

Caracterização de resíduos telha cerâmica vermelha de fontes distintas visando proposta coprocessamento como matéria-prima para clínquer Portland

Cristopher Antonio Martins de Moura*, Rogério Barbosa da Silva*, Greyce Bernardes de Mello Rezende* e Alex Neves Junior†

Resumo

Um dos grandes impactos das atividades humanas na natureza advém da extração de matérias-primas para industrialização. A produção de cimento Portland, é responsável por 5-7% do total de emissões globais de CO₂ e, conseqüentemente, contribui para o aquecimento global. Além disso, nos canteiros de obras civis, há intensiva geração de resíduos que causam impactos ambientais. Entre as alternativas para superar esse problema, desdobra-se a possibilidade de investigar soluções acerca da produção de cimento Portland a fim de reduzir esse impacto negativo. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar resíduos de telha cerâmica vermelha de fontes distintas por meio das técnicas analíticas difração de raios-X e fluorescência de raios-X, buscando verificar a possibilidade da inclusão desse resíduo como matéria-prima para produção de cimento Portland propondo dessa forma, uma possibilidade de coprocessamento para compor um aglomerante alternativo. Os resultados de difração de Raios-X mostraram que todos os resíduos analisados apresentaram sílica e em dois deles observou-se também óxido de ferro. A análise de fluorescência de raios-X mostrou que todos os resíduos apresentaram sílica, alumina e óxido de ferro, que são alguns dos principais compostos dos clínqueres Portland. No entanto, observou-se grande dispersão na composição entre resíduos de fontes distintas, permitindo supor que há possibilidade de utilização dos resíduos estudados para produzir um aglomerante alternativo por meio de uma dosagem que considere sua composição.

Palavras-chave

Coprocessamento, resíduos da construção civil, telha cerâmica vermelha, clínquer Portland.

Characterization of red ceramic tile residue from different sources aiming at co-processing as a raw material for Portland clinker

Abstract

One of the huge impacts of the human activities in nature is from the raw material withdrawal for manufacturing. The cement Portland production is responsible for 5-7% of the total global emissions of CO₂ and therefore leading to the global warming. Thus, in the site constructions there is an intensive waste production, which cause environmental impact. Amid the alternative to overcome such problem, unfolds the possibility to investigate solutions regarding the cement Portland production, in order to reduce that negative impact. On that way, the present work had the aim to evaluate the red ceramic waste from roof tile from different sources, by analytic techniques such as X-ray diffraction, X-ray fluorescence, looking to verify the possibility to include such residue as raw material for cement Portland production, presenting a possibility of co processing to make up a alternative binder. The X ray diffraction results showed that all the residues analyzed presented silicon and two of them observed iron oxide as well. The X ray fluorescence results showed that all the residues presented silicon, aluminum and iron oxide which are some of the main compounds of the cement clinker. However, it was observed huge dispersion in the composition amid residues of distinct sources, allowing wonder that there is a possibility of use the studied residues to produce an alternative binder by a dosage that considers such composition.

Keywords

Coprocessing, civil construction's residues, red ceramic tile, Portland clinker.

*Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra (ICET), Barra do Garças, Mato Grosso, Brasil; †Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra (ICET), Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia (FAET), Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. E-mails: cristopherantonio@live.com, rogerio_matematica@hotmail.com, greycebernardes@yahoo.com.br, alexnevesjr@hotmail.com.

I. INTRODUÇÃO

A indústria de cerâmica vermelha possui uma participação de 4,8% na indústria da construção civil atingindo faturamento anual de R\$ 18 bilhões [1], sendo fornecedora de uma variedade de produtos aplicados ao setor da construção civil. Setor este que atualmente, se destaca como grande gerador de resíduos no Brasil [2].

Especialmente no que se refere aos produtos de cerâmica vermelha, sua fragilidade, característica comum aos materiais cerâmicos, contribui para perdas associadas ao transporte, carregamento e descarregamento, armazenamento e aplicação desses produtos.

