SBCC 2023
I Simpósio Brasileiro da Ciência do Cimento

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE CIMENTOS LC3 CONTENDO DIFERENTES ARGILAS CALCINADAS E FÍLERES

Study of the use of LC3 cements containing different calcined clays and fillers

Gabriela Moreira Silva
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa, Minas Gerais | gabriela.m.moreira@ufv.br

Ariel Miranda de Souza
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa, Minas Gerais | ariel.souza@ufv.br

Fernanda Pereira da Fonseca Elói
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | Fernanda.eloi@aluno.ufop.edu.br

Guilherme Jorge Brigolini Silva
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | guilhermebrigolini@ufop.edu.br

Diogo Silva de Oliveira
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa, Minas Gerais | diogooliveira@ufv.br

José Maria Franco de Carvalho
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa, Minas Gerais | josemaria.carvalho@ufv.br

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo da utilização de cimentos LC^3 contendo diferentes argilas calcinadas e fíler calcário ou resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais como forma de reduzir a emissão de CO_2 na produção de cimento. No entanto, as propriedades morfológicas, tendência ao inchamento, aglomeração e forma lamelar das partículas de argila levam a um aumento na absorção de água e perda na trabalhabilidade de misturas frescas, resultando na necessidade de maior consumo de água, o que pode levar a uma perda de resistência mecânica. Assim, o trabalho se propõe a investigar as características físicas, morfológicas e reológicas de cimentos LC^3, obtidos com diferentes tipos de argila e adição de resíduo de rocha ornamental, avaliando a aplicabilidade das variações LC^3 como alternativa ao cimento Portland convencional. Foi realizada uma análise experimental a partir da produção de seis composições, variando três argilas e dois fíleres. As diferenças morfológicas dos componentes do LC^3 podem levar a diferentes resultados reológicos, e entender esse comportamento em matrizes cimentícias é essencial para promover dosagens otimizadas.

Palavras-chave: LC3; Reologia; Sustentabilidade; Resíduo de rocha ornamental.

ABSTRACT

This work presents a study of the use of LC^3 cements containing different calcined clays and limestone filler or residue from the processing of ornamental stones as a way to reduce the emission of CO_2 in cement production. However, the morphological properties, tendency to swelling, agglomeration and lamellar shape of clay particles lead to an increase in water absorption and loss in the workability of fresh mixtures, resulting in the need for greater water consumption, which can lead to a loss of mechanical strength. Thus, the work proposes to investigate the physical, morphological and rheological characteristics of LC^3 cements, obtained with different types of clay and addition of ornamental rock residue, evaluating the applicability of LC^3 variations as an alternative to conventional Portland cement. An experimental analysis was performed from the production of six compositions, varying three clays and two fillers. The morphological differences of the components of LC^3 can lead to different rheological results, and understanding this behavior in cementitious matrices is essential to promote dosages.

Keywords: LC3; Rheology; Sustainability; Ornamental stone waste.

1 INTRODUÇÃO

A indústria cimenteira é responsável por aproximadamente 3% das emissões mundiais de gases de efeito estufa e aproximadamente 5% das emissões de CO_2 (HUANG et al., 2018). Por isso, a utilização de Materiais Cimentícios Suplementares (MCS) como alternativa para a redução dos impactos ambientais da construção civil é uma das alternativas mais eficazes, uma vez que apresentam propriedades cimentantes e características semelhantes ao cimento Portland, tanto no estado fresco quanto endurecido.

Segundo Scrivener et al. (2018), as principais adições minerais são escória de alto-forno e cinzas volantes, mas não estão disponíveis em abundância e, portanto, não conseguem suprir a alta demanda de cimento no mercado. Por outro lado, as argilas podem suprir essa demanda, considerando a alta quantidade encontrada no ambiente, e quando submetidas a um processo de calcinação adquirem as características desejadas para substituir o clínquer na produção do cimento LC³. Segundo Lins (2017), a padronização brasileira já permite cerca de 50% do consumo de argilas calcinadas na produção de cimento Portland, mas seu uso em níveis elevados é limitado, pois prejudica a reologia ou misturas.

