

Avaliação da resistência à compressão de pastas produzidas com substituição parcial do cimento Portland por aglomerante de reduzido impacto ambiental

Evaluation of the compressive strength of pastes produced with partial replacement of Portland cement with a low environmental impact agglomerant

Cristopher Antonio Martins de Moura, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Mato Grosso.

crisopherantonio@live.com

Rogério Barbosa da Silva, Mestre em Ciência de Materiais, Universidade Federal de Mato Grosso.

rogerio_matematica@hotmail.com

Greyce Bernardes de Mello Rezende, Doutora em Recursos Naturais, Universidade Federal de Mato Grosso.

greycebernardes@yahoo.com.br

Alex Neves Junior, Pós-Doutorado pela University of Michigan, Universidade Federal de Mato Grosso.

alexnevesjr@hotmail.com

Resumo

Uma das causas dos grandes impactos da atividade humana na natureza é a extração de matérias primas para industrialização de produtos. A produção de cimento Portland é responsável por 5-7% de total de emissões globais de CO₂ e por consequência o aquecimento global. Entre as alternativas para contornar essa problemática é investigar soluções acerca da produção de cimento Portland afim de reduzir este impacto negativa. Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar a resistência à compressão de pastas de cimento Portland comercial moldadas com proporções de aglomerante de reduzido impacto ambiental produzido com resíduo de telha cerâmica vermelha em substituição à argila extraída da natureza comumente utilizada no processo. Como complemento, objetiva-se também a caracterização das matérias-primas utilizadas através de Difração de Raios-X (DRX). Concluiu-se que as matérias-primas empregadas apresentam os compostos necessários à produção do aglomerante alternativo e os ensaios de resistência à compressão das pastas de cimento comercial com proporções do aglomerante alternativo evidenciaram resistência análoga ou superior em relação às pastas moldadas somente com cimento comercial.

Palavras-chave: Cimento Portland; Aglomerante de reduzido impacto ambiental; Resíduo de telha cerâmica vermelha; Difração de raios-X

Abstract

One of the great causes of the human being impact in the nature is the withdrawn of raw materials for the industrialization of products. The production of cement Portland is responsible for 5-7% of the total global emissions of CO₂ and hence by the global warming. Among the alternatives to overcome this issue is to investigate solutions regarding the cement Portland production, in order to reduce the negative impact. Therefore, the present research had the objective of evaluating the compressive strength of commercial Portland cement slurries molded with the proportions of reduced environmental impact agglomerant produced with red ceramic tile residue instead of the clay extracted from the nature commonly used in the process. As a complement, the objective is also to characterize the raw materials used through X-ray Diffraction (XRD), evidencing the presence of its compounds. It was concluded that the raw materials employed present the compounds necessary for the production of the alternative agglomerant and the tests of resistance to compression showed similar or superior resistance of the cement with proportions of the alternative agglomerant in relation to the comercial one.

Keywords: Portland cement; Agglomerant with low environmental impact; Red ceramic tile residue; X-ray diffraction.

1. Introdução

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2016), a população brasileira exibiu um crescimento de 0,8% entre os anos de 2014 e 2015, enquanto que a geração per capita de resíduos sólidos urbanos (RSU) alcançou o correspondente a 218.874 t/dia de RSU gerado no país, um crescimento de 1,7% comparado a 2014. Em se tratando de resíduos de construção e demolição (RCD), os municípios recolheram cerca de 45 milhões de toneladas em 2015, representando um aumento de 1,2% de RCD gerado em relação ao ano de 2014.

O crescimento anual na taxa de geração de resíduos tornou-se motivo de preocupação para governos e entidades de proteção ambiental, visto que o aumento da geração de resíduo sem desenvolvimento de políticas públicas poderá ocasionar o aumento dos impactos ambientais relacionados à disposição inadequada de resíduos.

Como é evidenciado pela Resolução CONAMA 307/2002 e por suas alterações, os resíduos da construção civil (RCC) são compostos por diversos materiais. Nessa composição, estão presentes resíduos de telha cerâmica vermelha que, pela classificação dessa resolução, são resíduos de classe A.

Como foi demonstrado por Silva (2015), os resíduos de telha cerâmica vermelha, sob análise de Fluorescência de Raios-X (FRX), apresentam majoritariamente em sua

composição sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e hematita (Fe_2O_3). Tais compostos, de acordo com Neville (2016), estão presentes nas matérias-primas do cimento Portland.

