XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8299

Avaliação da concentração de 0,01% de óxido de grafeno rico em carbonila (CGO) nas propriedades do concreto

Evaluation of a 0.01% concentration of carbonyl-rich graphene oxide (CGO) to the properties of concrete.

Daniela Purgatto Marques
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | danielapurgatto.marques@estudante.ufjf.br
João Victor de Assis Ferreira
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | joao.assis@estudante.ufjf.br
Aldo Ribeiro de Carvalho
UFOP | Ouro Preto | Brasil | aldorcarvalho@outlook.com
Marina Costa Totti
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | marinatotti26@gmail.com
Welber Gianini Quirino
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | wgquirino@ufjf.br
Thaís Mayra de Oliveira
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | thais.mayra@ufjf.br

Resumo

Atualmente, são limitados os estudos sobre o desempenho de baixos teores de óxido de grafeno rico em carbonila (CGO) em concretos. Diante disso, este estudo avaliou concretos de referência e com 0,01% de CGO e comparou os resultados aos valores reportados na literatura para 0,02% de CGO. Foram analisados absorção de água, índice de vazios, massa específica, velocidade de pulso ultrassônico, resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral, além dos módulos de elasticidade estático e dinâmico. A adição de 0,01% de CGO aumentou a absorção de água, o índice de vazios e a velocidade de pulso ultrassônico, reduziu a massa específica e o módulo estático e promoveu ganhos discretos nas resistências mecânicas em relação ao concreto de referência. Contudo, seu desempenho foi inferior ao reportado para 0,02% de CGO. Os resultados indicam que a redução do teor para 0,01% não favoreceu a otimização global do concreto e contribuem para delimitar a faixa de concentração mais adequada desse nanomaterial.
Palavras-chave: Grafeno. Nanotecnologia. Propriedades mecânicas. Concreto.

Abstract

Currently, studies on the performance of low contents of carbonyl-rich graphene oxide (CGO) in concrete are limited. Therefore, this study evaluated reference concrete and concrete containing 0.01% CGO and compared the results with those reported in the literature for concrete containing 0.02% CGO. The evaluated properties included water absorption, void index, density, ultrasonic pulse velocity, compressive strength, splitting tensile strength, and both static and dynamic moduli of elasticity. The incorporation of 0.01% CGO increased water absorption, void index, and ultrasonic pulse velocity, while reducing density and the static modulus of elasticity. It also promoted modest improvements in the mechanical strengths compared with the reference concrete. However, its overall performance was inferior to that reported for concrete containing 0.02% CGO. These findings indicate that reducing the CGO content to 0.01% did not enhance the overall optimization of concrete performance and contribute to defining the most suitable concentration range for this nanomaterial.
Keywords: *Graphene. Nanotechnology. Mechanical properties. Concrete.*

Como citar:
MARQUES, D. P.; FERREIRA, J. V. A.; CARVALHO, A. R.; TOTTI, M. C.; QUIRINO, W. G.; OLIVEIRA, T. M. T. Avaliação da concentração de 0,01% de óxido de grafeno rico em carbonila (CGO) nas propriedades do concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8299

INTRODUÇÃO

A nanotecnologia tem sido amplamente investigada no âmbito da construção civil, especialmente por seu potencial de modificar o desempenho dos materiais cimentícios. Segundo Chuah et al. [1],a incorporação de pequenas quantidades de nanomateriais, como nanochapas de carbono, em compósitos de cimento e concreto pode promover melhorias em suas propriedades mecânicas, resistência e durabilidade, desde que esses materiais sejam adequadamente dispersos na matriz. Entre os nanomateriais estudados, o óxido de grafeno (GO) destaca-se por sua elevada área superficial e pela presença de grupos funcionais oxigenados, características que favorecem sua interação com os produtos de hidratação do cimento [2].

Nesse contexto, o óxido de grafeno rico em carbonila (CGO) tem sido apresentado como uma alternativa promissora. Esse nanomaterial foi desenvolvido pelo Grupo de Nanociências e Nanotecnologia (Nano) do Departamento de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), a partir de uma modificação do método de Hummers. O processo de síntese empregado resulta em um material com maior teor de grupos carbonila e maior afinidade química com a matriz cimentícia [3].

