

ARGAMASSAS DE CIMENTO LC³ REFORÇADAS COM FIBRAS DE PVA: FLOW TABLE E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Marcus Vinícius Maximovitz¹, Carla Juliana de Almeida Jacinto², Gustavo de Miranda Saleme Gidrão³, Laura Silvestro⁴

RESUMO: O cimento LC³ (*Limestone Calcined Clay Cement*) vem se destacando como uma alternativa bastante promissora para a redução das emissões de dióxido de carbono da indústria produtora de cimento Portland. Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a utilização de fibras de acetato de polivinila (PVA), buscando melhorar o desempenho mecânico de argamassas de cimento LC³. Foram desenvolvidas argamassas com proporção cimento: areia de 1:2, com relação água/cimento de 0,5 e teores de fibra de PVA variando entre 0 e 2,0% em relação ao volume total da matriz cimentícia. O ensaio Flow Table foi realizado no estado fresco. No estado endurecido, o módulo de elasticidade foi determinado através de métodos não destrutivos (Sonelastic e Ultrassom) e, posteriormente, os corpos de prova prismáticos de 4x4x16 cm foram submetidos aos ensaios de resistência à tração na flexão e compressão aos 7 e 28 dias de cura. Os resultados obtidos no ensaio Flow Table indicaram que as fibras não alteraram o índice de consistência da argamassa independentemente do teor adicionado. Foi observada uma variação de apenas 2,9% no índice de consistência entre o traço base (306 mm) e o traço com 2% de fibra (297 mm). A mesma tendência se manteve para os valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade das argamassas determinados pelos ensaios de Ultrassom e Sonelastic em relação à incorporação de fibras. Os resultados de tração na flexão sugerem um teor ótimo de fibras de 2,0%, com acréscimos na resistência de 28,0% (7 dias) e 57% (28 dias), respectivamente, em relação ao traço sem fibras.

Palavras-chave: cimento, LC³, fibra.

1 INTRODUÇÃO

A produção de cimento Portland é uma das principais fontes de emissões de dióxido de carbono (CO₂), contribuindo significativamente para as mudanças climáticas. Nesse contexto, o cimento LC³, a base de (Cimento com Calcário e Argila Calcinada) surge como uma alternativa sustentável, reduzindo a pegada de carbono em até 30% em comparação aos cimentos tradicionais, devido à sua composição que utiliza materiais cimentícios suplementares como calcário e argila calcinada (ARRUDA JUNIOR, 2020). Estudos demonstram que o uso do cimento LC³ não apenas diminui as emissões, mas

¹ Marcus Vinícius Maximovitz (Discente, UTFPR, marcusmaximovitz@alunos.utfpr.edu.br)

² Carla Juliana de Almeida Jacinto (Discente, UTFPR, carlajuliana@alunos.utfpr.edu.br).

³ Gustavo de Miranda Saleme Gidrão (Prof. Dr., UTFPR, gidrao@utfpr.edu.br)

⁴ Laura Silvestro (Profa. Dra, UTFPR, laurasilvestro@utfpr.edu.br)

também mantém propriedades mecânicas competitivas em relação ao cimento Portland convencional (SOARES, 2018; SHARMA *et al.*, 2021; MIKULIS *et al.*, 2023).

Além disso, a incorporação de fibras sintéticas, como as fibras de Acetato de polivinila (PVA), tem sido amplamente pesquisada para melhorar as características mecânicas das argamassas. As fibras de PVA são conhecidas por suas propriedades de tenacidade e resistência à tração, que podem mitigar a formação de fissuras e aumentar a durabilidade dos materiais (PAKRAVAN; OZBAKKALOGLU, 2019). A combinação do cimento LC³ com fibras de PVA pode resultar em argamassas com desempenho superior, oferecendo uma solução inovadora para os desafios enfrentados na construção civil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa, foram avaliados traços de argamassas de cimento LC³ com adição de fibras de PVA com diâmetro de 0,2 mm e comprimento de 12 mm, variando de 0% a 2% em relação ao volume total da argamassa. No estado fresco, foi realizado o ensaio de índice de consistência, seguindo o preconizado na NBR 13276 (ABNT, 2016), enquanto, no estado endurecido, foram realizados ensaios para determinação do módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias (utilizando as técnicas de Sonelastic e Ultrassom). Também foram avaliadas as resistências à tração na flexão e à compressão (ABNT NBR 13279, 2005) nas idades de 7 e 28 dias. Considerou-se que o cimento Portland de alta resistência inicial contém até 10% de filer calcário (ABNT NBR 16697, 2018). Assim, a dosagem de metacaulim (MK) e filer calcário levou em conta esse percentual previamente existente no cimento Portland comercial, respeitando a composição típica de cimentos LC³ (55% de clínquer + sulfato de cálcio, 30% de argila calcinada e 15% de filer calcário). A relação água/cimento foi fixada em 0,50, com um traço padrão de aglomerante de 1:2. O teor de aditivo superplastificante foi definido experimentalmente para obter uma argamassa fluida, considerando o impacto potencial da incorporação das fibras de PVA na trabalhabilidade das misturas. Na Tabela 1 é detalhada a composição dos traços de LC³ avaliados.