É relevante ressaltar que a sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e hematita (Fe_2O_3) são essenciais para a produção de cimento Portland formando os produtos que conferem características importantes do material como a capacidade de agregar as partículas minerais (agregados).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a resistência à compressão de corpos de prova moldados com pastas de cimento Portland com proporções de 5%, 10% e 15% de aglomerante de reduzido impacto ambiental produzido com resíduo de telha cerâmica vermelha em substituição à argila comumente utilizada no processo de fabricação. Além disso, tem-se como objetivo específico a caracterização das matérias-primas utilizadas para a produção do aglomerante através de Difração de Raios-X (DRX). As proporções adotadas têm caráter experimental e busca-se avaliar as alterações que podem ocorrer no comportamento à compressão dos corpos de prova com relação ao cimento comercial.

2. Matérias-primas para produção de cimento

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC (2013), o cimento Portland é produzido seguindo uma série de etapas, dentre as quais cabe citar: a extração das matérias-primas (calcário e argila), britagem e mistura das matérias-primas, moagem da mistura, homogeneização, calcinação, moagem do clínquer, adições e expedição.

Neville e Brooks (2013) esclarecem que o cimento Portland é produzido principalmente da mistura de materiais cálcicos, sílica e alumina. Encontram-se os materiais cálcicos principalmente no calcário e no giz. Já a sílica e a alumina podem ser encontradas principalmente nas argilas e folhelhos.

Mehta e Monteiro (2006) explicam que as argilas são as fontes preferíveis de sílica adicional para a fabricação do cimento isso porque as argilas contêm alumina, óxido de ferro e álcalis. Os autores explicam também que a existência dos íons de alumínio, ferro e magnésio no interior da mistura bruta tem efeito mineralizante na formação dos silicatos de cálcio da reação, ou seja, esses compostos permitem a formação do silicato de cálcio a temperaturas mais baixas.

Já com relação ao calcário calcítico, este é considerado como uma das matérias-primas básicas para a produção do cimento Portland, sendo constituído por grande porcentagem de carbonato de cálcio (CaCO_3). O calcário participa com cerca de 85% a 95% na fabricação do clínquer apresentando impurezas presentes em sua composição devido processos geológicos (CIA. DE CIMENTOS ITAMBÉ, 2010).

O sulfato de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é adicionado ao clínquer na fase de moagem, juntamente com outras adições de forma a compor os diversos tipos de cimento Portland. O sulfato de cálcio é adicionado à mistura com o intuito de regular o início do tempo de pega e não pode de forma alguma ser excluído da mistura que compõe o cimento Portland (PAULA, 2009).

Steinour (1947) apud Neville (2016) explica a reação que ocorre entre o C_3A e a água é rápida ocasionando enrijecimento instantâneo da pasta. A adição do sulfato de cálcio permite

a formação de sulfoaluminato de cálcio insolúvel ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$). Paulatinamente o C_3A se solubiliza e a composição da mistura é modificada como diminuição sucessiva do teor de sulfato de cálcio.

3. Procedimentos Metodológicos

Gil (2008) explica que o método experimental se baseia em sujeitar os objetos de estudo à influência de determinadas variáveis. O mesmo autor descreve que o método comparativo se trata da investigação de fenômenos, fatos, dentre outros, com objetivo de destacar as diferenças e similaridades. Dessa forma, a presente pesquisa se caracteriza pela aplicação de metodologia experimental e comparativa.

Para a produção do aglomerante de reduzido impacto ambiental a ser adicionado em proporções determinadas ao cimento comercial, foram inicialmente obtidos os materiais utilizados para sintetização. Nesse sentido, foram adquiridos o calcário calcítico industrial, fragmentos de resíduos de telha cerâmica vermelha e gipsita. Também foi adquirido CP II Z - 32 para realização da mistura e estudos comparativos.

O resíduo obtido foi macerado com utilização de almofariz e pistilo de Ágata, de forma a se obter uma matéria-prima para produção do cimento Portland, fazendo a substituição da argila habitualmente utilizada no processo de fabricação pelo resíduo beneficiado de telha cerâmica vermelha. O resíduo beneficiado foi levado ao vibrador mecânico de peneiras para obtenção das frações retidas nas peneiras 0,25 mm; 0,15 mm; 0,075 mm e no fundo. O calcário calcítico também foi peneirado, todavia, pela maior disponibilidade de material, foi possível adotar somente a fração retida na peneira 0,075 mm e o no fundo, buscando a melhoria da reatividade. A Figura 1 apresenta o resíduo beneficiado de telha cerâmica vermelha.