Carvalho et al. [4] avaliaram a incorporação de CGO em concretos nas concentrações de 0,02%, 0,03% e 0,05% em relação à massa de cimento, identificando o teor de 0,02% como aquele que apresentou o melhor desempenho global entre as dosagens analisadas. Entretanto, ainda são limitadas as informações sobre o comportamento de concretos produzidos com concentrações inferiores de CGO, particularmente com o teor de 0,01%. A investigação dessa dosagem permite verificar se a redução da quantidade de nanomaterial é capaz de preservar ou promover alterações favoráveis nas propriedades do concreto, além de contribuir para uma delimitação mais precisa da faixa de concentração adequada.

Diante dessa lacuna, o presente estudo tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de concretos contendo 0,01% de CGO em relação à massa de cimento. Os resultados foram comparados aos do concreto de referência e aos valores reportados por Carvalho et al. [4] para a concentração de 0,02%, buscando ampliar a compreensão sobre a influência de baixos teores desse nanomaterial no desempenho do concreto.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Com o objetivo de assegurar a comparabilidade entre os resultados, foram utilizados os mesmos materiais empregados por Carvalho et al. [4]. O cimento adotado foi o Portland CP V-ARI Plus, fabricado pela Holcim do Brasil S.A. Esse cimento apresentou superfície específica de 5.155 cm²/g, resíduo de 1,2% na peneira de abertura de 0,045 mm, tempo de início de pega de 158 minutos e expansão a quente nula. Sua composição química foi constituída principalmente por 63,37% de óxido de cálcio,

21,07% de dióxido de silício, 4,95% de óxido de alumínio, 3,43% de óxido de magnésio, 2,86% de óxido de ferro e 1,50% de trióxido de enxofre [4].

Como agregado miúdo, utilizou-se areia natural proveniente do Rio Preto, em Minas Gerais. O material apresentou módulo de finura de 2,69, dimensão máxima característica de 4,8 mm, massa específica de 2,656 g/cm³ e massa unitária seca de 1,483 g/cm³. Foram verificados, ainda, teor de 4,575% de torrões de argila, 1,04% de material pulverulento e teor de matéria orgânica inferior ou igual a 300 ppm. A distribuição granulométrica foi avaliada conforme os procedimentos estabelecidos para agregados destinados à produção de concreto [4].

Como agregado graúdo, empregou-se brita 0 proveniente de rocha gnáissica, produzida pela empresa Pedra Sul Mineração. O agregado apresentou módulo de finura de 6,14, dimensão máxima característica de 12,5 mm, massa específica de 2,769 g/cm³ na condição saturada e de 2,755 g/cm³ na condição seca. Sua massa unitária seca foi de 1,463 g/cm³, com teor de material pulverulento de 0,40% e absorção de água de 0,51% [4].

Para melhorar a trabalhabilidade das misturas, utilizou-se o aditivo superplastificante ViscoCrete-3535 CB, fabricado pela Sika S.A. O produto foi selecionado por sua compatibilidade com o cimento CP V-ARI Plus, conforme indicado em sua ficha técnica, além de ter sido empregado no estudo de Carvalho et al. [4]. A água utilizada na produção dos concretos foi proveniente da rede pública de abastecimento do município de Juiz de Fora, Minas Gerais.

Óxido de grafeno rico em grupos carbonila (CGO)

O óxido de grafeno rico em carbonila é um nanomaterial desenvolvido pelo Grupo Nano do Departamento de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora, obtido por meio de uma modificação do método de Hummers, conforme descrito por [3] e [5]. A síntese desse material é resultante de um processo de oxidação em duas etapas, que inclui uma fase de oxidação prolongada seguida por uma segunda etapa destinada a intensificar a quebra das ligações duplas C=C e favorecer a formação de grupos funcionais carbonila.

A síntese diferenciada do CGO promove uma distribuição específica de grupos oxigenados, sendo os grupos carbonila predominantes em relação a outros, conforme apresentado por análises realizadas por espectroscopia de fotoelétrons de raios X (XPS).

