

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE MISTURAS CIMENTÍCIAS COM INCORPORAÇÃO DE GRAFENO

**Wilker Kenio Moreira Leonel¹
Dr. Daniel da Silva Andrade²
Universidade Estadual de Goiás – UEG**

RESUMO

O presente estudo analisou a resistência à compressão de misturas cimentícias com a incorporação de grafeno, avaliando os efeitos mecânicos decorrentes da adição de diferentes teores do nanomaterial (0,5%, 1,0% e 2,0%) em comparação a uma formulação de referência, isenta de grafeno. Os ensaios foram realizados aos 2, 7 e 28 dias de cura, permitindo uma análise evolutiva do desempenho das misturas ao longo do tempo. Os resultados demonstraram que a presença do grafeno influenciou positivamente o comportamento das amostras, com ganhos significativos de resistência, sobretudo após o sétimo dia, quando os efeitos sobre a microestrutura se tornaram mais evidentes. As misturas com 1,0% e 2,0% apresentaram os melhores desempenhos, destacando-se a concentração aos 28 dias. Observou-se, ainda, uma alteração no modo de ruptura dos corpos de prova, com comportamento menos frágil e mais dúctil, indicativo de uma matriz interna mais coesa e homogênea. Tais melhorias podem ser atribuídas a três mecanismos associados à atuação do grafeno: o efeito "*filler*", que contribui para a compactação da matriz; a aceleração das reações de hidratação, promovida por interações físico-químicas com os produtos do cimento; e a densificação das zonas de transição interfaciais. Dessa forma, o estudo evidencia o potencial do grafeno como aditivo funcional na engenharia de materiais cimentícios, apontando caminhos promissores para o desenvolvimento de compósitos de alto desempenho, com maior durabilidade, resistência mecânica e estabilidade microestrutural ao longo do tempo.

Palavras-chave: Grafeno, Nanomaterial, Compressão, Misturas Cimentícias.

INTRODUÇÃO

A consolidação da nanociência e nanotecnologia no final do século XX marcou um avanço significativo na ciência dos materiais, ao possibilitar o controle das propriedades da matéria em escala nanométrica. Nessa dimensão, características físicas, químicas e mecânicas podem diferir radicalmente das observadas em escalas macroscópicas, abrindo caminho para o desenvolvimento de compósitos inovadores e de alto desempenho. O grafeno destaca-se nesse contexto por apresentar um conjunto singular de propriedades, incluindo elevada resistência mecânica, excelente condutividade elétrica e térmica, leveza, flexibilidade e impermeabilidade a gases (ARAUJO, 2022). Essas características têm impulsionado aplicações em áreas como eletrônica, medicina, revestimentos funcionais e, mais recentemente, na construção civil.

Na engenharia civil, pesquisas vêm apontando o grafeno como aditivo promissor para concretos e argamassas, com potencial para superar limitações tradicionais como baixa resistência à tração, suscetibilidade a fissuração e

durabilidade reduzida. Sua incorporação pode atuar por meio de três mecanismos principais: efeito *filler*, que densifica a matriz ao preencher poros; aceleração da hidratação do cimento, favorecendo a formação precoce de produtos cristalinos de alta resistência; e melhoria das zonas de transição interfaciais, aumentando a coesão interna (NASCIMENTO, 2022). Além de melhorar o desempenho mecânico, o uso do grafeno pode contribuir para soluções construtivas mais sustentáveis, considerando que o cimento Portland é responsável por aproximadamente 8% das emissões globais de CO₂. Nesse cenário, a busca por materiais que combinem eficiência estrutural e menor impacto ambiental torna o grafeno um aliado estratégico no desenvolvimento de compósitos avançados.

O presente estudo investiga a influência da adição de grafeno em diferentes teores (0,5%, 1,0% e 2,0%) na resistência à compressão de argamassas, em comparação a uma formulação de referência sem aditivo, avaliando o desempenho aos 2, 7 e 28 dias de cura. O objetivo é compreender de que forma esse nanomaterial atua sobre a microestrutura e o comportamento mecânico do compósito, identificando dosagens mais eficazes e suas implicações para aplicação na construção civil em larga escala.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi dividido em duas etapas para avaliar o impacto de diferentes teores de grafeno na resistência à compressão de compósitos cimentícios em idades precoces de cura.

