.

Assim como as propriedades de densidade aparente, percebe-se que a tensão de ruptura à compressão aumentou de acordo com o aumento do tempo de cura. Os corpos-de-prova apresentaram resistência mecânica à flexão de 4,71 a 12,31 MPa em 1 dia, sendo o mais resistente a flexão os corpos-de-prova da formulação FD (12,31 MPa). Os corpos-de-prova das formulações curadas em 7 dias apresentaram resistência à flexão entre 6,92 e 17,80 MPa, sendo o FB (17,80 MPa) o mais resistente. Já as formulações curadas em 28 dias apresentaram valores de resistência mecânica à flexão entre 14,18 e 22,79 MPa, apresentando o maior valor a formulação FA (22,79 MPa) e em seguida FB (20,17 MPa).

É importante salientar que a ABNT não classifica os revestimentos quanto à resistência à compressão, embora cite como fazer o ensaio. Contudo, a norma Européia UNI EN 100, faz referência ao valor médio que deve apresentar a TRC em MPa > 20 , para um revestimento prensado. De acordo com esta informação, percebe-se que corpos de prova das formulações FA e FB atingiram a marca ideal de resistência à flexão, atingindo 22,79 e 20,17 MPa no tempo de cura de 28 dias.

4. CONCLUSÃO

As placas solo-cimento com adição de resíduos da extração de ouro estudadas no presente trabalho apresenta bom potencial para sua utilização, em particular, para produção de um material de construção civil com baixo impacto ambiental, como atestam os resultados práticos. As análises químicas e mineralógicas do resíduo mostraram a presença de óxidos fundentes e fases minerais de baixo ponto de fusão. Isto explica a formação de fase vítrea em baixas temperaturas e gresificação dos corpos-de-prova. Portanto, a presença de óxidos fundentes, juntamente com o baixo tamanho de partícula, favorecem à redução da energia gasta no processo de beneficiamento e queima deste material. Com base nos resultados da caracterização tecnológica as formulações FA, FB, FC e FD (75, 80, 85 e 90% em peso de resíduos, respectivamente) apresentam bom potencial para aplicações cerâmicas. Os corpos de prova podem ser classificados de acordo com a NBR 13.818 como BIIa, e apresentam resistência mecânica suficientemente alta para diferentes aplicações, como, por exemplo, placas cerâmicas para revestimento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do IFBA e a disposição do laboratório de pesquisa de engenharia de materiais e mecânica da UFRN para a execução do trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 13.818: Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 78 p., 1997.
- Betjetin, A, 1977. Curso de Mineralogia. Traduzido do russo por L. Vládov. 3 ed. Moscou: Editorial Mir, 739 p.
- Miele, P.H., 2009. Avaliação do tijolo modular se solo-cimento como matérias na construção civil. Universidade estadual paulista, instituto de geociências e ciências exatas campus de Rio Claro.

- Moraes, M. L. V. N., 2007. Aproveitamento de resíduo de beneficiamento do caulim na produção de porcelanato cerâmico. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Pinheiro, B. C. A.; Silva, A. G. P.; Holanda, J. N. F., 2010. Uso de Matérias-Primas do Rio Grande do Norte na Preparação de Massa Cerâmica para Grês Porcelanato. *Cerâmica Industrial*, v.15, p. 29-33.
- Silva, J. B. *et al.*, 2005. Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. *Cerâmica Industrial*, cerâmica 51, p. 325-330.
- Silveira, P. E. M., 2005. A aplicação do resíduo de construção edemolição reciclado no compósito solo-cimento. Universidade estadual paulista instituto de geociências e ciências exatas campus de Rio Claro.
- Souza, M. I. B., 2006. Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento. Universidade estadual paulista. Faculdade de engenharia de ilha solteira.
- Vieira, J. D. P., 2007. Estudo do efeito da substituição de caulim na fabricação de cerâmica de revestimento. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

CONSTRUCTION MATERIAL PRODUCTION CIVIL ENVIRONMENTAL IMPACT LOW: WASTE UTILIZATION OF GOLD EXTRACTION PLATES IN SOIL-CEMENT

Allana Quelle Pereira de Jesus, allanaquelle@gmail.com¹

William Guterres Oliveira, maioneguterres@gmail.com¹

Tercio Graciano Machado, gracianomil@hotmail.com¹

Vitor Otávio Silva Teixeira de Souza, vostsouza@gmail.com¹

Elione Moura Carlos, elionemoura@hotmail.com²

Raimison Bezerra de Assis, raimisondeassis@hotmail.com¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) – Campus Jacobina, Av. Centenário, 500 – Bairro Nazaré – Jacobina/ BA, CEP 44.700-000, Brazil.

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (UFRN), Av. Sen. Salgado Filho, 3000 – Bairro Lagoa Nova – Natal/ RN, CEP 59.078-970, Brazil.

Abstract. *The mining and gold processing industries generate a lot of waste that pollute and degrade the environment. Gold processing residues are being studied due to the large impact to the environment caused by improper disposal of this material and the great potential for incorporation into ceramic bodies. Residues present no plastic behavior, as well as in ceramics its constituents are mostly oxides, which are attractive to ceramics and cement industry. To assess the technical feasibility of this waste in the production of soil-cement boards, chemical and mineralogical analysis by XRF and XRD was carried out, respectively. He told with assays of technological properties to assess the influence of the addition of waste on physical and mechanical properties of soil-cement boards in order to facilitate its use in the construction industry. The results showed that it is feasible to use waste and gold extraction processing as raw material in the construction industry, thereby enhancing the insertion of new materials for this sector, increasing the range of raw materials, thus minimizing the environmental impact and providing a sustainable alternative.*

Keywords: *soil-cement, gold waste, Recovery of waste, low impact, ceramics industry.*