Figura 1: Resíduo beneficiado de telha cerâmica vermelha. Fonte: elaborado pelos autores.

As matérias-primas a serem utilizadas para produção do aglomerante de reduzido impacto ambiental foram caracterizadas através de Difração de Raios-X (DRX). As análises da estrutura cristalina por DRX foram realizados no Laboratório Multiusuário de Técnicas Analíticas (LAMUTA), instalado na Faculdade de Geociências da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

As análises de DRX, visando à caracterização mineralógica das amostras, foram executadas utilizando porta-amostra de preenchimento frontal. A pulverização das amostras ocorreu com a utilização de almofariz e pistilo de Ágata. A análise se deu em 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 90°. Os passos foram de 0,02°, tempo de aquisição por passo de 1,20 segundos, fendas de divergência e espalhamento de 1°. Adotou-se velocidade de varredura de 2,0000 graus/min com fenda de recepção de 0,30 mm. Os erros experimentais foram determinados como sendo menores do que o passo angular utilizado (0,02°), através da medida de um padrão de silício em pó. Os resultados das análises DRX foram inseridos em um software para identificação dos compostos cristalinos presentes por meio da comparação com um banco de dados.

A produção do aglomerante de reduzido impacto ambiental seguiu a partir da dosagem das matérias-primas adotadas. Lima (2011) esclarece que o cimento é produzido com proporções de 75-80% de calcário e 20-25% de argila. Partindo dessa premissa, foi adotada uma proporção de 20% de resíduos beneficiados de telha cerâmica vermelha, em substituição à argila utilizada convencionalmente, e 80% de calcário calcítico industrial.

A mistura foi levada à mufla à temperatura de 1200°C durante três horas. Passado o período de resfriamento do equipamento, seguiu-se a retirada do material calcinado, o qual foi processado com almofariz e pistilo de Ágata. Para conclusão da produção do aglomerante, com vistas a controlar o processo de hidratação do C₃A (aluminato tricálcico), foi adicionado 3% de sulfato de cálcio di-hidratado (gipsita), controlando o tempo de pega.

Produzido o aglomerante de baixo impacto ambiental e tendo posse do cimento comercial, foram preparadas misturas entre esses dois materiais. As misturas continham 5%, 10% e 15% em massa do aglomerante produzido misturado com cimento comercial CP II Z - 32.

Na etapa seguinte, foram produzidos três corpos de prova para cada mistura, os quais foram moldados em fôrmas de PVC com 25 mm de diâmetro e 50 mm de altura (relação altura/diâmetro igual a dois) com superfície untada com óleo vegetal. Depois da moldagem, os corpos de prova foram dispostos em uma bancada sendo cobertos com pano umedecido em água destilada para evitar a perda excessiva de água para o ambiente, preservando a água de amassamento da pasta produzida com relação água-cimento de 0,5 em massa. Nas mesmas condições, foram também produzidos três corpos de prova com pastas produzidas somente com cimento comercial para efeito de comparação.

Passado o período de cura inicial, previsto pela ABNT NBR 5738/2015, os corpos de prova foram submergidos em solução saturada de cal, com vistas a evitar a perda de hidróxido de cálcio para o meio.

Ao completar os 28 dias, os corpos de prova foram ensaiados à compressão no Laboratório de Estruturas da UFMT-CUA, utilizando o equipamento eletrônico universal modelo *WDW30E* da fabricante *TIME Group Inc.*, seguindo preceitos indicados pela ABNT

NBR 5739/2007. O ensaio foi realizado sob as seguintes condições: módulo de carga de 15 kN, taxa de aplicação de força com velocidade constante de 1 mm/min e utilização de neoprene de 5 mm nas duas faces dos corpos de prova. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão foram plotados em eixos tensão-deformação construídos com auxílio do software *Origin* da desenvolvedora *OriginLab*, permitindo realização de comparação gráfica.

4. Resultados e discussão

A Figura 2 apresenta o resultado da análise de difração de raios-X do calcário industrial utilizado na produção do aglomerante de reduzido impacto ambiental.