Etapa 1 – Caracterização dos Materiais: Na primeira etapa, procedeu-se à caracterização dos materiais constituintes das misturas. Utilizou-se cimento Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI), conforme especificações da ABNT NBR 16697 (2018), escolhido pela sua capacidade de desenvolver resistência em curto prazo. O grafeno empregado foi fornecido na forma de nanoplaquetas secas, com elevada área superficial específica e estrutura lamelar, características que favorecem sua atuação como reforço na matriz cimentícia. Um aditivo superplastificante (SP) à base de éter policarboxílico foi incorporado para garantir a trabalhabilidade adequada das misturas, com teor ajustado entre 2,0% e 2,3% da massa de cimento, dependendo da concentração de grafeno.

Etapa 2 – Dosagem, Preparo das Misturas e Ensaio: Na segunda etapa, foram produzidas quatro formulações: uma referência (sem grafeno) e três com teores de grafeno correspondentes a 0,5%, 1,0% e 2,0% da massa de cimento. A relação água/cimento (a/c) foi mantida constante em 0,45 para todas as composições, a tabela 1 apresenta a proporção dos materiais utilizados em cada mistura:

Tabela 1. Proporção de materiais utilizados

Mistura	Cimento (g)	Grafeno (g)	Água (g)	Aditivo SP (g)
REF	1800	0	788,4	36,0
GR 0,5	1800	9	781,5	37,8
GR 1,0	1800	18	774,6	39,5
GR 2,0	1800	36	761,8	41,4

Fonte: Autoral, 2025

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados aos 2, 7 e 28 dias, conforme a ABNT NBR 7215:2019, utilizando prensa hidráulica até a ruptura dos corpos de prova. A partir da força máxima registrada, calcularam-se as tensões em MPa. As médias obtidas para cada teor de grafeno estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Proporção de materiais utilizados

Mistura	2 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	Mistura
REF	11,37	20,75	15,12	REF
GR 0,5	11,91	23,78	20,74	GR 0,5
GR 1,0	12,91	30,52	27,87	GR 1,0
GR 2,0	16,65	25,45	33,55	GR 2,0

Fonte: Autoral, 2025

RESULTADOS

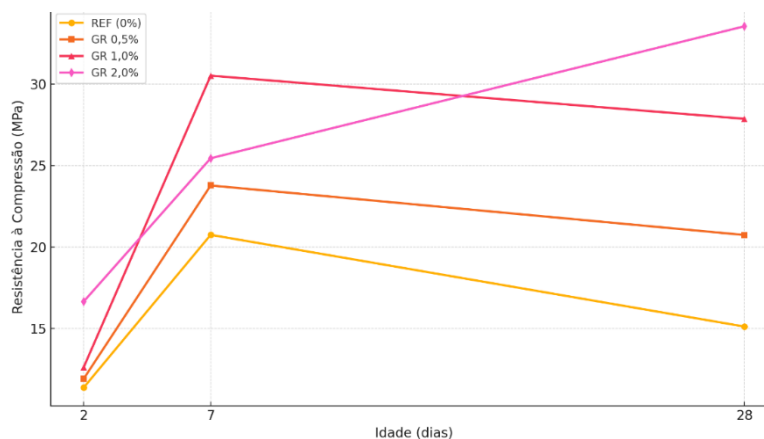
Tabela 3. Proporção de materiais utilizados

MIST.	CORPOS DE PROVA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		
		2 dias	7 dias	28 dias
REF.	Corpo de prova 1			
	Corpo de prova 2	12,63	22,44	18,38
	Corpo de prova 3	11,38	23,8	11,86
GR 0,5%	Corpo de prova 1	10,11	16,02	15,13
	Corpo de prova 2	10,23	23,05	21,54
	Corpo de prova 3	13,97	23,79	19,14
GR 1,0%	Corpo de prova 1	11,52	24,51	21,54
	Corpo de prova 2	10,66	27,73	21,19
	Corpo de prova 3	12,61	27,19	31,52
GR 2,0%	Corpo de prova 1	14,57	36,64	30,9
	Corpo de prova 2	18,6	20,59	34,52
	Corpo de prova 3	18,5	24,71	33,96

Fonte: Autoral, 2025

O presente estudo avaliou o comportamento mecânico de quatro misturas cimentícias, sendo uma de referência (REF), sem incorporação de grafeno, e três formulações contendo 0,5%, 1,0% e 2,0% do nanomaterial em relação à massa de cimento. Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados aos 2, 7 e 28 dias de cura, conforme apresentados na Tabela 3 e ilustrados na Imagem 1.