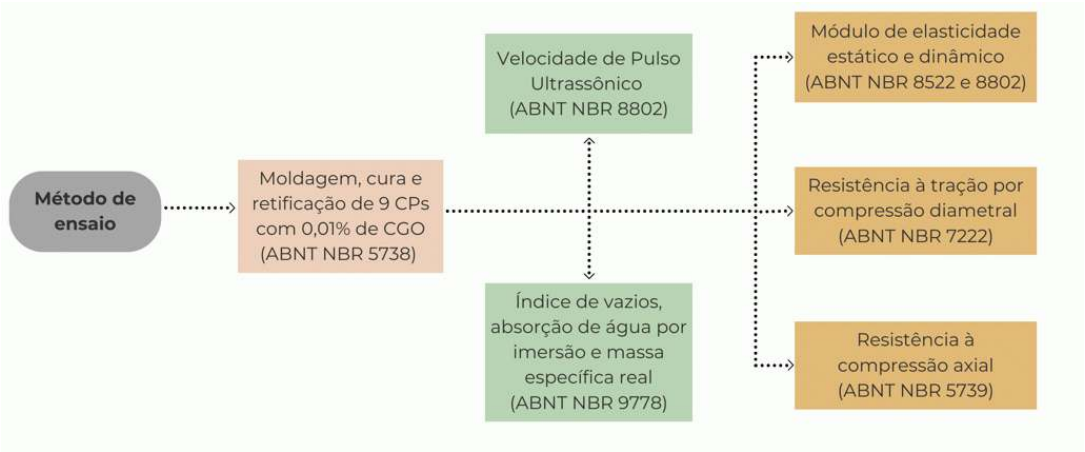
Assim, o CGO foi incorporado ao concreto por meio de sua dispersão em água na concentração de 5 mg/mL, sendo o volume de água utilizado nessa etapa considerado no processo de moldagem dos corpos de prova, de modo a não alterar a relação água/cimento adotada no estudo. Dessa forma, os grupos funcionais carbonila presentes no CGO conferem ao material maior caráter hidrofílico, facilitando sua dispersão em meio aquoso [4].

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8299

MÉTODOS

A Figura 1 ilustra, resumidamente, os métodos adotados no processo investigativo.

Figura 1: Processo metodológico para os ensaios adotados



Fonte: Autores (2026)