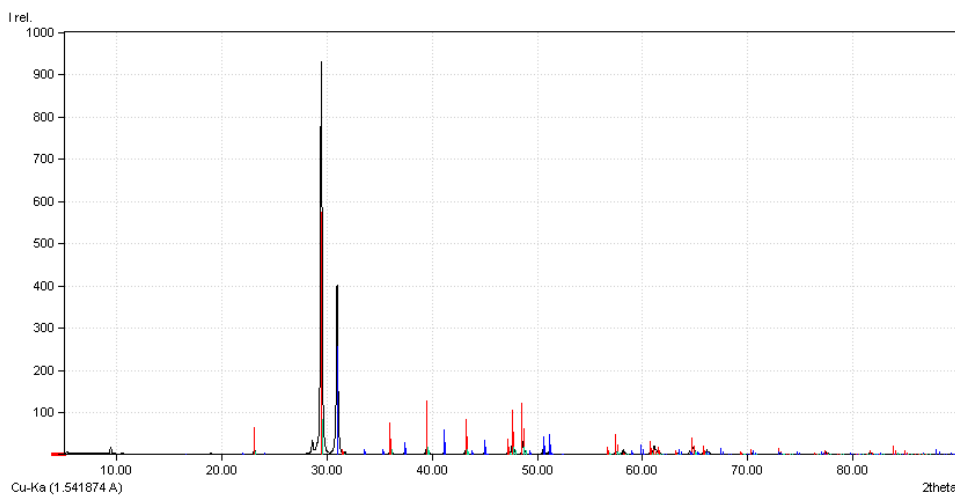


Figura 2: DRX do calcário calcítico industrial. Fonte: elaborado pelos autores.

A análise de difração de raios-X do calcário calcítico industrial (Figura 2) permite observar os picos característicos de carbonato de cálcio (CaCO₃) que, segundo Birkedal et al. (2012), tem a maior intensidade em 29,458°. Além desse composto, também foi possível identificar dolomita (CaMg(CO₃)₂), que apresenta pico de maior intensidade em 30,992° como é indicado por Graf (1961).

Neville (2016) explica que o calcário é umas das principais matérias-primas para produção do cimento porque o silicato tricálcico (3CaO.SiO₂) e o silicato de silicato dicálcico (2CaO.SiO₂), que são os principais responsáveis pela resistência à compressão do cimento, são formados no processo de clinquerização pela reação entre o óxido de cálcio (CaO) e a sílica (SiO₂). Dessa forma, a identificação do carbonato de cálcio (CaCO₃) é um indicativo de que o material obtido pode ser adequado à produção do cimento alternativo em estudo.

A Figura 3 apresenta o resultado da análise de difração de raios-X do calcário industrial calcinado.

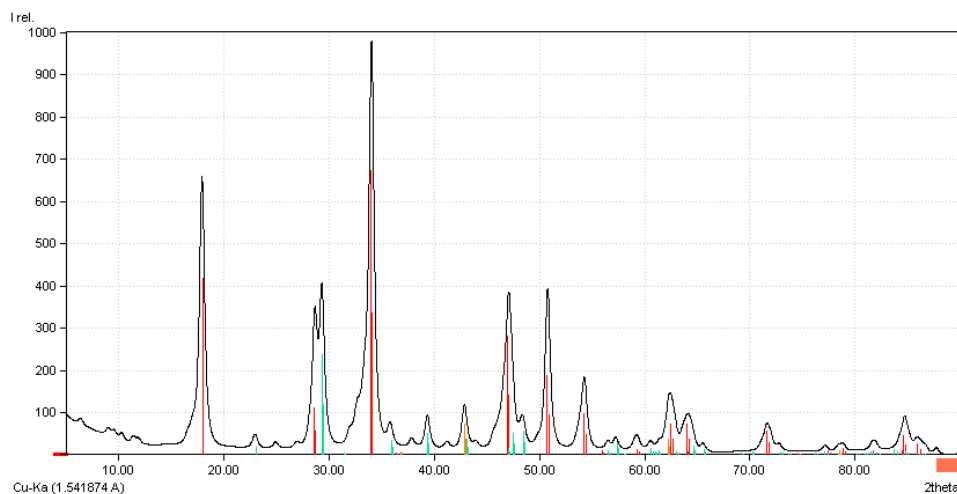


Figura 3: DRX do calcário calcítico industrial calcinado. Fonte: elaborado pelos autores.