Portanto, conhecer as propriedades reológicas dos materiais cimentícios é indispensável para controlar suas propriedades frescas e melhorar as aplicações práticas. Assim, este trabalho propõe investigar as características físicas, mecânicas, morfológicas e reológicas de cimentos LC³ obtidos com diferentes tipos de argila e adição de resíduo de rocha ornamental, avaliando a aplicabilidade e das variações de LC³ como alternativa ao cimento Portland convencional.

2 METODOLOGIA

O trabalho se trata de uma pesquisa experimental dividida em quatro etapas que compreendem a caracterização dos materiais, a preparação e calcinação das argilas, a análise e dosagem das argamassas cimentícias e por fim, os ensaios de desempenho mecânico e físico.

Os materiais utilizados foram o ligante cimento Portland (C) da empresa brasileira Cimento Nacional, com alta resistência inicial CPV-ARI, a areia natural de rio (S) da região de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Os resíduos de rochas ornamentais (OSW) são de uma empresa de Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo e o calcário (L), da empresa Intercement, Ijaci-MG e três tipos de argilas, da região de Ijaci-MG, foram denominadas argila siliciosa (SC), argila aluminosa (AC) e argila pozolânica (PC).

Para a dosagem optou-se pela proporção de uma parte de cimento e duas de areia (1:2) com relação água/aglomerante de 0,60, substituindo parte do cimento por argila calcinada, alternando entre carga de calcário e resíduo de rocha ornamental. A análise experimental foi realizada a partir da produção de seis composições: (i) argila aluminosa com calcário (ACL), (ii) argila aluminosa com resíduo (ACR), (iii) argila silicosa com calcário (SCL), (iv) argila silicosa com resíduo (SCR), (v) argila pozolânica com calcário (PCL) e (vi) argila pozolânica com resíduo (PCR).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

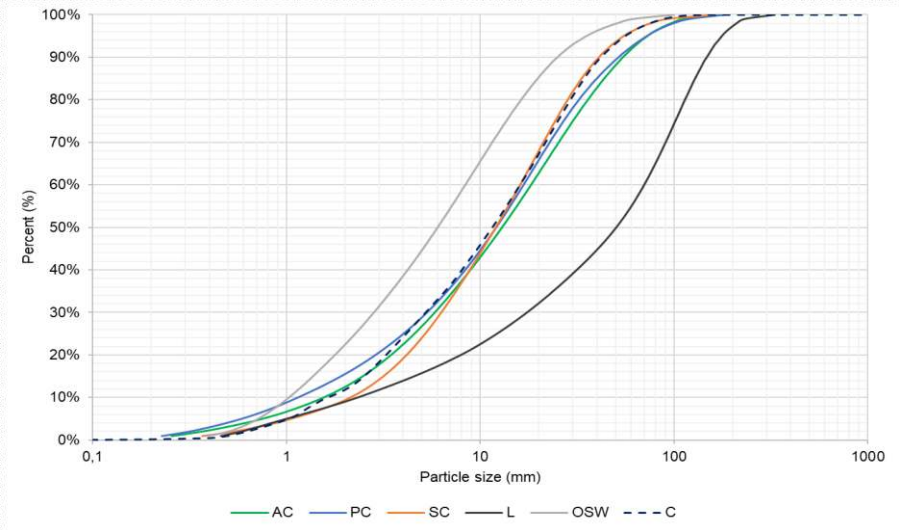
O Quadro 1 e as Figuras 1 e 2 mostram a caracterização física dos materiais, as curvas granulométricas das argilas calcinadas e fíleres e as imagens de MEV das argilas e fíleres, respectivamente.

Quadro 1: Nomenclatura, densidade e superfície específica dos materiais usados.

Material		Densidade específica (g/cm³)	Área de superfície específica (cm²/g)
C	Cimento Portland	3,15	2135,81
AC	Argila Aluminosa	2,60	5785,09
SC	Argila Silicosa	2,69	1398,74
PC	Argila Pozolânica	2,53	5464,04
L	Fíler Calcário	2,73	1345,89
OSW	Resíduo de Rocha Ornamental	2,60	2996,11

Fonte: Autoria própria.