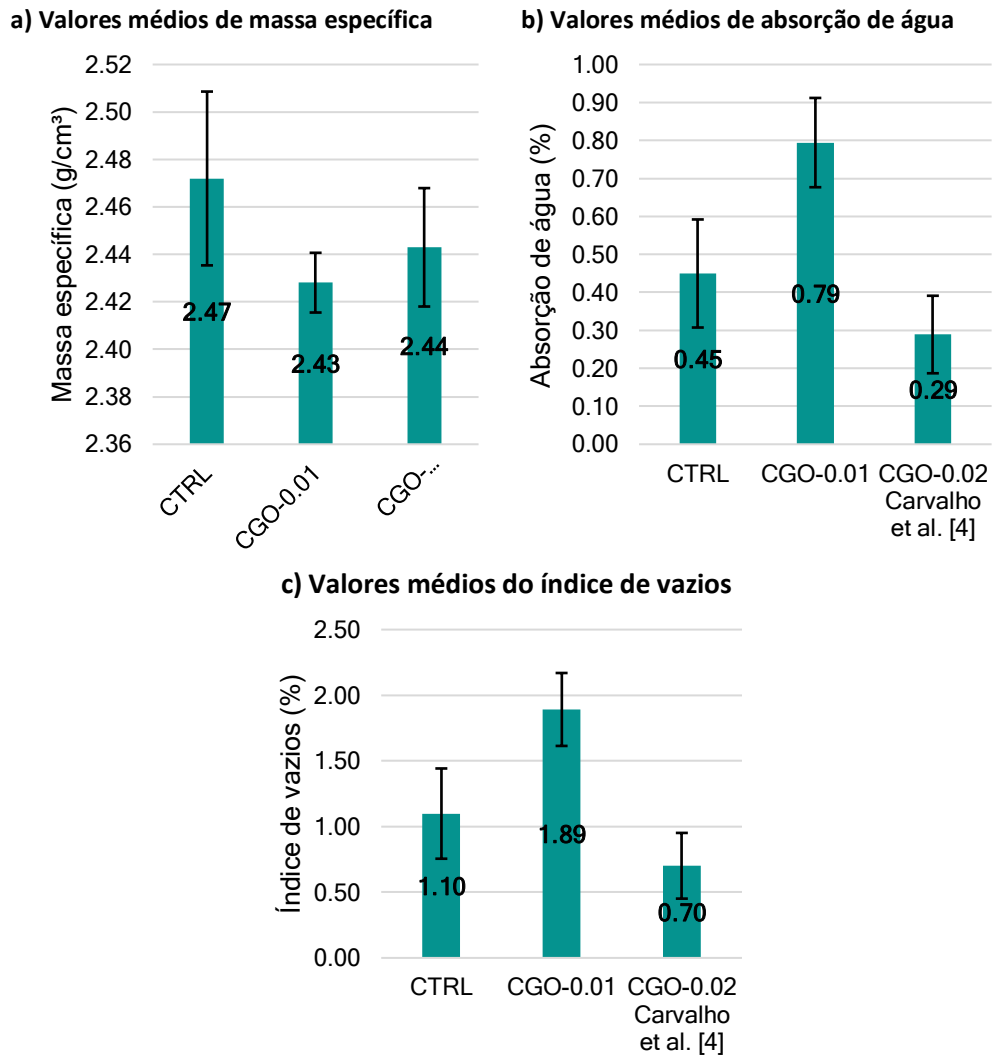
RESULTADOS

ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

A porosidade está diretamente relacionada a propriedades físicas do compósito, como absorção de água, índice de vazios e massa específica. Ela é inerente do concreto, entretanto a quantidade de poros pode ser elevada com a adição de GO, conforme aponta Liu et al. [6]. Nesses casos, a quantidade numérica de poros pode ser maior, mas a dimensão (macroporos) é reduzida, refinando a matriz do compósito e promovendo a existência de microporos [7].

Os resultados desse estudo, porém, mostraram que para a concentração de 0,01% de CGO o aumento de microporos não representou de forma significativa uma melhora nas propriedades citadas, quando comparado com diferentes concentrações do CGO, como a adição de 0,02% apresentada como ótima por Carvalho et al. [4]. Para a dosagem com 0,01% de CGO, obteve-se uma redução no valor de massa específica (Figura 2a) em relação ao valor de referência, 2.43 g/cm³, sendo ainda menor que o valor obtido por Carvalho et al. [4] para a concentração de 0,02% de CGO, resultado este que corrobora as observações realizadas por Liu et al. [6]. Houve ainda um aumento no número de vazios, bem como na absorção de água, conforme observado na Figura 2. Esse comportamento já havia sido notado no trabalho de Wang et al. [7], para a aplicação de GO, sendo os resultados maiores que os apontados por Carvalho et al. [4] como concentração ótima e evidenciando que para essas propriedades do concreto, a concentração de 0,01% é, de fato, inviável para garantir o melhor refinamento dos poros da estrutura.

Figura 1 Propriedades físicas do concreto



Fonte: Autores (2026)

VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO

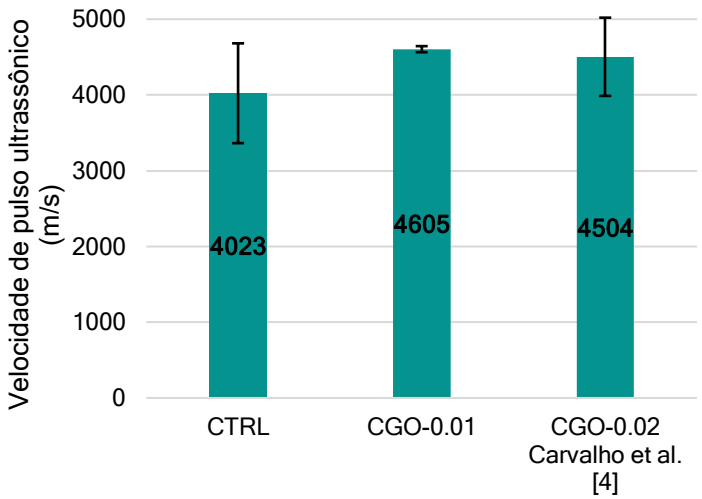
O ensaio de velocidade de pulso ultrassônico foi realizado para analisar a homogeneidade das amostras de concreto com adição de CGO e seu resultado comparativo com o estudo de Carvalho et al. [4] é apresentado na Figura 3.

