

Caracterização reológica e mecânica de argamassas de cimento LC3 Rheological and Mechanical Characterization of LC3 cement mortars

Larissa Gomes da Silva (1); Melissa Moreira (2); Rodrigo Scocynski Ribeiro (3), Gustavo de Miranda Saleme Gidrão (4); Laura Silvestro (5)

RESUMO

O cimento LC3 (cimento de argila calcinada com calcário) tem sido considerado uma alternativa para reduzir o impacto ambiental da produção de cimento Portland. Neste contexto, investigou-se a viabilidade de produzir estes cimentos alternativos a partir de argilas existentes. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar a mistura de metacaulim comercial e argila coletada nas proximidades de Guarapuava para a produção de argamassa de cimento LC3. A argila é ativada termicamente (700°C) para uso posterior. No estado fresco, foram realizados ensaios de escoamento por extrusão para caracterização das propriedades reológicas das argamassas produzidas. No estado endurecido, a resistência à compressão foi avaliada nos dias 3 e 7. Os resultados do fluxo de extrusão mostram que o período de deformação plástica é reduzido para a argamassa LC3 em comparação com a mistura de referência composta por cimento Portland. Entretanto, aos 7 dias, verifica-se que a argamassa composta por metacaulim apresentou uma menor redução na resistência à compressão (39,4%) em relação ao traço de controle, o que pode ser decorrente da intensificação da formação das fases AFm e da atividade pozzolânica do material em idades posteriores.

PALAVRAS-CHAVE: cimento, LC3, argilas, squeeze-flow, difração de raios-X

ABSTRACT

LC3 cement (limestone calcined clay cement) has been considered an alternative to reduce the environmental impact of Portland cement production. In this context, the feasibility of producing these alternative cements from existing clays was investigated. Therefore, this work aimed to evaluate the mixture of commercial metakaolin and clay collected in the vicinity of Guarapuava for the production of LC3 cement mortar. The clay is thermally activated (700°C) for later use. In the fresh state, extrusion flow tests were performed to characterize the rheological properties of the produced mortars. In the hardened state, compressive strength was evaluated at days 3 and 7. The extrusion flow results show that the period of plastic deformation is reduced for LC3 mortar compared to the reference mixture composed of Portland cement. However, at 7 days, it is observed that the metakaolin-composed mortar showed a smaller reduction in compressive strength (39.4%) compared to the control mix, which may be due to the intensification of the formation of AFm phases and the pozzolanic activity of the material at later ages..

KEYWORDS: cement, LC3, clays, squeeze-flow, X-ray diffraction

1 INTRODUÇÃO

O cimento LC3 (Limestone calcined clay cement) é uma opção inovadora e é produzido através da combinação de filer calcário, argila calcinada, clínquer e gesso, esse material tem em se mostrado uma alternativa promissora ao cimento Portland (CP), pois sua composição possui menor teor de clínquer e, conseqüentemente, menor emissão de dióxido de carbono (CO₂).

Neste contexto, esta iniciativa científica visa caracterizar argamassas de cimento LC3 produzidas com adição de um metacaulim comercial e uma argila disponível

(1) Aluna de graduação, Coordenação de Engenharia Civil (COECI), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Guarapuava, la.sgomes@hotmail.com

(2) Aluna de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campos Pato Branco, melissamoreira@alunos.utfpr.edu.br

(3) Professor Doutor, Coordenação de Engenharia Civil (COECI), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Guarapuava, rodrigoribeiro@utfpr.edu.br

(4) Professor Doutor, Coordenação de Engenharia Civil (COECI), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Guarapuava, gidrao@utfpr.edu.br

(5) Professora Doutora, Coordenação de Engenharia Civil (COECI), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Guarapuava, laurasilvestro@utfpr.edu.br



localmente, foram utilizadas essas matérias pelas disponibilidades e pelo fator economia e assim foram avaliando as suas propriedades reológicas e mecânicas.