Dentre as variedades de resíduos de cerâmica vermelha (RCV), os resíduos provenientes de telhas se destacam em relação aos demais pela nobreza que tal descarte apresenta exibindo, em geral, pouca contaminação, facilitando sua aplicação e suprimindo etapas adicionais de beneficiamento. Vários argumentos favoráveis impulsionam a utilização de resíduos da construção civil (RCC) para a produção de novos materiais por meio de processos de reciclagem, dentre eles a abundância desses resíduos e o impacto ambiental que causam quando dispostos inadequadamente.

Dessa forma, observa-se a necessidade de se implementar práticas que visem uma destinação adequada que torne a utilização do resíduo vantajosa de modo que este seja incorporado novamente à cadeia produtiva gerando ganhos econômicos e ainda se possa proteger o meio ambiente através de práticas sustentáveis.

Uma forma de aplicação de resíduos que visa reintrodução destes à cadeia produtiva é o coprocessamento em indústrias que surge como uma prática de gestão de resíduos sendo a indústria cimenteira um exemplo onde o coprocessamento é aplicado por meio da queima de resíduos nos fornos de cimento substituindo matérias-primas e combustíveis no processo pelos resíduos adquiridos [3].

A composição do cimento Portland consiste, basicamente, em materiais calcários (CaCO_3), alumina (Al_2O_3), sílica (SiO_2) e óxido de ferro (Fe_2O_3) [4], sendo que as argilas são as fontes de sílica adicional preferíveis para a fabricação do cimento, pois as argilas contêm alumina (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3) e álcalis, de modo que a existência dos íons de alumínio, ferro e magnésio no interior da mistura bruta tenha efeito mineralizante [5].

Sendo o resíduo de cerâmica vermelha um material abundante nas obras correntes, evocando o processo produtivo do cimento Portland e a composição das argilas, levanta-se a hipótese da aplicabilidade do resíduo de cerâmica vermelha, que é composto por argila calcinada de diferentes fontes, como matéria-prima para produção de um aglomerante hidráulico que reduzido impacto ambiental, possivelmente análogo ao cimento Portland, produzido por coprocessamento do resíduo de telha cerâmica vermelha de fontes distintas em substituição à argila utilizada no processo convencional.

Buscando-se realizar a caracterização dos resíduos e estudar uma proposta de coprocessamento, foram obtidos resíduos de três fontes diferentes provenientes de descarte de obras e depósitos para associação desses resíduos como possível matéria-prima para sintetização de um aglomerante de reduzido impacto ambiental, no qual, para sua produção, se aplicariam técnicas de coprocessamento. O presente trabalho

avaliou amostras de resíduo de telha cerâmica vermelha, por meio do método analítico difração de raios-X (XRD) e fluorescência de raios-X (FRX), de modo a identificar similaridade e distinções na composição dos resíduos.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os modelos construtivos adotados no Brasil contribuem para produção de resíduos nos empreendimentos de edificações, fato evidenciado quando, por exemplo, se compara as taxas de geração de resíduos para obras novas de países desenvolvidos, que são menores que 100 kg/m^2 , enquanto no Brasil os índices podem atingir 300 kg/m^2 , sendo estes resíduos predominantemente de classe A, que são passíveis de reciclagem [6].

Como é demonstrado por [7], os resíduos da construção civil são compostos por uma grande variedade materiais, tais como tijolos, blocos cerâmicos, rochas, colas e compensados, dentre outros materiais.

Apesar da variedade de materiais que compõe o chamado entulho (caliça ou metralha), no Brasil, existem alguns materiais que estão em maior proporção advindos de obras correntes, fato evidenciado quando se analisa alguns trabalhos realizados no país.

Em uma análise de duas coletas de resíduos da capital Maceió/AL, foi demonstrado que o percentual médio de material cerâmico na composição do entulho foi de 48,15% [8]. Neste contexto, também foram identificadas proporções expressivas de resíduo de cerâmica vermelha compondo os resíduos coletados em São Leopoldo/RS, Porto Alegre/RS e Novo Hamburgo/RS: 32,8%, 35,6% e 23,2%, respectivamente [9]. Destaca-se também os resultados encontrados sobre RCD em Fortaleza/CE: os constituintes principais foram argamassa, concreto e cerâmica vermelha que, em média, corresponderam a 38%, 14% e 13%, respectivamente, da massa do RCD [10].

