

## ANÁLISE DO DESEMPENHO MECÂNICO DE CONCRETOS COM NANOTUBOS DE CARBONO

Luís Henrique Veiga Lima Maltez<sup>1</sup> (IC), Carlos Augusto de Souza Oliveira (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá - Campus Itabira.

**Palavras-chave:** Concreto. Nanotubos de Carbono. Resistência à tração na flexão.

### Introdução

A pesquisa apresentada foca na utilização de nanotubos de carbono (NTC) no concreto, visando a melhoria das propriedades mecânicas desse material, amplamente utilizado na construção civil. O objetivo principal do estudo foi avaliar o efeito da adição de 0,2% de NTC, em substituição parcial ao cimento Portland, na resistência à tração na flexão.

O uso de nanotubos de carbono é justificado pelo seu potencial de proporcionar um reforço estrutural significativo, além de contribuir para o desenvolvimento de materiais mais sustentáveis e duráveis. O método utilizado envolveu a preparação de amostras de concreto com e sem a adição de NTC, seguida de testes de resistência mecânica conforme normas vigentes, a fim de comparar o desempenho dos diferentes compósitos.

Este estudo se baseia em uma análise experimental que busca contribuir com soluções inovadoras e eficazes para a engenharia civil.

### Metodologia

A pesquisa seguiu uma metodologia experimental, dividida em várias etapas. A primeira delas envolveu a caracterização dos agregados, que foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UNIFEI, Campus de Itabira. Para isso, foram adotados ensaios normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O ensaio de granulometria dos agregados seguiu a norma NBR NM 248 (2003), com o objetivo de classificar as partículas dos agregados graúdos e miúdos conforme seu tamanho. Esse ensaio permitiu calcular o módulo de finura e definir a proporção ideal de agregados para a mistura de concreto. O quarteamento dos agregados foi realizado para garantir a homogeneidade das amostras, conforme indicado pela NBR 7211 (2009).

Além disso, foi determinada a massa unitária dos agregados de acordo com a NBR NM 45 (2006), utilizando o método C para agregados no estado solto.

Este procedimento envolveu a pesagem do recipiente vazio, enchimento com o agregado, nivelamento da camada superficial, e nova pesagem para obter o valor da massa unitária. Posteriormente, foi determinada a massa específica e a absorção de água dos agregados miúdos e graúdos, seguindo as normas NBR NM 52 (2002) e NBR NM 53 (2009), respectivamente.

A próxima etapa envolveu a dosagem do concreto, que foi realizada seguindo o método ABCP/ACI, com fator água/cimento de 0,55. Para a formulação do concreto, utilizou-se cimento Portland CPV (Alta Resistência Inicial), e a substituição de 0,2% de cimento por nanotubos de carbono (NTC) foi implementada. O aditivo plastificante Muraplast FK 845 foi utilizado para manter a trabalhabilidade da mistura, uma vez que a adição de NTC pode alterar a consistência do concreto, como de acordo com Maciel *et al.* (2020) e Pedroso *et al.* (2021).

Após a mistura dos componentes, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*), conforme Figura 1, para verificar a consistência do concreto no estado fresco, segundo a NBR NM 67 (1998).

Figura 1- Ensaio de abatimento do tronco de cone.



Fonte: Própria autoria, 2024.

Em seguida, foram moldados corpos de prova prismáticos para cada tipo de concreto (Figura 2), os quais passaram por cura submersa durante 7 dias, antes de serem submetidos aos ensaios de resistência à tração na flexão.

Figura 2 - Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Própria autoria, 2024.

Por fim, os corpos de prova de concreto foram testados quanto à resistência à tração na flexão (Figura 3) aos 7 dias de idade, seguindo a NBR 12142 (2010). Os resultados obtidos foram comparados entre o concreto de referência e o concreto com NTC, permitindo uma análise dos efeitos do nanomaterial no desempenho mecânico do concreto.