A partir dos resultados obtidos, espera-se contribuir para o avanço no desenvolvimento de novas formulações de argamassa de cimento LC3 no que tange à utilização de materiais locais, permitindo sua utilização de forma mais eficiente e sustentável na construção civil. Desta forma, o estudo tem como foco a redução das emissões de CO₂ na atmosfera, visando a identificação de novos materiais alternativos, neste caso a argila, para a produção de cimentos LC3

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Composições avaliadas

Foram analisadas três composições de argamassa, compostas por diferentes tipos de aglomerantes: (i) cimento Portland, (ii) cimento LC³ empregando o MK comercial e (iii) cimento LC³ produzido a partir da argila de calcinada a 700 °C. A composição das argamassas avaliadas é apresentada na Tabela 3. Adotou-se um traço padrão de aglomerante:areia de 1:3 e relação água/cimento de 0,48, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2019).

Traço	CP (g)	MK (g)	Argila calcinada (g)	Fíler calcário (g)	Água (g)	Areia (g)	Aditivo (g)	Índice de consistência (mm)
REF	624,0	-	-	-	300,0	1872,0	2,31	26
LC3-MK	381,3	187,2	-	55,5	300,0	1872,0	4,99	26
LC3-ARG	381,3	-	187,2	55,5	300,0	1872,0	3,87	26,5

Tabela 1 - Composição das argamassas avaliadas

2.3 Métodos de ensaio

2.3.1 Squeeze-flow

O ensaio de squeeze-Flow está descrito na norma NBR 15839 (2010), a qual estabelece o procedimento para a caracterização reológica de argamassas no estado fresco. A argamassa deve ser preparada de acordo com a prescrição da norma NBR 7215 (2019). O equipamento utilizado no ensaio é composto por um dispositivo de compressão axial e um molde cilíndrico, o qual é preenchido com a argamassa. A argamassa é colocada no molde cilíndrico e compactada manualmente em três camadas. O ensaio consiste em determinar o tempo e a força aplicada na amostra considerando uma velocidade de deslocamento constante de 0,1 mm/s. A Figura 6 ilustra as principais etapas para o desenvolvimento do ensaio de squeeze-flow.

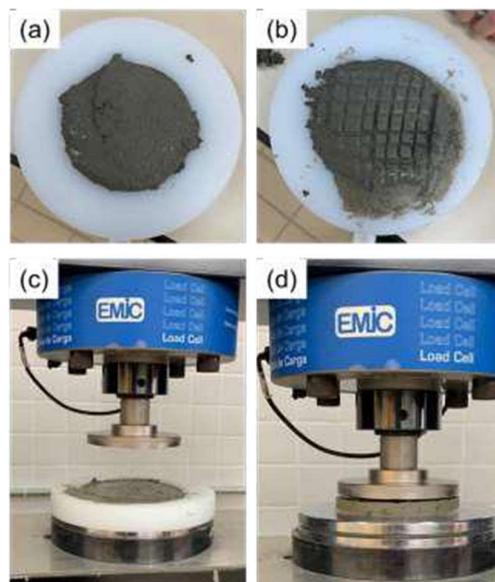


Figura 6 - Procedimento do squeeze-flow: (a) preenchimento do molde, (b) remoção do excesso de argamassa, (c) molde + argamassa antes do início do ensaio, (d) remoção do molde e início do ensaio

Fontes: Fotos do Autor

2.3.2 Resistência à compressão e determinação da velocidade de pulso ultrassônico (VPU)

O ensaio seguiu a norma ABNT NBR 7215 (2019) que determina a resistência a compressão de corpos cilíndricos. Em seguida, as argamassas foram preparadas através da utilização de um misturador mecânico seguindo as velocidades e tempos estabelecidos pela norma NBR 7215 (2019). A moldagem foi feita logo em seguida da preparação da argamassa. A colocação da argamassa nos moldes foi feita com o auxílio de uma espátula, sendo que o preenchimento foi feito em 3 camadas e cada camada recebeu 30 golpes com um soquete para unificar a argamassa, deixando-a homogeneamente distribuída. Após a moldagem e cura em temperatura ambiente por 24 horas, os corpos de provas de argamassa foram retirados dos moldes e identificados e, posteriormente, submetidos à cura submersa com água e cal até completar 24h horas antes do teste de compressão. Nos dias do ensaio à compressão, os corpos de provas foram retificados para regularização da superfície

3 Resultados e discussão

3.1 Squeeze-flow

Na **Figura 1** são apresentadas as curvas de força x deformação obtidas no ensaio de squeeze-flow das argamassas REF, LC3-MK e LC3-AR. Ao comparar as deformações entre os três traços, a argamassa de referência apresenta uma fluidez superior, ou seja, para uma mesma força, essa amostra sofre um deslocamento maior quando comparada às argamassas de LC3 (MK e AR). Esse comportamento está de

acordo com o esperado, uma vez que o MK e as argilas usualmente são caracterizados por elevados valores de potencial zeta e área superficial

Além disso, a estrutura destes materiais pode ocasionar a intercalação do aditivo superplastificante, reduzindo a sua eficiência na dispersão das e outro aspecto de relevância diz respeito à menor densidade das argilas em relação ao cimento Portland.