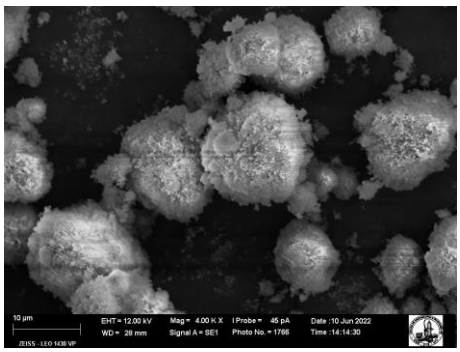
Figura 1: Curvas granulométricas das argilas calcinadas e fíleres.



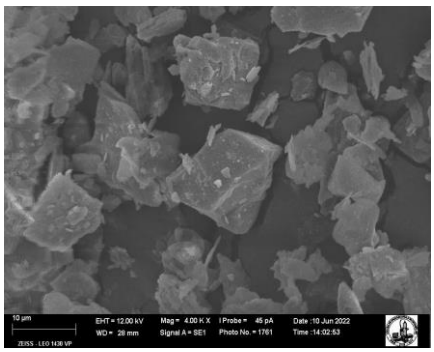
Fonte: Autoria própria.

Figura 2: Imagens de MEV da AC, PC, SC, L e OSW, com ampliação de 4000x.

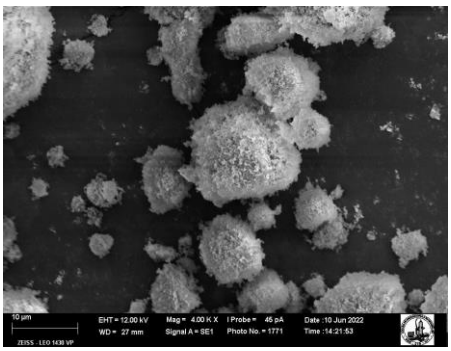
a) AC



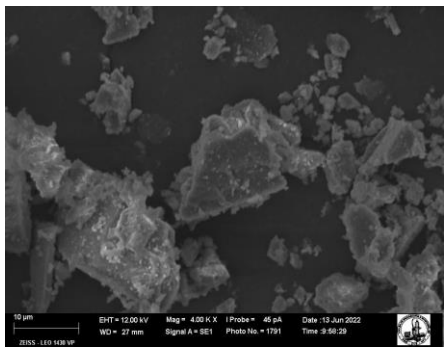
b) SC



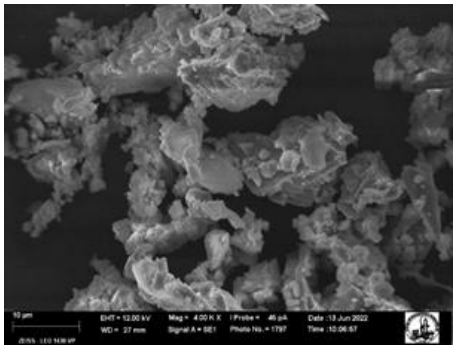
c) PC



d) L



e) OSW



Fonte: Autoria própria.

As curvas granulométricas das argilas calcinadas são semelhantes devido à padronização do preparo dos materiais e calcinação. Em relação às adições, quando comparado ao cimento, há diferenças significativas. O calcário apresenta partículas maiores em comparação ao OSW. Essa mudança permite diferentes relações de empacotamento, uma vez que o aumento da quantidade de partículas menores na mistura aumenta os índices de vazio; portanto, a proporção adequada das partículas maiores é uma medida de mitigação significativa (MIRANDA DE SOUZA et al., 2023).

De acordo com as imagens de MEV e os dados físicos das argilas, as argilas PC e AC possuem partículas rugosas e superfícies específicas maiores que o cimento, o que pode levar a um certo aumento na viscosidade das misturas e a uma diminuição na fluidez. A argila SC e o calcário apresentam morfologia prismática e lisa, com superfície específica menor que o cimento, o que pode levar à diminuição da viscosidade e consequente aumento da fluidez.