Traço	Cimento	MK	Fíler	Água	Areia	Aditivo (%)	Fibra (%)
REF	0,61	0,3	0,09	0,5	2	0,6	0
A0,5	0,61	0,3	0,09	0,5	2	0,6	0,5
A1,0	0,61	0,3	0,09	0,5	2	0,6	1,0
A1,5	0,61	0,3	0,09	0,5	2	0,6	1,5
A2,0	0,61	0,3	0,09	0,5	2	0,6	2,0

Tabela 1 - Composição unitária das argamassas de LC³ avaliadas

Na execução do ensaios de índice de consistência (Flow Table) as argamassas foram misturadas até obter uma consistência homogênea. O teste foi realizado para medir a fluidez da mistura, registrando o diâmetro da amostra após o impacto do peso sobre a mesa vibratória. Os corpos de prova de 40x40x160 mm empregados nos testes de resistências à tração na flexão e compressão foram submetidos à cura submersa em solução de água com cal, permanecendo nessa condição por períodos de 7 e 28 dias, mantendo condições adequadas de temperatura e umidade. Após os períodos de cura estabelecidos, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão na prensa hidráulica, registrando os valores máximos alcançados, os dados obtidos foram analisados estatisticamente para verificar a influência da adição das fibras nas propriedades mecânicas das argamassas. Através dessa análise comparativa entre as diferentes composições de argamassa, permitindo uma avaliação abrangente do desempenho do cimento LC3 reforçado com fibras de PVA.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio de Flow Table indicaram que a adição de fibras de PVA não alterou significativamente a trabalhabilidade das argamassas. Observou-se uma variação máxima de apenas 2,9% no índice de consistência entre o traço de referência (306 mm) e o traço com 2% de fibras (297 mm) como explícito na Tabela 2. Esse resultado sugere que teores de fibras de até 2% não prejudicam a fluidez das misturas, permitindo uma aplicação adequada das argamassas.

Traço	Diâmetro médio (mm)
REF	306,00
A0,5	305,98
A1,0	299,25
A1,5	304,32
A2,0	297,17

Tabela 2 - Resultados do ensaio de índice de consistência das argamassas de cimento LC³

Os ensaios de resistência à tração na flexão demonstraram um aumento expressivo com a incorporação das fibras de PVA. O teor ótimo foi de 2%, proporcionando acréscimos de 26% aos 7 dias e 57% aos 28 dias, em comparação ao traço sem fibras como apresentado na Figura 1. Esse comportamento evidencia a capacidade das fibras em melhorar a ductilidade e resistência à tração das argamassas, evitando a propagação de fissuras.

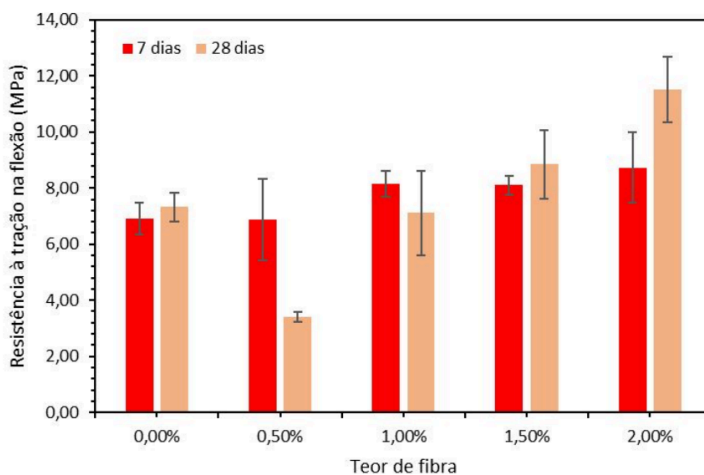


Figura 1 - Gráfico resultados do ensaio resistência à tração na flexão

A mesma tendência de melhoria nas propriedades mecânicas foi observada nos resultados de resistência à compressão como apresentado na Figura 2. Aos 7 dias, houve um acréscimo com a adição das fibras, porém os melhores resultados foram alcançados aos 28 dias de cura. O teor de 2% de fibras proporcionou o maior ganho de resistência, demonstrando a efetividade dessa dosagem na melhoria do desempenho das argamassas.