Nota-se um crescimento de 14,69% na VPU em relação ao valor médio de controle, fenômeno resultante da redução dos macroporos da estrutura. Nota-se que esse valor de 4605 m/s para 0,01% de CGO é superior à relação entre a dosagem de 0,02% e o concreto de controle, uma vez que esse ensaio apresenta um caráter de análise qualitativa [8]. Ao analisar esse resultado em conjunto com o índice de vazios e a absorção de água, observa-se um comportamento curioso. O concreto com 0,01% apresenta valores de índice de vazios e absorção superiores aos do concreto de referência e também ao concreto com 0,02% de Carvalho et al. [4]. No entanto, a maior VPU indica que sua matriz é mais densa em comparação aos demais.

Esse aparente contraste sugere que, embora o número de poros possa ser semelhante entre os concretos, a configuração da rede porosa é distinta. No caso do concreto com

0,01%, há maior interconectividade entre os poros, o que facilita a percolação da água e justifica os valores mais elevados de absorção e índice de vazios, ao mesmo tempo em que permite a propagação mais eficiente da onda ultrassônica.

Figura 2 Valor médio de VPU nas amostras



Fonte: Autores (2026)

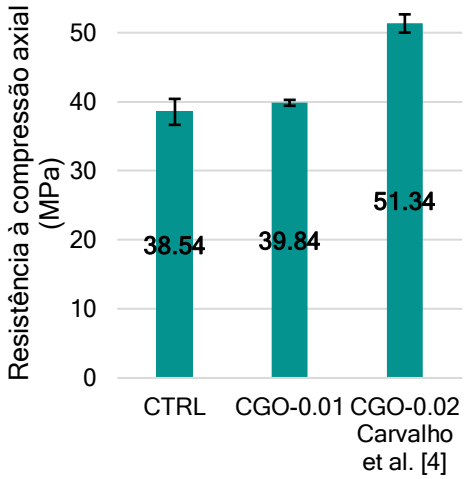
RESISTENCIA À COMPRESSAO AXIAL

Carvalho et al. [4] revela o aumento das resistências de ruptura do concreto para diferentes concentrações de CGO com um aumento, inversamente proporcional à adição do nanomaterial. Entretanto, se considerada a concentração de 0,01% realizada no presente estudo, esse comportamento não é mantido.

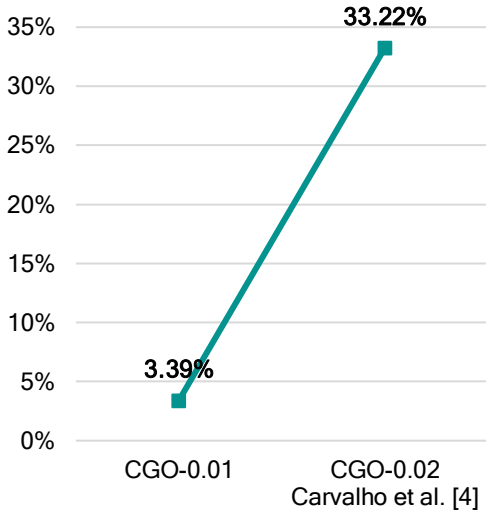
A Figura 4a apresenta o valor médio obtido para a resistência à compressão axial de corpos de prova de CTRL, 0,01% de CGO e com 0,02% realizado por Carvalho et al. [4]. Nota-se que a concentração de 0,01% alcançou 39,84 MPa, sendo sutilmente superior ao concreto de controle (3,39% superior), porém inferior à concentração de 0,02% em 22,40%. O menor desempenho do concreto com 0,01% em decorrência das interconexões entre os poros, que são mais numerosas e geram zonas de fragilidade que reduzem a resistência à compressão, já era previsto por Liu et al. [9].