3.2 REOLOGIA DAS ARGAMASSAS

A avaliação da argamassa no estado fresco foi feita através da análise de consistência por espalhamento. O Quadro 2 mostra os resultados de espalhamento obtidos para cada argamassa produzida.

Quadro 2: Espalhamento das argamassas (cm).

Argamassas	ACL	ACR	SCL	SCR	PCL	PCR	C
Mini slump	16,07	18,00	25,50	23,97	17,00	17,97	25,50

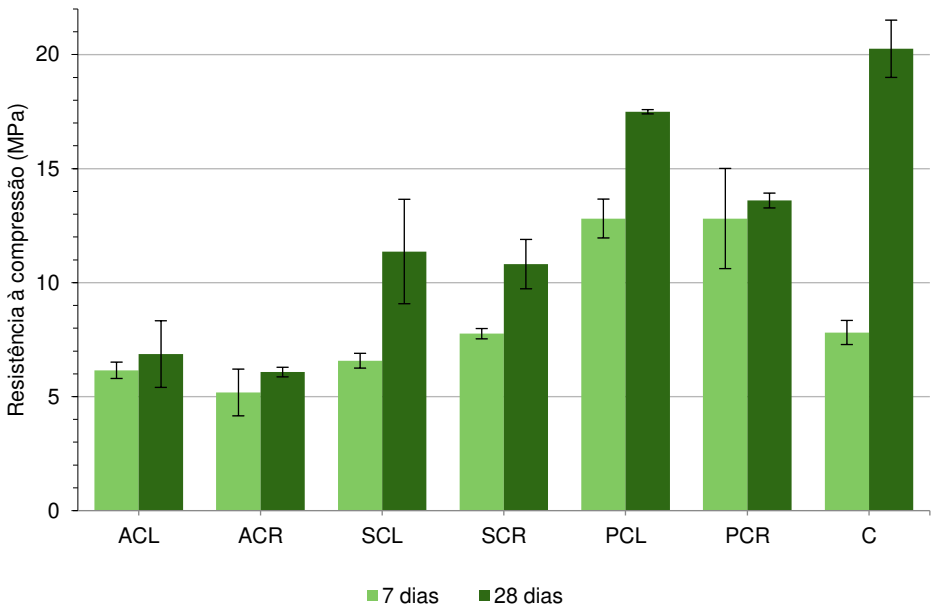
Fonte: Autoria própria.

Entende-se que argamassas com argilas aluminosas e pozolânicas, por possuírem partículas rugosas e superfícies específicas maiores que a do cimento, tendem a aumentar a absorção de água na mistura, resultando em valores de espalhamento inferiores aos da argamassa de referência. As argamassas com argila siliciosa obtiveram resultados semelhantes aos da argamassa de referência (C), que, por possuir partículas prismáticas e lisas e menor superfície específica, resultou em argamassas mais fluidas e maiores espalhamentos quando comparadas às demais argilas. No entanto, na argamassa SC, o resíduo não causou melhorias no espalhamento, levando a uma menor propagação quando comparado ao calcário.