Através desses estudos, percebemos que há grande quantidade de resíduos de cerâmica vermelha gerado nas obras, destacando que o mesmo é classificado por [7] como classe A, podendo ser reutilizado ou reciclado como agregados, por exemplo.

Outrossim, a cerâmica é definida como sendo um tipo de pedra produzida artificialmente que resulta de uma série de processos, nos quais são feitas moldagem, secagem e cozedura de argilas ou misturas que contenham argilas, sendo composta principalmente por argilo-minerais e apresentando-se em diversos tipos, dentre elas as argilas para materiais cerâmicos estruturais [11].

A extração das argilas para produção dos artefatos ocorre a céu aberto, sendo posteriormente armazenada cobertas por lona plástica onde se processa decomposição da matéria orgânica e sais solúveis, o que melhora a conformação do produto [12]. Além disso, as argilas podem passar por outros processos para melhora como aeração e levigação, dentre outros, seguindo da formação da pasta que passa pelo processo de maceração, para se obter partícula menores, correção para se atingir a composição requerida e amassamento [11]. Finalmente é realizada a conformação das peças, para dar forma à peça por extrusão, corte e prensagem [13]. Ao término da conformação das peças, é realizada inspeção visual para identificar as peças adequadas, que serão enviadas ao setor de secagem [12], a qual pode ser desenvolvida naturalmente ou adotando-se processos de secagem artificial [14].

O processo de queima das peças cerâmicas é a etapa mais

importante da fabricação* e [13] complementa que “Nesta fase o produto cerâmico sofre as reações e transformações químicas e físicas necessárias para conceder ao produto as propriedades requeridas.”

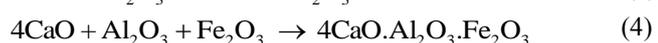
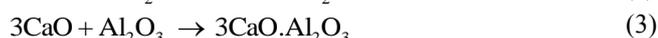
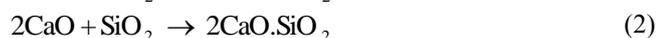
No Brasil, no setor de cerâmica vermelha, não percebe-se pendor pela compreensão das características das argilas que, em geral, são muito heterogêneas dependendo da formação geológica e localização da extração [15]. Além disso, no processo de fabricação, na etapa de preparação da massa ocorre homogeneização de diferentes tipos de argila, além de outros componentes [12].

A argila, além da aplicação na produção de artefatos, é também utilizada na produção de cimento Portland. Este material é produzido principalmente da mistura de materiais cálcicos, sílica e alumina sendo as principais fontes de sílica e a alumina, as argilas e folhelhos [16].

As matérias-primas para produção do cimento Portland são aproximadamente 80% de carbonato de cálcio (CaCO_3), 15% de dióxido de silício (SiO_2), 3% de óxido de alumínio (Al_2O_3), além de outros constituintes em pequenas quantidades [17].

Durante o processo de produção do cimento Portland, na etapa de clínquerização no forno rotativo, onde são atingidas temperaturas da ordem de 1450°C , formam-se os compostos que atribuem ao cimento as principais características e propriedades, sendo os principais compostos o silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) e ferroaluminato tetracálcico ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), identificados pelas abreviaturas C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF , respectivamente [4].

As equações 1, 2, 3 e 4 demonstram aproximadamente a reação de formação desses compostos, como apresentado por [18].



Destaca-se que o silicato tricálcico contribui principalmente para a resistência nas primeiras quatro semanas do processo de hidratação, o silicato dicálcico colabora principalmente para a resistência a partir de quatro semanas do processo de hidratação, o aluminato tricálcico colabora muito pouco para a resistência do cimento, exceto entre um e três dias e o ferroaluminato tetracálcico tem contribuição insignificante na resistência mecânica [4].

Nas últimas décadas, diversos autores se empenharam no sentido de analisar ou apresentar propostas que incorporassem os resíduos aos processos produtivos e construtivos, como já é feito atualmente na indústria cimenteira.

Como exemplo, cita-se a pesquisa que buscou estudar a influência da utilização de agregados reciclados de RCD para produção de concretos, obtendo resultados que demonstram viabilidade na utilização de agregados graúdos e miúdos reciclados na produção de concreto [19].

