

MÉTODOS DE ENSAIOS APLICADOS A MATRIZES CIMENTÍCIAS UTILIZANDO CORPOS DE PROVA EM ESCALA REDUZIDA

Thiago de Oliveira Ribeiro, Lylian Gabriele Carneiro Oliveira; Lis Lima Reis, Jéfiter Soares Gonçalves, Luã Melo Sobral Lopes, Fernanda Nepomuceno Costa.

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/Laboratório de Materiais de Construção, Rua Rui Barbosa, 710, Centro - 44380-000 - Cruz das Almas-BA, Brasil, thiagoribeiro@aluno.ufrb.edu.br; lyliangabriele@aluno.ufrb.edu.br; lislima@aluno.ufrb.edu.br; jefigoncalves20@gmail.com, lualmsl98@gmail.com, fernandacosta@ufrb.edu.br.

Resumo

Este trabalho avalia a aplicação da miniaturização de corpos de prova cimentícios como alternativa metodológica para avaliação por meio de ensaios mecânicos e físicos. Foram moldados prismas (10 x 10 x 40 mm) e cilindros (17 x 34 mm) de pastas e argamassas, adaptando-se procedimentos normatizados. A metodologia de avaliação de desempenho mecânico envolveu ensaios de resistência à tração e à compressão. Os resultados demonstraram equivalência estatística com corpos de prova convencionais, sobretudo em argamassas, preservando tendências de resistência à compressão, tração na flexão, absorção de água e densidade aparente. A técnica apresentou vantagens como redução da necessidade de insumos, menor geração de resíduos e maior reprodutibilidade. Conclui-se que a miniaturização constitui ferramenta robusta e sustentável, com potencial para futura normatização.

Palavras-chave: Corpos de prova em miniatura. Ensaos mecânicos. Resíduos. Sustentabilidade.

Área do Conhecimento: Engenharias.

Introdução

A caracterização experimental de materiais cimentícios é tradicionalmente realizada em corpos de prova convencionais, como prismas 40 x 40 x 160 mm para ensaios de flexão e compressão, segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005), ou cilindros de 50 x 100 mm, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015). Esses formatos, embora consolidados, apresentam limitações práticas e ambientais, incluindo o elevado consumo de cimento, agregados e adições minerais, a necessidade de maior espaço físico para cura e armazenamento, além da significativa geração de resíduos durante as etapas de moldagem, ensaio e descarte (Ribeiro *et al.*, 2025; Souza *et al.*, 2023).

Diante desse cenário, a miniaturização de corpos de prova tem se consolidado como uma alternativa metodológica capaz de aliar rigor científico, eficiência experimental e sustentabilidade. Essa técnica consiste na redução proporcional das dimensões dos corpos de prova, mantendo a geometria e o princípio dos ensaios normatizados. Os moldes mais recorrentes são os cilíndricos de 17 x 34 mm, obtidos a partir de tubos de PVC, e os prismáticos em 10 x 10 x 40 mm (Pinheiro, 2025; Cerqueira, 2025).

Os primeiros relatos internacionais sobre a utilização de corpos de prova em escala reduzida remontam à década de 1970, quando Mehta (1974) investigou a resistência de materiais cimentícios ao ataque por sulfatos, demonstrando o potencial da técnica em estudos de durabilidade. No início dos anos 2000, Beaudoin (2001) ampliou a aplicação da miniaturização para concretos de alto desempenho e pastas especiais, consolidando sua relevância para análises microestruturais e de desempenho mecânico. No Brasil, o interesse pela técnica tem se intensificado nas últimas duas décadas, com destaque para os trabalhos de Costa (2013), Mariani (2018) e Costa (2020), que exploraram sua aplicação na produção de cimentos alternativos e em sistemas cimentícios inovadores. Mais recentemente, a miniaturização passou a ser incorporada em pesquisas de graduação voltadas à incorporação de resíduos industriais e agroindustriais como substitutos parciais do cimento ou incorporações no agregado miúdo de argamassas, evidenciada nos estudos de Souza (2023), Pinheiro (2025), Cerqueira (2025) e Gonçalves *et al.* (2025).