Figura 3 Valor médio de resistência mecânica à compressão axial

c) Valores médios de resistência à compressão axial



d) Crescimento percentual de resistência à compressão axial em relação ao controle



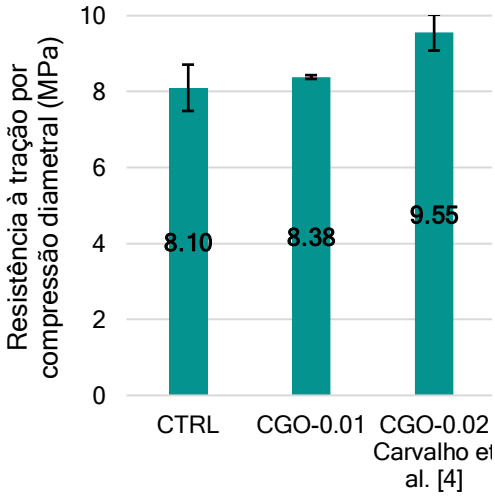
Fonte: Autores (2026)

RESISTENCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

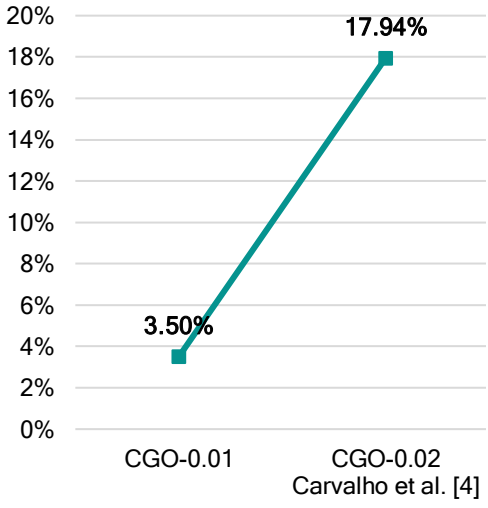
Segundo Carvalho et al., a tensão de ruptura à tração do concreto reduz conforme aumenta a concentração de CGO utilizado [4]. Neste sentido, a redução da concentração de CGO para 0.01% deveria beneficiar o concreto, mas o comportamento apresentado não condiz com essa observação. O concreto com 0,01% apresentou uma resistência à tração 12,25% inferior ao obtido no concreto de 0,02% de Carvalho et al. [4], com um valor de 8,38 MPa para 0,01% frente aos 9,55 MPa obtidos no estudo de Carvalho et al. [4]. A Figura 5b apresenta os resultados comparativos para resistência à tração das concentrações de concreto.

Figura 4 Valor médio de resistência mecânica à compressão diametral

e) Valores médios de resistência à tração



f) Crescimento percentual de resistência à tração em relação ao controle



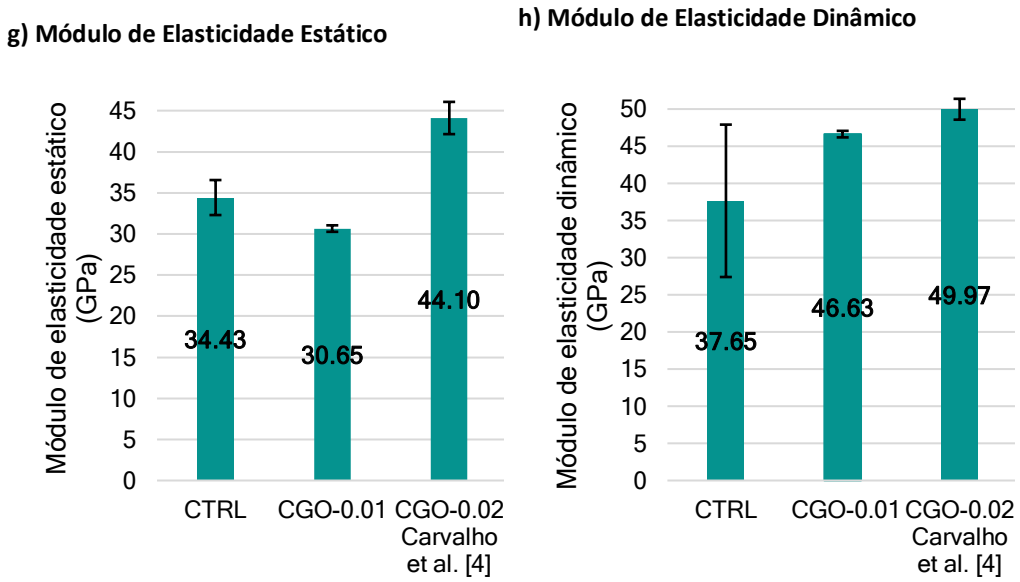
Fonte: Autores (2026)