Figura 1. Evolução da Resistência à Compressão - Diferentes Teores de Grafeno.



Fonte: Autoral (2025)

A mistura de referência apresentou desempenho típico de pastas cimentícias convencionais, com resistência média inicial de 11,37 MPa aos 2 dias e elevação para 20,75 MPa aos 7 dias, seguida de declínio aos 28 dias (15,12 MPa), sugerindo descontinuidade no processo de hidratação ou fragilidade microestrutural. A formulação com 0,5% de grafeno (GR 0,5) demonstrou incremento na resistência média, sobretudo aos 7 dias (23,78 MPa), e manutenção do desempenho aos 28 dias (20,74 MPa), com menor dispersão dos resultados, indicando maior uniformidade estrutural.

O teor de 1,0% (GR 1,0) apresentou o melhor desempenho global, evoluindo de 12,61 MPa aos 2 dias para 30,52 MPa aos 7 dias e atingindo 27,87 MPa aos 28 dias, com elevada estabilidade entre corpos de prova, evidenciando boa dispersão e interação do grafeno com os produtos de hidratação. Já a mistura com 2,0% (GR 2,0) obteve a maior resistência média aos 28 dias (33,55 MPa), embora com maior variabilidade, possivelmente devido à formação de aglomerados, o que comprometeu o desempenho inicial. A análise dos resultados (Tabela 3 e Imagem 1) indica que o grafeno atua por três mecanismos principais: efeito *filler*, que promove maior

compactação da matriz; aceleração das reações de hidratação, favorecendo a formação de produtos cristalinos; e densificação das zonas de transição interfaciais, resultando em uma microestrutura mais coesa e homogênea. Esses mecanismos contribuíram para o aumento progressivo da resistência à compressão ao longo do tempo de cura, a alteração do comportamento de ruptura e a elevação da tenacidade do compósito, evidenciando o potencial do grafeno como aditivo funcional para melhoria das propriedades mecânicas e durabilidade de materiais cimentícios.

CONCLUSÃO

A pesquisa evidenciou que o grafeno, mesmo em baixas concentrações, melhora significativamente o desempenho mecânico de compósitos cimentícios, com efeitos mais pronunciados após o sétimo dia de cura. Os resultados de resistência à compressão mostraram ganhos consistentes ao longo do tempo, especialmente aos 28 dias, quando as misturas com 1,0% e 2,0% de grafeno atingiram médias de 27,87 MPa e 33,55 MPa, respectivamente, frente a 15,12 MPa da mistura de referência. O nanomaterial influenciou não apenas os valores de resistência, mas também a coesão interna, a uniformidade e o comportamento pós-ruptura, tornando as fraturas menos abruptas e mais dúcteis. O teor de 1,0% mostrou-se ideal para equilibrar resistência e estabilidade, enquanto 2,0%, apresentaram maior variabilidade, possivelmente devido a aglomerações. Os dados confirmam o potencial do grafeno como agente de reforço estrutural, capaz de densificar e homogeneizar a microestrutura, aumentando a durabilidade e contribuindo para soluções construtivas mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, Caio Lucas de Azevedo. Grafeno: Composição, aplicabilidade e perspectivas. **Revista Brasileira de Processos Químicos**, Campinas, SP, v. 3, n. 2, p. 33-47, jul./dez. 2022. Disponível em: <https://www.fateccampinas.com.br/rbpq/index.php/rbpq/article/view/40>. Acesso em: 13 set. 2024.

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

NASCIMENTO, Carlos Fernando Gomes do. **Compósitos Cimentícios com Adição de Grafeno Puro Multicamadas**: Investigação de Efeitos em Propriedades Estruturais, Morfológicas, Químicas e Mecânicas. Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Nathalia Bezerra de Lima, Prof. Dr. Tiago Felipe de Abreu Santos. 2022. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/46440/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Carlos%20Fernando%20Gomes%20do%20Nascimento.pdf>. Acesso em: 17 set. 2024.