Num contexto diferente, o trabalho realizado por [20] investigou o potencial do uso de resíduos cerâmicos como material de substituição parcial do cimento Portland em

argamassas e concretos, concluindo, dentre outras coisas, que a substituição parcial do cimento Portland por 20% e 40% de resíduos cerâmico, retiveram ainda 95% e 89% da resistência das amostras de controle, respectivamente.

Mais recentemente [21] utilizaram resíduo de cerâmica vermelha moído objetivando a produção de uma adição mineral combinado com um cimento Portland de alta resistência inicial, obtendo-se, dentre outros resultados, desempenho mecânico superior aos cimentos comerciais, indicando o resíduo como uma potencial alternativa de adição mineral.

Dessa forma, observa-se que há busca pela reinserção do resíduo de cerâmica no setor da produtivo. Diversas aplicações, como as demonstradas, atingiram resultados favoráveis à implementação do resíduo, o que impulsiona o estudo de mais alternativas sustentáveis.

Como foi mencionado anteriormente, as argilas são fontes de sílica e alumina, que são compostos essenciais para fabricação do cimento Portland. Todavia, devido à grande variabilidade do processo produtivo de artefatos, diferentes fontes, condições de queima, às dosagens da argila durante a fabricação, dentre outros fatores, como a condição da disposição dos resíduos, pode haver grande variedade de composição.

Outrossim, o presente trabalho, analogamente aos apresentados anteriormente, visa uma proposta de introdução dos resíduos na cadeia produtiva. Entretanto, busca-se analisar inicialmente a composição química de resíduos de telhas de cerâmica vermelha de fontes distintas (como depósitos e entulhos de obras) buscando uma proposta de coprocessamento de RCV como matéria-prima para clínqueres Portland substituindo total ou parcialmente a argila extraída da natureza por RCV de fontes distintas.

III. MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como quantitativa e exploratória. A Figura 1 apresenta as etapas de desenvolvimento da pesquisa.



Fig. 1: Etapas de desenvolvimento da pesquisa

Inicialmente foi realizada uma atividade de campo, na qual foram visitados depósitos e obras residenciais objetivando recolher amostras de resíduos cerâmicos. As Figura 2, 3 e 4 apresenta os depósitos e obras visitados.



Fig. 2: Depósito de telhas cerâmicas



Fig. 3: Depósito de materiais de construção



Fig. 4: Caçamba estacionária com entulho de obra residencial

Com relação aos depósitos mostrados nas Figuras 2 e 3, foi possível observar o expressivo volume de material que será descartado comparado ao volume armazenado para venda. Num contexto diferente dos depósitos, observa-se da mesma forma, na Figura 4, a grande quantidade de resíduos de cerâmica a ser descartado alojado em caçambas, que segundo [22], devem possuir volumes nominais de 3 m³, 4 m³, 5 m³ e 7 m³, o que permite avaliar indiretamente a expressiva quantidade de resíduo para descarte alojado nesse equipamento.

Os resíduos de telha cerâmica vermelha recolhidos na etapa de campo são mostrados na Figura 5. Foram recolhidas amostras de três marcas distintas, sendo identificadas genericamente como Telha 1, Telha 2 e Telha 3, provenientes dos entulhos de obra e depósitos.



Fig. 5: Telhas cerâmicas recolhidas de entulhos

Observa-se que as telhas recolhidas apresentam algumas fraturas, incrustações e rebarbas, além de apresentar som semelhante ao metálico quando percutidas.

O comportamento dos materiais cerâmicos é superior aos demais em diversos aspectos, entretanto, há também características negativas, como a ruptura frágil [23].

Dessa forma, as atividades de transporte, carregamento, descarregamento bem como o acondicionamento inadequado dos artefatos e o descuido no manuseio são fatores que associados à fragilidade das peças, gera uma grande quantidade de resíduos, como foi constatado nas obras e depósitos visitados.

Para o desenvolvimento das etapas subsequentes, os resíduos foram inicialmente separados e higienizados para retirada de incrustações e impurezas superficiais provenientes das atividades envolvidas na obra ou da exposição prolongada às intempéries.