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8299

MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO E DINÂMICO

A Figura 6 apresenta os módulos de elasticidade estático e dinâmico dos concretos de controle e com adição de 0,01% de CGO e 0,02% realizado por Carvalho et al. [4]. Os valores obtidos apresentam uma redução de 10,98% do módulo de elasticidade estática em relação às amostras de controle e um aumento de 23,85% do módulo de elasticidade dinâmica. Ambos os valores obtidos se mostraram menores que as amostras com concentração de 0,02% de CGO apresentadas por Carvalho et. al [4], com uma redução respectiva de 30,50% e 6,68%.

Figura 5 Valores médios de módulo de elasticidade das amostras



Fonte: Autores (2026)

Observa-se uma significativa redução dos valores de módulo de elasticidade estático entre as amostras de controle e com adição de 0,01%, também relacionada ao aumento do quantitativo de microporos da estrutura [10], enquanto é possível notar um aumento de 23,90% no módulo de elasticidade dinâmica. Esse ganho representa o aumento de rigidez do concreto, ainda que inferior ao obtido para a concentração de 0,02% de CGO.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitiu avaliar a influência da incorporação de 0,01% de óxido de grafeno rico em carbonila, em relação à massa de cimento, sobre as propriedades físicas e mecânicas do concreto. Os resultados foram comparados aos do concreto de referência e aos valores reportados por Carvalho et al. [4] para a concentração de 0,02% de CGO. Como principais conclusões, destacam-se:

- A adição de 0,01% de CGO não favoreceu o desempenho físico global do concreto. Foram observados aumento da absorção de água e do índice de vazios, além de redução da massa específica em relação à mistura de referência.

- Os resultados indicam maior porosidade acessível à água no concreto com 0,01% de CGO. Entretanto, os ensaios realizados não permitem determinar diretamente a distribuição dimensional ou a interconectividade dos poros.
- A velocidade de pulso ultrassônico apresentou aumento de 14,69% em relação ao concreto de referência. Contudo, esse resultado deve ser analisado em conjunto com as demais propriedades físicas e não pode ser interpretado isoladamente como evidência de uma matriz menos porosa ou globalmente mais densa.
- A resistência à compressão axial do concreto com 0,01% de CGO foi 3,39% superior à do concreto de referência. Apesar desse ganho discreto, o valor permaneceu 22,40% inferior ao reportado por Carvalho et al. [4] para a concentração de 0,02%.
- A resistência à tração por compressão diametral apresentou aumento de 3,50% em relação ao controle, porém permaneceu 12,25% inferior ao valor reportado para 0,02% de CGO.
- O módulo de elasticidade estático apresentou redução de 10,98% em relação ao concreto de referência, indicando maior deformabilidade sob carregamento. Em contrapartida, o módulo de elasticidade dinâmico aumentou 23,85%, acompanhando o comportamento observado para a velocidade de pulso ultrassônico.
- De modo geral, a redução do teor de CGO para 0,01% não proporcionou a otimização conjunta das propriedades físicas e mecânicas do concreto. Na maior parte das propriedades avaliadas, seu desempenho foi inferior ao reportado para a concentração de 0,02% de CGO.