Diversos estudos nacionais comprovaram a eficácia da miniaturização. Ribeiro *et al.* (2025) demonstraram que, para argamassas, a discrepância média entre corpos miniaturizados e

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

normatizados foi inferior a 1 MPa em resistência à compressão. Já Oliveira (2024) e Cerqueira (2025) confirmaram que a tendência de desempenho em absorção de água, índice de vazios e densidade de massa aparente é preservada mesmo em escala reduzida. Por outro lado, pesquisas como a de Ribeiro *et al.* (2025) destaca que, para pastas cimentícias, os resultados apresentam maior variabilidade, o que demanda padronização metodológica mais rigorosa quanto ao processo de moldagem e às condições de cura.

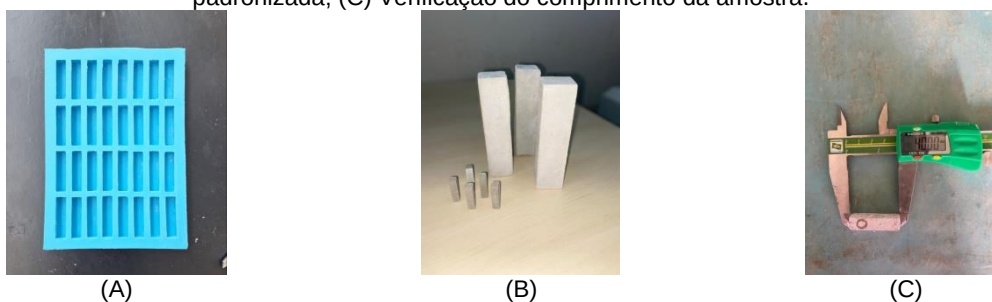
O estado da arte indica, portanto, que a técnica em miniatura já é suficientemente validada para aplicação em argamassas, mas ainda carece de maior consolidação para o estudo de pastas puras. Além disso, embora haja diversidade de trabalhos empregando diferentes resíduos como material substitutivo, o aspecto central e transversal a todos é a confirmação da viabilidade técnica da miniaturização, independentemente do compósito avaliado.

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é sistematizar os métodos de ensaio em escala reduzida aplicados a corpos de prova cimentícios, com ênfase nas propriedades do estado endurecido — resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão, absorção de água e densidade de massa aparente — de modo a consolidar a técnica como ferramenta robusta para estudos experimentais e avançar na discussão sobre sua futura normatização.

Metodologia

A adoção da técnica de miniaturização exige rigor desde a confecção dos moldes até as adaptações dos ensaios normatizados, de modo a assegurar que os resultados obtidos sejam comparáveis àqueles realizados em corpos de prova convencionais. Para a produção dos moldes prismáticos, foram confeccionadas matrizes em silicone com múltiplas cavidades, cada uma com dimensões proporcionais de um quarto em relação ao prisma normativo de $40 \times 40 \times 160$ mm, resultando em amostras de $10 \times 10 \times 40$ mm. As matrizes foram obtidas por vazamento em molde-negativo, permitindo a moldagem simultânea de até 32 corpos de prova (Figura 1A). As superfícies de base foram mantidas planas e rígidas, assegurando paralelismo adequado, e, antes de cada moldagem, aplicou-se desmoldante em camada fina. As dimensões de cada amostra foram verificadas com paquímetro digital de resolução 0,01 mm, de forma a garantir a precisão geométrica (Figura 1B e 1C).

Figura 1 – (A) Molde prismático em miniatura; (B) Comparativo visual entre a amostra em miniatura e a padronizada; (C) Verificação do comprimento da amostra.

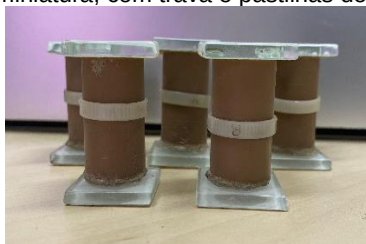


Fonte: Autores, 2025.