A análise de difração de raios-X do calcário calcítico industrial calcinado, apresentada na Figura 3, demonstra os picos característicos de carbonato de cálcio (CaCO_3) na forma de calcita que, segundo Maslen, Streltsov e Streltsova (1993), tem a maior intensidade em $29,420^\circ$. Além desse composto, também foi possível identificar óxido de magnésio (MgO) na forma de periclásio, que apresenta pico de maior intensidade em $42,893^\circ$ como é indicado por Satoshi, Kiyoshi e Yoshio (1979) e hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) com picos de maior intensidade em $18,001^\circ$; $34,059^\circ$; $47,030^\circ$; $50,786^\circ$ e $54,319^\circ$ como indicado por Chaix-Pluchery et al. (1987).

Como exemplificado, a identificação do carbonato de cálcio (CaCO_3) é um indicativo de que o material obtido pode ser adequado à produção do cimento alternativo em estudo já que, como indicado por Neville (2016), dentre as principais matérias-primas utilizadas para produção do cimento, está o calcário.

Foi possível identificar o óxido de magnésio (MgO), que está presente na forma de periclásio, uma vez que a matéria-prima antes da queima apresenta teores de magnésio em sua constituição. Cabe destacar que, de acordo com Neville (2016), o óxido de magnésio constitui um composto secundário no cimento. Mehta e Monteiro (2006) explicam que existência dos íons de magnésio, dentre outro como os de ferro e alumínio, no interior da mistura bruta, tem efeito mineralizante na formação dos silicatos de cálcio da reação, ou seja, permitem a formação do silicato de cálcio a temperaturas mais baixas.

A Figura 4 apresenta o resultado da análise de difração de raios-X do resíduo beneficiado de telha cerâmica vermelha.

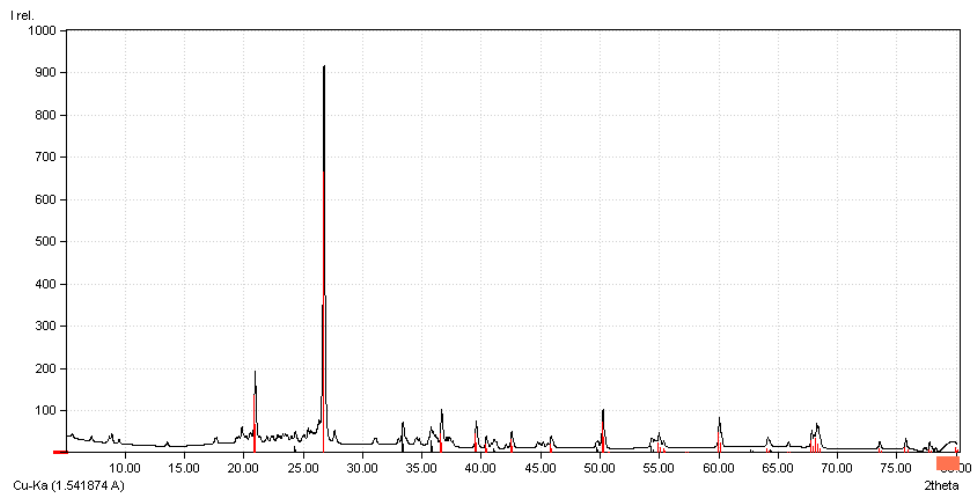


Figura 4: DRX do resíduo beneficiado de telha cerâmica vermelha. Fonte: elaborado pelos autores.

A análise de difração de raios-X (DRX) do resíduo beneficiado de telha cerâmica vermelha permite observar os picos característicos de sílica (SiO_2) que, segundo Will et al. (1988), tem a maior intensidade em $20,881^\circ$, $26,669^\circ$ e $50,198^\circ$. A identificação se torna importante para afirmação da possibilidade da utilização resíduo de cerâmica vermelha (RCV) de telha como matéria-prima para um aglomerante alternativo já que a sílica é um dos compostos essenciais para a produção de cimento Portland.

A Figura 5 apresenta o resultado da análise de difração de raios-X do gesso obtido para a adição ao aglomerante produzido a fim de controlar a pega.