Na sequência, fez-se o beneficiamento dos resíduos em questão por meio de cominuição manual com auxílio de almofariz e pistilo de Ágata e separação das granulometrias mais finas com auxílio do vibrador mecânico de peneiras buscando-se obter um material pulverulento para análise.

A etapa 4 e 5 consistiu na expedição das amostras ao Laboratório Multiusuário de Técnicas Analíticas (LAMUTA), instalado na Faculdade de Geociências da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) que colaborou fornecendo a caracterização dos resíduos por meio das técnicas analíticas denominadas difração de Raios-X (XRD) e fluorescência de raios-X (FRX).

As análises de XRD para a caracterização mineralógica das amostras foram realizadas utilizando porta-amostra de preenchimento frontal. Utilizou-se um equipamento *Shimadzu modelo XRD-6000* equipado com tubo de cobre e monocromador de grafite, em geometria de Bragg-Brentano. Os perfis foram adquiridos nas faixas entre 5° e 80°, com passos de 0,02°, tempo de aquisição por passo de 1,20 segundos, fendas de divergência e espalhamento de 1°, velocidade de varredura de 2,0000 graus/min e fenda de recepção de 0,30 mm. Os erros experimentais foram determinados como sendo menores que o passo angular utilizado (0,02°), por meio da medida de um padrão de silício em pó. Para interpretação dos resultados obtidos, foi utilizado um software de identificação de compostos a partir de dados da difração de raios-X (XRD) de pó para assimilação por meio da comparação do padrão de difração da amostra com um banco de dados contendo padrões de referência.

Para a análise química por FRX, de modo a obter-se a composição química em óxidos de cada amostra, foram preparadas pastilhas prensadas a partir do pó pulverizado e depois foram realizadas análises quantitativas com equipamento *Shimadzu EDX -700HS*, capaz de realizar análises quantitativas por meio de padrões internos, através da rotina *Qual-Quant FPC*. Foi utilizado um feixe de 10 mm de diâmetro e tensões no tubo de 15 e 50 kV, respectivamente, para a detecção dos elementos do Sódio (Na) ao Escândio (Sc) e do Titânio (Ti) ao Urânio (U). Todos os espectros foram adquiridos em vácuo, de maneira a melhorar a precisão das medidas para os elementos mais leves.

IV. RESULTADOS

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam os espectros de difração de raios-X (XRD) obtidos por meio do tratamento dos dados provenientes das análises dos resíduos beneficiados de telha cerâmica vermelha.