Por fim, quando as argamassas de LC3 são comparadas, verifica-se que o MK ocasiona uma perda de fluidez mais significativa que a argila. Isso possivelmente pode ser atribuído à sua maior pureza, ou seja, ao seu maior teor de caulinita.

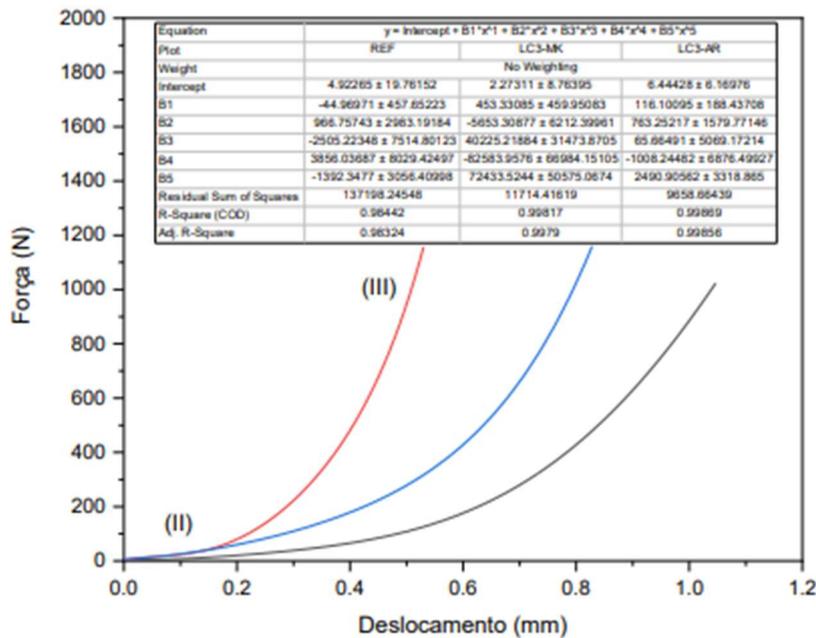


Figura 1 - Gráfico do Deslocamento x Força das argamassas RFE, LC3-MK e LC3-AR

3.2 Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão das argamassas avaliadas após 3 e 7 dias de hidratação são apresentados na Figura 2. Como o esperado a resistência a compressão com o passar dos dias foi aumentada para todos os traços. A argamassa de referência (CP), apresentou o maior aumento de resistência entre 3 e 7 dias, tendo o maior destaque, mas, o LC3 -MK também teve um aumento significativo, mas, não ultrapassou a referência.

Verificou-se que aos 3 dias, para ambas as argamassas LC3-MK e LC3-AR apresentaram resistência à compressão aproximadamente 50,0% inferior ao traço de controle.

As argamassas LC3-MK e LC3-AR apresentaram resistência à compressão 39,4% e 48,4 inferiores, respectivamente, à argamassa de referência (REF). Isto posto, os resultados indicam que a diferença de resistência entre a argamassa de referência e a de LC3-MK está diminuindo com o avanço do tempo de hidratação, o que



possivelmente pode ser atribuído à maior reatividade do metacaulim e do seu teor de caulinita em relação à argila calcinada

Na figura 2, temos a comparação de médias dos resultados de resistência à compressão das argamassas após 3 e 7 dias.