Os moldes cilíndricos, por sua vez, foram produzidos a partir de tubos de PVC de diâmetro nominal de 20 mm, cortados em segmentos de 34 mm de altura, de modo a manter a relação $h = 2 \cdot x$ d, resultando em amostras de aproximadamente 17×34 mm. O acabamento das extremidades foi realizado por lixamento manual sucessivo com lixas de granulometria 100, 150 e 400, em superfície plana, a fim de assegurar o paralelismo das faces. Para facilitar a desmoldagem, procedeu-se ao corte longitudinal do tubo, mantendo-o travado com fita Hellerman durante a moldagem (Figura 2). As bases foram constituídas por pastilhas de vidro temperado, fixadas com adesivo instantâneo, enquanto a tampa superior era apenas apoiada, permitindo a manutenção da umidade nas primeiras 24 horas. O desmoldante utilizado foi óleo mineral aplicado em camada uniforme, e o adensamento da argamassa ou pasta no interior do molde foi realizado com ponteiro de aço de 2,5 mm de diâmetro.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Figura 2 – Molde cilíndrico em miniatura, com trava e pastilhas de vidro fixadas no topo e na base.

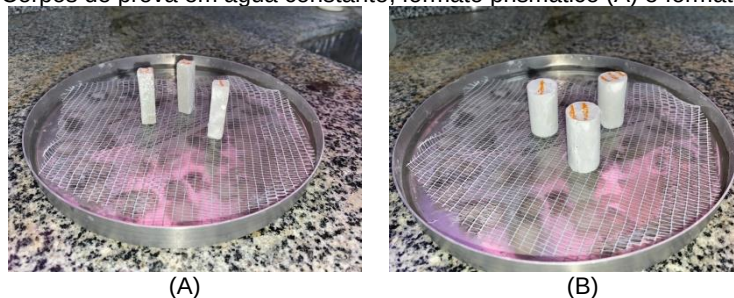


Fonte: Autores, 2025.

A moldagem dos corpos de prova em miniatura seguiu o mesmo princípio adotado nos ensaios convencionais NBR 13279 (ABNT, 2005) e NBR 5738 (ABNT, 2015), com preenchimento cuidadoso das cavidades e adensamento manual. No caso dos prismas, após a inserção da mistura, o topo era regularizado por raspagem metálica, e a matriz era imediatamente vedada para evitar gradientes de umidade. Passadas 24 horas procediam-se à desmoldagem e, em seguida, os corpos de prova eram acondicionados em água saturada com cal até as idades de ensaio, 1, 3, 14 e 28 dias. Já os cilindros miniaturizados foram desmoldados entre 24 e 48 horas, conforme a matriz, e tiveram seus topos regularizados por lixamento manual.

Os ensaios no estado endurecido foram adaptados às dimensões reduzidas das amostras. O ensaio de absorção de água por capilaridade seguiu a NBR 9779 (ABNT, 2012) sendo moldados 16 corpos de provas, 8 para argamassas, 4 em tamanho convencional e 4 para miniatura e 8 para as pastas cimentícias, também seguindo o padrão anterior. Recebendo uma adaptação do nível de água em contato com a base do corpo de prova. Enquanto no ensaio convencional o nível é mantido em (5 ± 1) mm, nas miniaturas o contato foi reduzido proporcionalmente para 1,25 mm para os prismas e 1,70 mm para os cilíndricos. O ganho de massa foi monitorado em balança de precisão em intervalos regulares, e os valores foram normalizados pela área exposta de $1,00 \text{ cm}^2$ (Figura 3A), correspondente à seção transversal de $10 \times 10 \text{ mm}$ nos prismas e $2,27 \text{ cm}^2$ correspondente ao diâmetro dos cilindros de 17 mm (Figura 3B).

Figura 3 - Corpos de prova em água constante, formato prismático (A) e formato cilíndrico (B).



(A)

(B)

Fonte: Autores, 2025.

A resistência à tração na flexão foi determinada em prismas de $10 \times 10 \times 40 \text{ mm}$ utilizando dispositivo de três pontos, com distância entre apoios ajustada para 25 mm, em conformidade com a proporcionalidade em relação ao ensaio convencional definido pela NBR 13279 (ABNT, 2005) (Figura 4A). A aplicação de carga foi realizada em prensa universal Time Group Inc. WDW-200E (200 kN) com taxa de 50 N/s até a ruptura (Figura 4B). Após a flexão, as duas metades resultantes eram utilizadas para o ensaio de compressão.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Figura 4 - Ajuste do dispositivo (A); Corpo de prova posicionado na prensa (B).



(A)



(B)

Fonte: Autores, 2025.