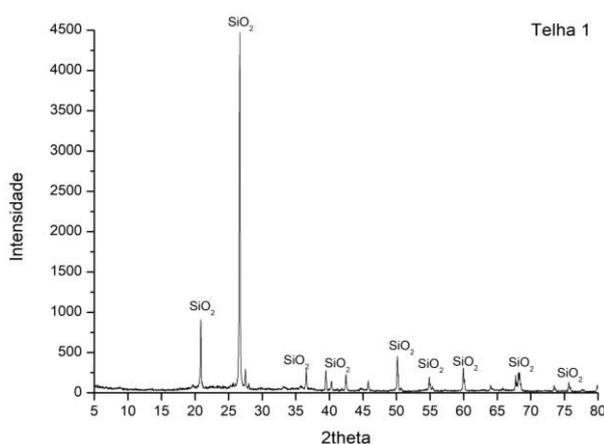


Fig. 6: Difratograma-Telha 1

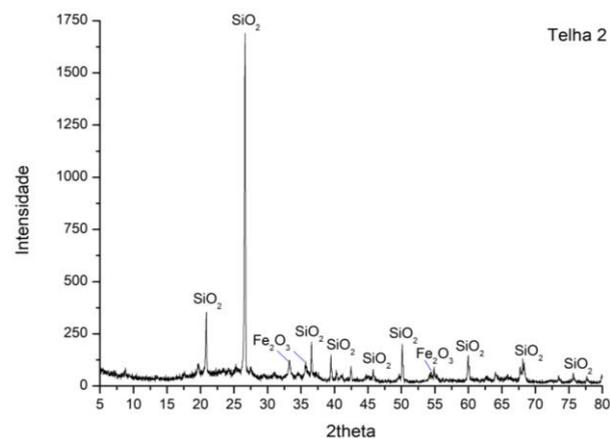


Fig. 7: Difratograma-Telha 2

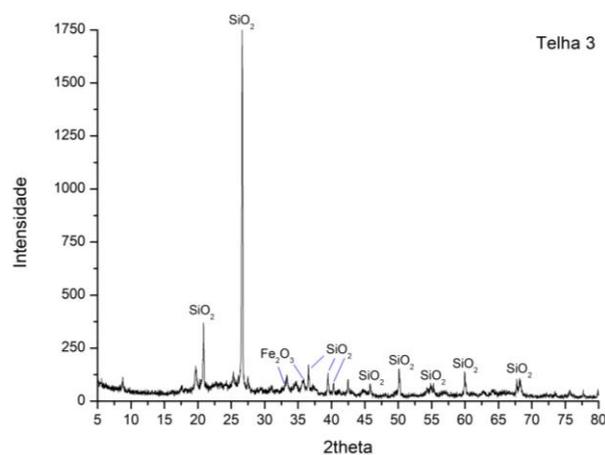


Fig. 8: Difratograma-Telha 3

Observa-se que para as três amostras analisadas foi identificada sílica e, particularmente, foi identificado óxido de ferro na amostra das telhas 2 e 3. Verifica-se similaridade na mineralogia das amostras. Tanto a sílica quanto o óxido de ferro são compostos essenciais para a produção de cimento Portland estando presentes na composição das argilas comumente utilizadas na fabricação do mesmo. Tais compostos são essenciais para formação de silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) e ferroaluminato tetracálcico ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), que por sua vez, são alguns dos principais compostos do cimento Portland, sendo que os silicatos são os compostos que mais contribuem para a resistência das argamassas e concretos [4].

A Tabela I mostra os resultados da análise de fluorescência de raios-X (FRX), realizadas com as amostras, indicando a composição química em óxidos de cada resíduo.

TABELA I: FRX de resíduos beneficiados de telha cerâmica vermelha

Composição química em óxidos dos resíduos de telha cerâmica vermelha (% em massa)							
Resíduos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	SO ₃	Outros
Telha 1	69,250	19,052	6,431	2,057	0,540	0,109	2,561
Telha 2	57,871	24,526	11,026	2,500	0,483	-	3,593
Telha 3	54,149	29,531	10,086	2,557	-	-	3,677

Verifica-se positivamente que as Telhas 1,2 e 3 possuem altos teores de sílica (SiO_2) sendo predominante na composição de todos os resíduos, conforme observa-se também nos resultados de [15], na caracterização de argilas utilizadas industrialmente para a produção de blocos cerâmicos.

Além disso, observa-se elevados teores de alumina (Al_2O_3), que forma na clínquerização o C_3A , composto que reage com água causando pega instantânea. Identifica-se também teores consideráveis de óxidos fundentes como Fe_2O_3 , CaO e K_2O . Observou-se ainda a variabilidade das composições desses resíduos de fontes distintas o que pode dificultar a aplicação do mesmo como matéria-prima.

No contexto da produção dos artefatos de argila, há que se considerar a etapa de dosagem das argilas, que passam por processos de melhora da sua composição de acordo com a finalidade e exigências para o produto final [11]. Como é destacado por [24], a preparação da massa para produção dos artefatos, que é em geral composta por dois ou mais tipos de argila, é feita com misturas de argilas denominadas “gordas”, caracterizada pela plasticidade, granulometria fina e composição essencialmente de argilominerais com argilas denominadas “magras”, caracterizadas pela menor plasticidade e maior concentração de quartzo, sendo considerada como um redutor de plasticidade.

Dessa forma, apesar de os resíduos analisados no presente trabalho apresentarem composição típica de argila para cerâmica vermelha, observou-se substanciais diferenças na composição dos resíduos de fontes distintas. Além das diferenças que ocorrem naturalmente nas jazidas, há também aspectos do processo produtivo que influenciam bem como a forma de disposição do resíduo em entulhos e depósito que pode explicar a variabilidade da composição dos resíduos.