Assim, este estudo contribui para ampliar o conhecimento sobre o comportamento de concretos produzidos com baixos teores de CGO e auxilia na delimitação de uma faixa de concentração mais adequada para a aplicação desse nanomaterial. São recomendados para estudos futuros a avaliação de concentrações intermediárias e utilizar técnicas específicas de caracterização microestrutural, permitindo relacionar com maior precisão a estrutura porosa aos comportamentos físicos e mecânicos observados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora) pela disponibilidade de laboratórios e materiais para pesquisa, em especial LMCC (Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Engenharia da UFJF), Grupo de Nanociência e Nanotecnologia da UFJF e Laboratório Multiusuário de Microscopia da UFJF. Ademais, gostaríamos de reconhecer as instituições que ajudaram no financiamento da pesquisa: CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), bolsa de doutorado aferida a Aldo Ribeiro de Carvalho, código 001; e FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), creditada a Thaís Oliveira, código APQ-01904-22 .

DECLARAÇÃO

Durante a confecção deste artigo os autores utilizaram o ChatGPT para verificação e aperfeiçoamento gramatical. Após a utilização da(s) ferramenta/serviço, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] S. Chuah, Z. Pan, J. G. Sanjayan, C. M. Wang e W. Duan, “Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from graphene oxide,” *Construction and Building Materials,* 30 Dezembro 2014.

[2] X. Li, A. H. Korayem, C. Y. Li, Y. Liu, H. He, J. G. Sanjayan e W. Duan, “Incorporation of graphene oxide and silica fume into cement paste: A study of dispersion and compressive strength,” *Construction and Building Materials,* 1 Outubro 2016.

[3] A. H. d. Lima, C. T. Tavares, C. C. S. d. Cunha, N. C. Vicentini, G. R. Carvalho, B. Fragneaud, I. O. Maciel, C. Legnani, W. G. Quirino, L. F. C. d. Oliveira, F. Sato e J. P. A. d. Almeida, “Origin of optical bandgap fluctuations in graphene oxide,” *The European Physical Journal B,* 10 Junho 2020.

[4] A. R. d. Carvalho, M. M. Carrara, G. d. S. Pacífico, N. P. Rosa, L. L. Leal, M. C. Totti, N. C. Vicentini, A. H. d. Lima, W. G. Quirino e T. M. d. Oliveira, “Evaluation of mechanical properties and determination of the optimal concentration of a new carbonyl-rich graphene oxide in cementitious composites,” *Case Studies in Construction Materials,* dezembro 2025.

[5] A. L. J. Mendonça, M. Duarte, F. Stavale, C. Legnani, G. D. Carvalho, I. O. Maciel, F. Sato, B. Fragneaud e W. G. Quirino, “Reduced graphene oxide prepared at low temperature thermal,” *Organic Electronics,* Outubro 2017.

[6] C. Liu, X. Hunag, Y.-Y. Wu, X. Deng, Z. Zheng and B. Yang, "Studies on mechanical properties and durability of steel fiber reinforced concrete incorporating graphene oxide," *Cement and Concrete Composites,* July 2022.

[7] T. Wang, E. Bai, B. Ren, W. Xia and J. Xu, "Strengthening effect of monolayer graphene oxide on the impact mechanical properties of concrete and the mechanism analysis based on fractal theory," *Construction and Building Materials,* May 2024.

[8] G. Karaiskos, A. Deraemaeker, D. Aggelis e D. V. Hemelrijick, “Monitoring of concrete structures using the ultrasonic pulse velocity method,” *Smart Materials and Structures,* vol. 24, 15 October 2015.

[9] Z. Liu, K. Takasu, H. Suyana, H. Koyamada, S. Liu e Q. Hao, “The Effect of Cementitious Materials on the Engineering Properties and Pore Structure of Concrete with Recycled Fine Aggregate,” *Materials,* vol. 16, nº 1, 28 12 2022.

[10] R. Xie, J. Yang e E. Xie, “Investigation on mechanical properties deterioration of concrete subjected to freeze–thaw cycles,” *Scientific Reports,* 30 12 2022.