A resistência a tração na flexão foi obtida utilizando-se a Equação 1. A resistência à compressão foi avaliada tanto nos fragmentos provenientes da ruptura em flexão NBR 13279 (ABNT, 2005). Nos fragmentos prismáticos, as metades foram ensaiadas à compressão com taxa de 500 ± 50 N/s, utilizando chapas de aço de 10×10 mm entre o corpo de prova e os pratos da prensa, de modo a garantir distribuição uniforme de tensões. A resistência a compressão foi calculada conforme a Equação 2, considerando a área de 100 mm^2 da seção transversal.

$$R_s = \frac{1,5F_f L}{10^3} \quad (1)$$

$$R_c = \frac{F_c}{100} \quad (2)$$

Já para os cilindros, o ensaio foi conduzido em conformidade com os princípios da NBR 5739 (ABNT, 2018), ajustando-se a taxa de carregamento para 0,20 a 0,25 MPa/s. Os corpos de prova foram centralizados nos pratos, os topos regularizados por lixamento foram ensaiados com interposição de couro de aproximadamente 4,5 mm de espessura, que funcionou como interface compressível, compensando pequenas irregularidades e reduzindo excentricidades. A resistência a compressão axial foi calculada conforme a Equação 3.

$$F_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (3)$$

Em todas as etapas, buscou-se garantir reprodutibilidade por meio da verificação dimensional individual dos corpos de prova, do alinhamento rigoroso durante os ensaios e do controle ambiental durante a cura foram ensaiados corpos de prova miniaturizados (17×34 mm para pastas; $10 \times 10 \times 40$ mm para argamassas) e normativos (50×100 mm; $40 \times 40 \times 160$ mm). A aceitabilidade estatística dos resultados foi estabelecida com base em no mínimo três corpos de prova por idade e tipo de ensaio, sendo considerados válidos os conjuntos que apresentaram desvio relativo máximo inferior a 6% (Ribeiro et al., 2025; Oliveira, 2023; Oliveira, 2024; Pinheiro, 2025; Cerqueira, 2025; Jesus, 2024; Gonçalves, 2025).

Resultados

Os resultados obtidos evidenciam a viabilidade do uso de corpos de prova em escala reduzida para a caracterização de materiais cimentícios. Os corpos cilíndricos miniaturizados (17×34 mm) apresentaram comportamento muito semelhante ao dos corpos convencionais (50×100 mm), reproduzindo as mesmas tendências de evolução de resistência ao longo do tempo. Essa convergência confirma que, quando assegurados o lixamento adequado das superfícies e o uso de interfaces compressíveis para reduzir excentricidades, a escala reduzida preserva a fidelidade dos resultados em relação aos métodos normativos.

Tabela 1 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em pastas com CP Cilíndrico.

Amostras	Tempo de Cura	Média (MPa)	Desvio Padrão
Pasta convencional	28 dias	31,87	0,52

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Pasta em miniatura	28 dias	30,39	0,21
--------------------	---------	-------	------

Fonte: Autores, 2025.

Nos ensaios de tração na flexão, a adaptação proporcional dos prismas garantiu resultados equivalentes em termos de carga e comportamento de ruptura. A manutenção da proporcionalidade geométrica entre distância de apoios e seção transversal foi determinante para a confiabilidade do método, validando a técnica para estudos comparativos. As metades oriundas da ruptura em flexão, posteriormente ensaiadas à compressão, apresentaram resistências compatíveis com os valores obtidos em prismas convencionais, reforçando a consistência da abordagem miniaturizada.

Tabela 2 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão em argamassas com CP prismático.

Amostras	Tempo de Cura	Média (MPa)	Desvio Padrão
Argamassa convencional	28 dias	2,25	0,11
Argamassa em miniatura	28 dias	2,95	0,13

Fonte: Autores, 2025.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em argamassas com CP prismático.

Amostras	Tempo de Cura	Média (MPa)	Desvio Padrão
Argamassa convencional	28 dias	8,43	0,29
Argamassa em miniatura	28 dias	9,25	0,26

Fonte: Autores, 2025.

No ensaio de absorção de água por capilaridade foram, a redução do nível de contato líquido, proporcional ao exigido pela NBR 9779 (ABNT, 2012) em corpos de prova normativos, não comprometeu a sensibilidade do método. Os prismas miniaturizados exibiram coeficientes de capilaridade que reproduziram as mesmas tendências temporais observadas nos prismas convencionais, ainda que com pequenas variações de magnitude atribuídas à maior influência da heterogeneidade (Observada a olho nu) em volumes reduzidos. Apesar disso, a técnica mostrou-se válida para análises exploratórias, sobretudo quando associada à execução de maior número de réplicas, viabilizada pelo reduzido consumo de material.