Em seu trabalho sobre a reatividade e a queima de misturas para cimento contendo resíduos de cerâmica branca e vermelha, [25] observaram que a composição mineralógica e a distribuição nos clínqueres produzidos foram comparáveis às propriedades do clínquer fabricado com matérias-primas comumente utilizadas, concluindo, dentre outras coisas, que a mistura dos resíduos de cerâmica branca e vermelha demonstraram uma indicação promissora de que a separação dos resíduos cerâmica branca e vermelha seria desnecessária para os propósitos descritos no trabalho.

Assim, mesmo havendo variabilidade entre resíduos de fontes distintas caracterizados na presente pesquisa, propõe-se por meio dos resultados obtidos que há possibilidade de utilização do resíduo de telha cerâmica vermelha de fontes distintas desde que se busque dosagens experimentais que considerem a composição potencial de um clínquer por meio da composição das matérias-primas obtidas.

V. CONCLUSÕES

As análises de XRD indicaram presença de sílica (SiO_2) e óxido de ferro (Fe_2O_3), que são compostos importantes produção do cimento Portland. Além disso, por meio das análises de FRX verificou-se positivamente que as matérias-primas possuem altos teores de sílica (SiO_2), predominante na composição química em óxidos de todos os resíduos, bem

como elevados teores de alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3).

Além disso, observou-se também que há variabilidade na proporção dos compostos, o que era esperado devido aos diversos fatores como as várias composições possíveis para argila, aspectos relacionados a fonte, processo produtivo, dosagens e correções.

Todavia, a presença e predominância de compostos típicos da matéria-prima para clínquer Portland, prescreve a possibilidade de se estudar e desenvolver uma dosagem que inclua proporções de RCV de telha beneficiado em substituição à argila extraída na natureza na fabricação de cimento Portland.

O presente estudo, que se restringe inicialmente aos descartes de telha cerâmica vermelha, posteriormente poderá ser estendido aos resíduos de blocos cerâmicos, que representam grande proporção do entulho de obras correntes, de forma que esse procedimento poderá representar mais um passo para o desenvolvimento de construções sustentáveis, já que um material que antes era tido como um descarte de obra, enviado comumente à lixões e aterros, passa a representar possibilidade de incorporação do resíduo como uma nova matéria-prima para produção de um dos materiais mais utilizados pela humanidade, o cimento Portland.

VI. AGRADECIMENTOS

Os dados de difração de raios-X (XRD) e fluorescência de raios-X (FRX) apresentados neste texto se baseiam no estudo, tratamento e interpretação de dados provenientes de análises realizadas pela equipe do Laboratório Multiusuário de Técnicas Analíticas (LAMUTA), Faculdade de Geociências da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), ao Instituto de Física da UFMT e à equipe do projeto da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) # 01.04.0121.00, aos quais os autores agradecem pela colaboração e auxílio na realização das medidas. Os autores também estendem os agradecimentos à equipe Laboratório de Estudos de Materiais (LEMat-UFMT/CUA) por disponibilizarem generosamente o espaço e os equipamentos para desenvolvimento da pesquisa.

VII. BIBLIOGRAFIA

- [1] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA (ANICER). RELATÓRIO ANUAL: 2015. 2016. 38 p. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/wp-content/uploads/2016/11/relatorio_2015.pdf>. Acesso em 20 nov. 2017.
- [2] NAGALLI, A. Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 176 p.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). PANORAMA DO COPROCESSAMENTO - Brasil 2017. 2017. 20 p. Disponível em: <http://coprocessamento.org.br/cms/wp-content/uploads/2018/06/Panorama-coproprocessamento_2017.pdf> Acesso em 20 ago. 2018.
- [4] NEVILLE, A.M. Propriedades do Concreto. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.
- [5] MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concrete: microstructure, properties and materials. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006. 659 p.
- [6] NOVAES, M.V.; MOURÃO, C.A.M.A. Manual de Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos na Construção Civil. 1. ed. Fortaleza: Coopercon – Cooperativa da Construção Civil do

Estado do Ceará, 2008. 100 p.

[7] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). RESOLUÇÃO N° 307, de 5 de julho de 2002. Alterada pela Resolução N° 469/2015, Resolução N° 448/2012, Resolução N° 431/2011 e Resolução N° 348/2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em 12 nov. 2017.