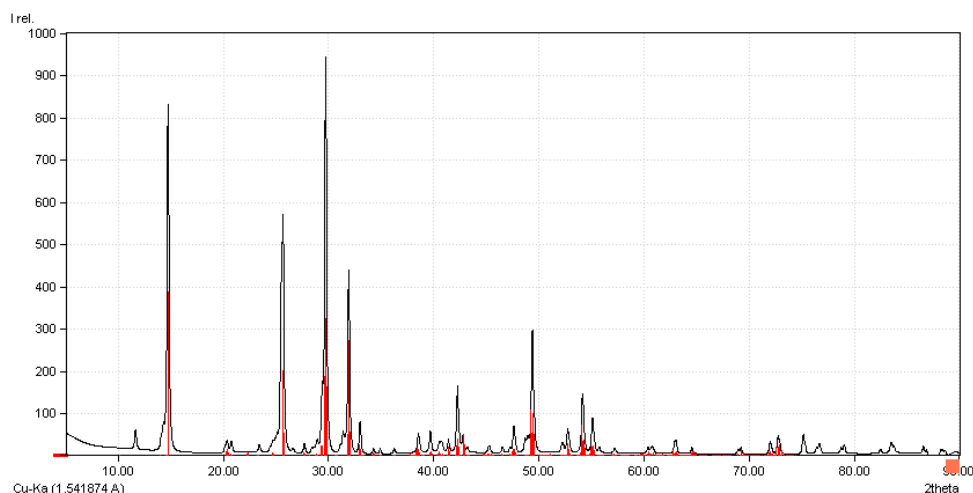


Figura 5: DRX do gesso. Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 5 permite observar que o software realizou a análise dos resultados do DRX do gesso identificando picos característicos de bassanita ($2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), a qual apresenta picos

de maior intensidade em 14,722°; 14,752°; 25,660°; 29,693°; 29,756° e 31,912° (BALLIRANO et al., 2001).

A adição do sulfato de cálcio ao cimento Portland parte do estudo da reação entre o aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) e água. Apesar de a quantidade de aluminato tricálcico na maioria dos cimentos ser relativamente pequena, seu comportamento o torna importante. É importante destacar que a presença do aluminato tricálcico no cimento é indesejável já que contribui pouco ou nada para a resistência com exceção das primeiras idades. A quantidade de sulfato de cálcio necessária aumenta com o teor de aluminato tricálcico. Além disso, o aumento da finura do cimento eleva a quantidade de aluminato tricálcico disponível e conseqüentemente requer maior quantidade de gesso para controle da pega (NEVILLE, 2016).

Na Figura 6, apresenta-se o resultado da média dos pontos aferidos nos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova moldados com pasta do CP II Z-32 e pasta produzida com mistura com 5%, 10% e 15% de aglomerante de reduzido impacto ambiental ao cimento comercial.