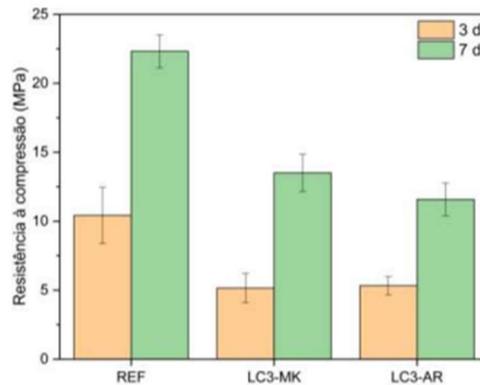


Figura 2 - Resistência à compressão aos 3 e 7 dias das argamassas REF, LC3-MK e LC3-AR

4 Considerações finais

Os resultados de squeeze-flow mostraram que as argamassas de LC3 apresentaram um período de deformação plástica menor em comparação com a mistura de referência, o que pode representar um desafio para a aplicação prática do material. Além disso, foram observadas reduções significativas nas resistências à compressão de até 50,0% após 3 dias de hidratação nas argamassas com cimento LC3. No entanto, aos 7 dias, verificou-se que a argamassa contendo metacaulim apresentou uma redução menor na resistência à compressão (39,4%) em comparação com a mistura de controle.

Como os ensaios de compressão foram realizados em idades iniciais, a continuidade da pesquisa visará avaliar esta propriedade em idades avançadas, para ter um comparativo de resistência entre os traços e a utilização de novas argilas na composição da argamassa e assim achar um material que ajude na redução da emissão de CO₂ durante a produção de cimento.

Agradecimentos

À cerâmica setenta que foi responsável pela doação da argila que foi utilizada nos traços. À Prof. Rafaella Salvador, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), que auxiliou no desenvolvimento dos ensaios em laboratório. Meus Agradecimentos a todos que me ajudaram de alguma forma no desenvolvimento dessa pesquisa, a qual vai ter continuidade.

Um agradecimento ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC e Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica nas Ações Afirmativas - PIBIC-AF, nº 04/2022, que deram a oportunidade do desenvolvimento dessa pesquisa com a ajuda financeira. Muito obrigado a todos.



SEI-SICITE

2023

EI

SI

CI

T

E

202

3

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

ANTONI, M.; ROSSEN, J.; MARTIRENA, F.; SCRIVENER, K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. *Cement and Concrete Research*, v.32, 2012.

AVET F.; SCRIVENER, K.; Investigation of the calcined kaolinite content on the hydration of Limestone Calcined Clay Cement (LC3), *Cem. Concr. Res.* 107 (2018) 124–135. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.02.016>.

BETIOLI, A.M.; JOHN, V.M.; GLEIZE, P.J.P.; PILEGGI, R.G. Caracterização reológica de pasta cimentícia: associação de técnicas complementares. *Ambiente Construído*, v.9, n. 4, p. 37-48, 2009. ANAIS DO 64º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2023 – 64CBC2023 15

CÂMARA, M. Y. F.; Estudo da durabilidade de concretos com utilização do cimento LC³. 2020. xxiv, 125 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) — Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

CARDOSO, F.A.; PILEGGI, R.G.; JOHN, V.M. (2010) – Squeeze-flow aplicando a argamassas de revestimento: manual de utilização, Boletim técnico da escola politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil.

FERREIRO, S.; HERFORT, D.; DAMTOFT, J.S. Effect of raw clay type, fineness, waterto-cement ratio and fly ash addition on workability and strength performance of calcined clay – limestone Portland cements. *Cement and Concrete Research*, v. 101, 1–12, 2017.

HACKLEY, V.A. FERRARIS, C.F. The use of nomenclature in dispersion science and technology. NIST recommended practice guide, special publication (960-3). 2001, Washington: National Institute of Standards and Technology. 72 pages

HIGUCHI, A. M. D. - Estudo do desempenho do resíduo de vidro moído como material cimentício suplementar para aplicação em concreto autoadensável de alto desempenho. 2018. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil,) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

MARTIRENA, J.F.; SCRIVENER K.L., Development and introduction of a low clinker, low carbon, ternary blend cement in Cuba. *Advances in cement research*, 2015, p.323-329

MUZENDA T.R.; P. HOU, P.; KAWASHIMA, S.; T. SUI, X.- Cheng, The role of limestone and calcined clay on the rheological properties of LC3, *Cem. Concr. Compos.* 107 (2020) 103516. NAVARRETE, I.; KURAMA, Y.; ESCALONA, N.; BREVIS, W.; LOPEZ, M. Effect of supplementary cementitious materials on viscosity of cement-based pastes. *Cement and Concrete Research*, v. 151, p. 106635, 2022.

RESENDE, D., S., - Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar. 2013. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.