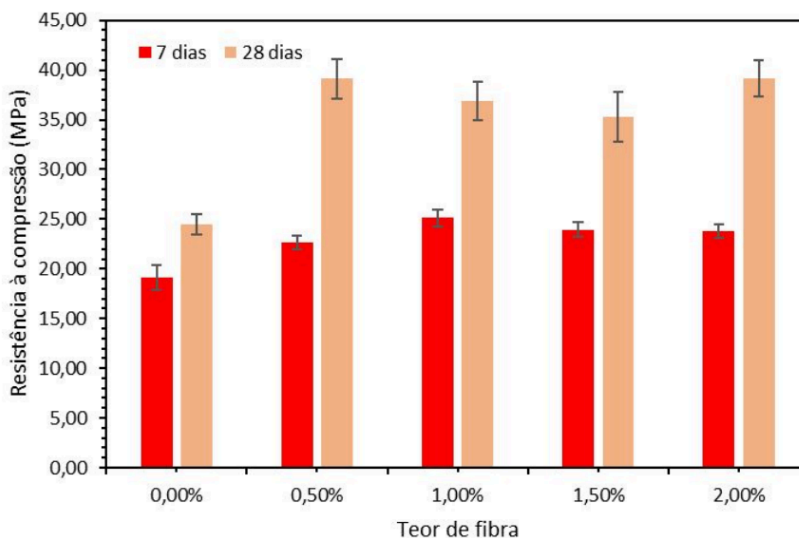


Gráfico 2 - Resultados do ensaio resistência à compressão

Para o módulo de elasticidade, determinado pelos ensaios de ultrassom e Sonelastic, não foram observadas alterações significativas com a incorporação das fibras de PVA aos 7 e 28 dias de cura. Esse resultado indica que, embora as fibras melhorem a resistência mecânica, elas não influenciam diretamente no módulo de elasticidade das argamassas.

Em geral, os resultados evidenciam que a adição de fibras de PVA em teores de até 2% em relação ao volume da matriz cimentícia é benéfica para as propriedades mecânicas das argamassas de cimento LC3, especialmente no que se refere à resistência à tração e compressão. Além disso, a trabalhabilidade não é prejudicada significativamente, permitindo a aplicação adequada das misturas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo avaliou a utilização de fibras de PVA em argamassas de cimento LC³, com foco na melhoria das propriedades mecânicas e na sustentabilidade do material. Os resultados demonstraram que a incorporação de fibras de PVA, especialmente em teores de até 2%, resultou em um aumento significativo na resistência à tração e à compressão das argamassas, sem comprometer a trabalhabilidade.

Os ensaios de Flow Table mostraram que a adição de fibras não afetou negativamente a consistência da argamassa, indicando que a mistura manteve sua aplicabilidade prática. Além disso, os resultados obtidos sugerem que as fibras de PVA

proporcionam uma melhoria na ductilidade do material, o que é crucial para a durabilidade e desempenho das argamassas em aplicações estruturais.

A pesquisa também evidenciou que o módulo de elasticidade não apresentou alterações significativas com a adição das fibras, o que sugere que as propriedades elásticas da argamassa permanecem estáveis. Este aspecto é relevante para aplicações onde a rigidez do material é uma consideração importante.

Em suma, os achados deste estudo não apenas corroboram a viabilidade do uso de cimento LC³ como uma alternativa sustentável ao cimento Portland tradicional, mas também destacam o potencial das fibras de PVA em melhorar as características mecânicas das argamassas. Para futuras pesquisas, recomenda-se explorar teores superiores de fibras e investigar outros tipos de aditivos que possam potencializar ainda mais as propriedades das argamassas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR-Guarapuava pela concessão de bolsa de iniciação científica ao primeiro autor, o que viabilizou o desenvolvimento da pesquisa apresentada neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ARRUDA JUNIOR, E. S. Cimentos de baixo impacto ambiental (LC3) a partir dos resíduos caulíníticos da Amazônia. 2020. 134 f. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação Da resistência à tração na flexão e à compressão, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência, Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos, Rio de Janeiro, ABNT, 2018.

MIKULIS, L.A.; LIMA, G.R.; GIDRÃO, G.M.S.; SILVESTRO, L. Resistência à compressão residual e mineralogia de cimentos LC3 expostos a elevadas temperaturas. Revista Matéria, v. 28, n. 4, 2023.

PAKRAVAN, H.R.; OZBAKKALOGLU, T. Synthetic fibers for cementitious composites: A critical and in-depth review of recent advances. Construction and Building Materials, v. 207, p. 491-518, 2019.

SHARMA, M., BISHNOI, S., MARTIRENA, F.; SCRIVENER, K. Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review. Cement and Concrete Research, 149, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106564>

SOARES, J.O. Avaliação das propriedades da argamassa com utilização de cimento LC3. 2018. 71 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade de Brasília, Brasília, 2018.