3.3 ENSAIOS MECÂNICOS NAS ARGAMASSAS

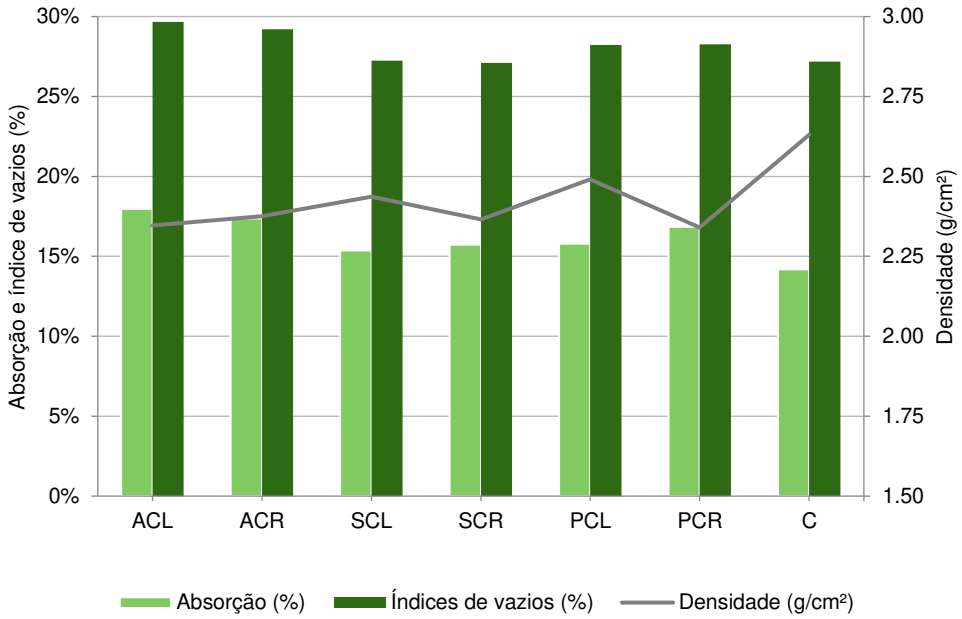
As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados da resistência à compressão e os resultados do índice de absorção e vazio das argamassas, respectivamente.

Figura 3: Evolução dos resultados de resistência à compressão das argamassas (MPa).



Fonte: Autoria própria.

Figura 4: Evolução dos resultados dos ensaios de absorção de água.



Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar que as argamassas de PCL e PCR obtiveram resultados superiores às de referência aos 7 dias de idade, sendo que a mistura de PCL, com fíler calcário, foi a que obteve o melhor resultado. Portanto, a baixa atividade pozolânica e a alta cristalinidade do resíduo afetaram as características mecânicas esperadas em contraste com o fíler calcário, que de modo geral obteve melhor desempenho.

Nos ensaios de absorção nota-se que os melhores resultados sobre a argamassa de referência são as misturas SCL e SCR, que devido às características morfológicas da argila siliciosa (partículas lisas e menor superfície específica), permitem melhores resultados quanto à absorção e melhor preenchimento dos vazios. Além disso, essas argilas apresentaram melhores desempenhos de espalhamento, o que pode ter contribuído para a autoconsolidação e redução de vazios.

4 CONCLUSÃO

Os resultados mostram que o desempenho foi influenciado pelo tipo de preenchedor utilizado. Neste caso, foi possível perceber o melhor desempenho das adições com a carga calcária, embora sua diferença para o OSW não tenha sido tão significativa, sendo possível investigar uma mistura dos fíleres. As misturas contendo argila pozolânica (PC) obtiveram os melhores resultados de resistência mecânica, seguidas pelas misturas de argila siliciosa (SC). Entretanto, a argila siliciosa obteve melhores resultados de espalhamento, o que indica que uma possível mistura das argilas pode contrabalançar e potencializar o desempenho.

Os resultados reforçam o grande potencial da utilização do cimento LC³ com alta substituição do clínquer, obtendo compósitos à base de cimento com desempenhos físico e mecânico satisfatórios. Além disso, aumenta a relevância ao contribuir para a redução das emissões de CO_2 e do consumo de recursos naturais.

5 AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001; e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) – Projeto APQ-02637-21. Agradecimentos também, ao Grupo de Pesquisa SICon-CNPq/UFV, pela infraestrutura e apoio técnico e acadêmico.

REFERÊNCIAS

HUANG, L. et al. Carbon emission of global construction sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1906–1916, jan. 2018.

LINS, D. N. **Análise da resistência à compressão do cimento LC3 e a influência das adições minerais em seu desempenho**. Brasília: Universidade Federal de Brasília, 2017.

MIRANDA DE SOUZA, A. et al. Influence of filler/cement and powder/total solids on the mixture design of self-compacting micro-concretes containing waste from the ornamental stone industry. **Construction and Building Materials**, v. 407, n. June, p. 133445, dez. 2023.

SCRIVENER, K. et al. Calcined clay limestone cements (LC3). **Cement and Concrete Research**, v. 114, n. March 2017, p. 49–56, 2018.