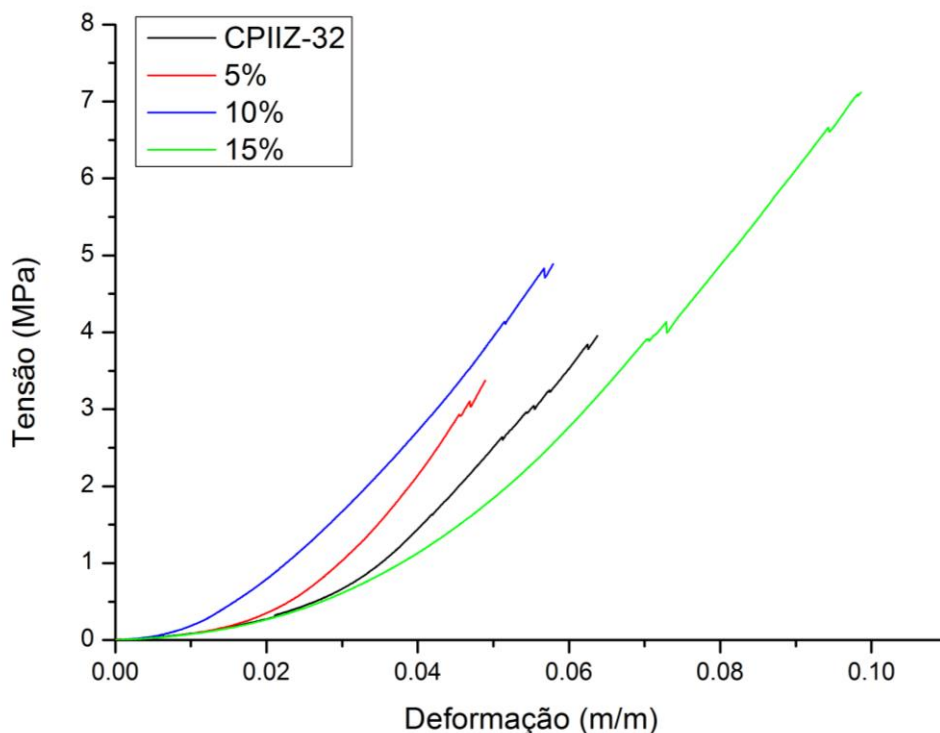


Figura 6: Curvas tensão-deformação. Fonte: elaborado pelos autores.

Após o tratamento dos dados, na Figura 7 apresenta-se um gráfico com a média das tensões resistidas pelos corpos de prova, para fins de análise comparativa dos resultados obtidos, já que, de acordo com a ABNT NBR 7215/1997, o resultado final na expressão dos resultados é a resistência média.

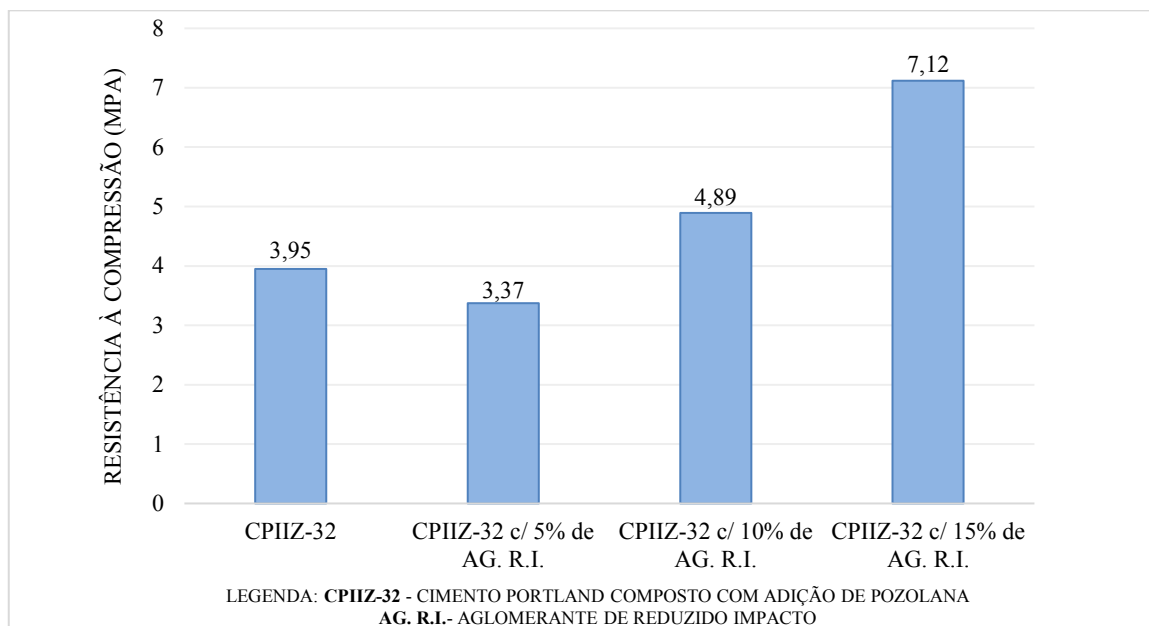


Figura 7: Comparação dos resultados de resistência à compressão. Fonte: elaborado pelos autores.

A análise das Figuras 6 e 7 permite observar que a adição de 5% de aglomerante de reduzido impacto ambiental não alterou significativamente o comportamento médio à compressão da pasta. Todavia, a adição de 10% e 15% de aglomerante de reduzido impacto ambiental ao cimento comercial, ocasionaram uma grande alteração no comportamento através de aumento da resistência à compressão da pasta.

5. Considerações finais

Por meio da análise de difração de raios-X (DRX), foi possível observar que as matérias-primas utilizadas para produção do aglomerante de reduzido impacto ambiental apresentam alguns dos compostos essenciais à produção do cimento Portland convencional. Com relação ao resíduo beneficiado de telha cerâmica vermelha, há indicativos de sua aplicabilidade para produção de um aglomerante alternativo com substituição da argila por resíduo de telha cerâmica vermelha.