Discussão

De maneira geral, os resultados confirmam que a miniaturização é metodologicamente convalidada para ensaios de argamassas, assegurando equivalência estatística com os métodos normativos, e apresenta potencial de aplicação em pastas mediante ajustes procedimentais. A redução no consumo de insumos, aliada à possibilidade de ampliar o número de repetições, posiciona a técnica como alternativa confiável, sustentável e com potencial de futura normatização.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos nessa pesquisa, pode-se concluir:

- Os corpos de prova em escala reduzida reproduziram de forma consistente o comportamento mecânico e físico observado em amostras convencionais, especialmente em argamassas, assegurando equivalência estatística dos resultados;
- Em pastas cimentícias, a técnica demonstrou viabilidade, embora ainda demande padronização mais rigorosa para reduzir a variabilidade dos resultados;
- A preservação de tendências em propriedades como resistência à compressão, tração na flexão, absorção de água e densidade aparente reforça a fidelidade do método em relação aos procedimentos normativos;
- A miniaturização permitiu reduzir significativamente o consumo de insumos e a geração de resíduos, reforçando seu caráter sustentável e alinhado a práticas experimentais mais eficientes.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. NBR 9779: Rio de Janeiro, 2012.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. NBR 13279: Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. NBR 5738: Rio de Janeiro, 2015.

_____. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. NBR 5739: Rio de Janeiro, 2018.

BEAUDOIN, J. J. **Miniaturized Techniques**. Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology Principles, Techniques. 2001.

CERQUEIRA, P. L. C. D. **Uso de amostras em miniatura para a avaliação da incorporação de finos de rocha granítica na composição de argamassas de hidratação controlada**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA, 2025.

COSTA, E. B. **Aproveitamento do resíduo de anodização do alumínio na produção do cimento sulfoaluminato de cálcio belítico**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2013.

COSTA, F. N. **Valorização do resíduo de construção civil por meio de sua incorporação ao processo de clínquerização**. 2020. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

GONÇALVES, D. R.; CHAGAS, T. J.; CERQUEIRA, P. L. C. D.; RODRIGUES, L. D.; COSTA, F. N. **Argamassas com substituição parcial de cimento por cinza de casca de mandioca**. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Tecnologias das Argamassas – SBTA2025, SBTA, Porto Alegre – RS, 2025.

MARIANI, B. B. **Produção de clínquer Portland com baixa emissão de CO₂ a partir da incorporação de minério não reagido (MNR) proveniente da produção de TiO₂**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Salvador, 2018.

MEHTA, P., e GJØRV, O. **Um novo teste para resistência ao sulfato de cimentos**. ASTM Internacional. J. Test. Eval. Novembro de 1974; 2(6): 510–515

PINHEIRO, M. J. **Incorporação combinada de areia de britagem e fino de rocha granítica para produção de argamassa de revestimento de paredes e tetos com uso de amostras em miniatura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA, 2025.

RIBEIRO, T. O.; OLIVEIRA, L. G. C.; REIS, L. L.; DIVINO, M. R. S. A.; COSTA, F. N. **Ensaio no estado endurecido com corpos de prova em escala reduzida: comparação entre argamassas e pastas cimentícias**. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Tecnologias das Argamassas – SBTA2025, SBTA, Porto Alegre – RS, 2025.

SOUZA, C. O.; JESUS, L. S.; SANTOS, T. J. C.; COSTA, F. N. **Avaliação da substituição parcial de cinzas de olaria em matrizes cimentícias utilizando CP em miniatura**. XXVII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica – INIC 2023, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos – SP, 2023

SOUZA, C. O. **Avaliação do uso de resíduos de cinzas de fornos de padaria em matrizes cimentícias utilizando corpos de prova em miniatura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA, 2023.

Agradecimentos

À UFRB e à FAPESB, pelo apoio à pesquisa. Ao grupo de pesquisa VALORA Civil da UFRB. À empresa Massa Fort Concreto pela doação de materiais utilizados na pesquisa.