[8] VIEIRA, G.L. Estudo do Processo de Corrosão Sob Ação de Íons Cloreto em Concretos Obtidos à Partir de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2003.

[9] LOVATO, P.S. Verificação dos Parâmetros de Controle de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição para Utilização em Concreto. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2007.

[10] OLIVEIRA, M.E.D.; SALES, R.J.M.; OLIVEIRA, L.A.S.; CABRAL, A.E.B. DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO E DA COMPOSIÇÃO DOS RCD DE FORTALEZA/CE. ENG SANIT AMBIENT, v. 16, n. 3, p. 219-224, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n3/v16n3a03>>. Acesso em 11 nov. 2018.

[11] VERÇOSA, E.J. Materiais Cerâmicos. In: BAUER, L.A.F. (Org.); Materiais de Construção – Volume 1. Revisão Técnica de João Fernando Dias. 5. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 447 p.

[12] FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (FIEMG); FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (FEAM). GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA. Belo Horizonte: 2013. 59 p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_ceramica.pdf>. Acesso em 11 nov. 2018.

[13] BASTOS, F.A. Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto. 2003. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa De Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.

[14] AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). ESTUDO TÉCNICO SETORIAL DA CERÂMICA VERMELHA: Subsídios para a Elaboração do Plano de Desenvolvimento Sustentável da Cadeia Produtiva de Cerâmica Vermelha. Brasília. 265 p. Disponível em: <https://old.abdi.com.br/Estudo/05prova_p%C3%A1gina%20C3%BAnica%20-%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha.pdf>. Acesso em 29 jul. 2017.

[15] MACEDO, R.S. et al. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. Cerâmica, São Paulo, v.54, n.332, p. 411-417. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v54n332/05.pdf>>. Acesso em 12 ago. 2017.

[16] NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. Tecnologia do Concreto. 2. ed. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

[17] TOSTA, L.I.; SOUZA, A.C.; SILVA, R.J. Gestão da Energia na Produção de Cimento Portland com Uso de Mineralizadores e Combustíveis Alternativos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007. Foz do Iguaçu-PR. Anais...Foz do Iguaçu. 2007.

[18] PAULA, L.G. Análise Termoeconômica do Processo de Produção de Cimento Portland com Co-processamento de Misturas de Resíduos. 2009. 158 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa De Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2009.

[19] LEITE, M.B. AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO. 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.

[20] VIEIRA, A.A.P. ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA COMO SUBSTITUIÇÃO POZOLÂNICA EM ARGAMASSAS E CONCRETOS. 2005. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa De Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2005.

[21] CASTRO, A. L.; SANTOS, R. F. C.; GONCALVES, K. M.; QUARCIONI, V. A. Caracterização de cimentos compostos com resíduo da indústria de cerâmica vermelha. Cerâmica, São Paulo, v. 63, n. 365, p. 65-76, mar. 2017. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132017000100065&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acessos em 12 nov. 2018.

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14728: Caçamba estacionária de aplicação múltipla operada por poliguidaste - Requisitos de construção. Rio de Janeiro, 2005.

[23] ZANOTTO, E.D.; MIGLIORE JR., A.R. Propriedades mecânicas de materiais cerâmicos: Uma introdução. Cerâmica, v.37, n.247, p. 7-16, jan./fev. 1991. Disponível em: <<http://www.lamav.ufscar.br/artpdf/c37m.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

[24] MOTTA, J.F.M.; ZANARDO, A.; CABRAL JR., M. As matérias-primas cerâmicas. Parte I: o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. Cerâmica Industrial, São Paulo, v.6, n.2, p. 28-39, mar./abr. 2001. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v06n02/v6n2_4.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2017.

[25] PUERTAS, F.; GARCÍA-DÍAZ, I.; BARBA, A.; GAZULLA, M.F.; PALACIOS, M.; GÓMEZ, M.P.; MARTÍNEZ-RAMÍREZ, S. Ceramic wastes as alternative raw materials for Portland cement clinker production. Cement and Concrete Composites, v. 30, Issue 9, p. 798-805, 2008.