Já com relação aos ensaios de resistência à compressão, observou-se que há possibilidade de se adicionar ao cimento comercial proporções variáveis do aglomerante de reduzido impacto ambiental obtendo um material com resistência à compressão adequada a aplicações na construção civil. Os resultados evidenciaram grande elevação na resistência à compressão quando a mistura consistiu em proporções de 10% e 15% do aglomerante produzido com relação à massa de aglomerante comercial. Dessa forma, é observada a necessidade de maior estudo de dosagens experimentais para viabilização da substituição conhecendo adequadamente o comportamento à compressão das pastas com a inclusão do aglomerante alternativo.

Em sendo assim, o estudo de materiais de reduzido impacto ambiental surge como uma alternativa para a questão acerca da disposição final de resíduos da construção civil. A proposta de reciclagem apresentada permite uma destinação nobre a uma tipologia de resíduo que é comumente descartado em lixões e aterros, representando uma importante iniciativa no sentido do desenvolvimento sustentável no setor da construção civil.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à equipe do Laboratório Multiusuário de Técnicas Analíticas (LAMUTA) pelo fornecimento das análises de difração de raios-X (DRX) apresentados neste trabalho. Agradecemos também à Faculdade de Geociências da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), ao Instituto de Física/UFMT e à equipe do projeto da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) # 01.04.0121.00.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2015**. ABRELPE, 2016. 89 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **BOLETIM TÉCNICO: Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7. ed. São Paulo:[s.n.], 2002. 28 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
- _____. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.
- _____. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997. 8 p.
- BALLIRANO, P. et al. The monoclinic I2 structure of bassanite, calcium sulfate hemihydrate. **European Journal of Mineralogy (1, 1989-)**. v. 13, p. 985-993. 2001.
- BIRKEDAL, N.R. et al. Synthesis, crystal structure and thermal properties of $\text{Ca}_6(\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_4)_4(\text{CO}_3)(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_x$ - a 3D inorganic hybrid material. **Dalton transactions (Cambridge, England: 2003)**. v. 41(39), p. 12082-12089. 2012.
- CHAIX-PLUCHERY, O. et al. Structural prereactional transformations in $\text{Ca}(\text{OH})_2$. **Journal of Solid State Chemistry**. v. 67, p. 225-234. 1987.
- CIA DE CIMENTOS ITAMBÉ. **Apostila**. Participação MARTINS, A.; MERCADÉ, S.R.; AOKI, J.; MADI, F.; MARCONDES, C.G.; NEVES, I.F. Curitiba: [s.n.], 2010. 20 p. Disponível em: <<https://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/1276.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2017.

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.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 200 p.

GRAF, D.L. Crystallographic tables for the rhombohedral carbonates. **American Mineralogist.** v. 46, p. 1283-1316. 1961.

LIMA, A.B. **O processo produtivo do Cimento Portland.** 2011. Monografia em Especialização em Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.ceermin.demin.ufmg.br/monografias/34.PDF>>. Acesso em: 25 maio 2017.

MASLEN, E.N.; STRELTSOV, V.A.; STRELTSOVA N.R. X-Ray study of the electron density in calcite, CaCO₃. **Acta Crystallographica Section B.** v. 49(4), p. 636-641. 1993.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concrete: microstructure, properties and materials.** 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006. 659 p.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto.** Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.

_____; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto.** 2. ed. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

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 Conversão de Energia). Programa De Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2009.

SATOSHI, S.; KIYOSHI, F.; YOSHIO, T. X-Ray Determination of Electron-Density Distributions in Oxides, MgO, MnO, CoO, and NiO, and Atomic Scattering Factors of their Constituent Atoms. **Proceedings of the Japans Academy, Series B: Physical and Biological Sciences.** v. 55(2), p. 43-48. 1979.

SILVA, R.B. **Síntese e caracterização de um aglomerante hidráulico a partir de resíduo de telha cerâmica vermelha.** 2015. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Mato Grosso, Barra do Garças, 2015.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). **Press Kit 2013:** Agosto. Rio de Janeiro: FSB Comunicações, 2013. 22 p. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/presskit_SNIC_2013.pdf>. Acesso em: 25 maio 2017.

WILL, et al. Crystal structure of quartz and magnesium germanate by profileanalysis of synchrotron-radiation high-resolution powder data. **Journal of Applied Crystallography, Japan,** v. 21, p. 182-191. 1988.