Figura 2 - Teste de resistência à tração na flexão do concreto.



Fonte: Própria autoria, 2024.

## Resultados e discussão

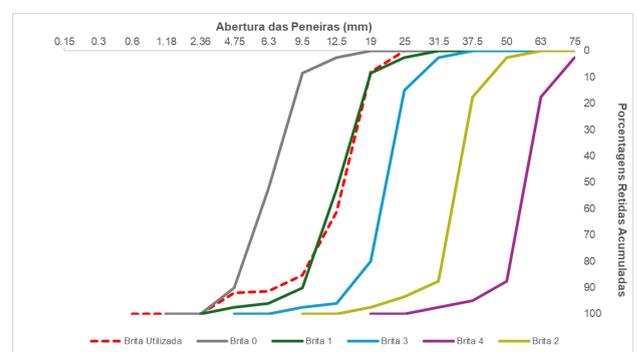
Os resultados obtidos ao longo da pesquisa revelam o impacto positivo da adição de nanotubos de carbono (NTC) nas propriedades mecânicas do concreto, especificamente na resistência à tração na flexão. Após a realização dos ensaios, verificou-se que o concreto reforçado com 0,2% de NTC apresentou um aumento de 9,63% na resistência à tração na flexão em comparação com o concreto de referência (sem NTC), confirmando a

eficácia dos nanotubos na melhoria da matriz cimentícia.

Com base na análise do gráfico (Figura 4) de granulometria do agregado graúdo, a curva do agregado utilizado (representada pela linha tracejada vermelha) foi comparada aos limites granulométricos das britas de diferentes tamanhos (Brita 0, 1, 2, 3 e 4).

A granulometria do agregado utilizado se aproxima mais das curvas referente a Brita 1, apesar de apresentar algumas diferenças em determinados pontos, especialmente nas peneiras de abertura maior.

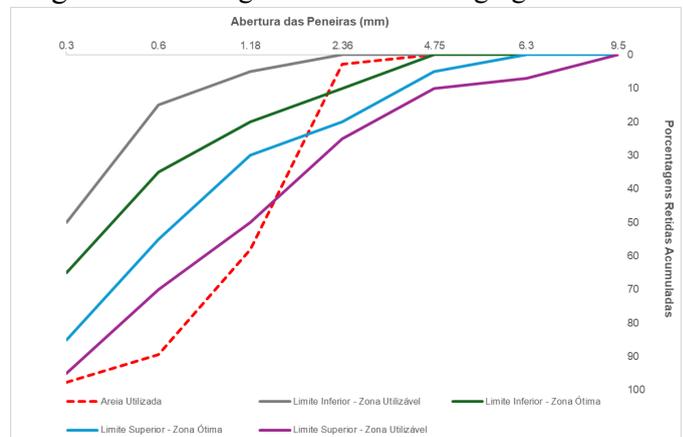
Figura 4 - Curva granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: Própria autoria, 2024.

A granulometria do agregado miúdo mostra que a distribuição granulométrica está parcialmente dentro dos limites da norma 7211 (ABNT, 2009). No entanto, há trechos da curva que se afastam desses limites, especialmente nas peneiras de abertura intermediária e mais fina. Embora o agregado miúdo não atenda completamente aos limites granulométricos da NBR 7211 (ABNT, 2009), isso não inviabilizou seu uso.

Figura 5 - Curva granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Própria autoria, 2024.

Na avaliação da trabalhabilidade dos concretos constatou-se uma pequena redução na trabalhabilidade do concreto com NTC, o que é condizente com a literatura que aponta que a presença de nanomateriais pode aumentar a viscosidade do concreto fresco. Para mitigar esse efeito, foi utilizado o aditivo plastificante Muraplast FK 845, que garantiu que as misturas tivessem a fluidez necessária para o manuseio e moldagem. Os valores de abatimento para o concreto com NTC foram levemente inferiores aos do concreto de referência, mas ainda dentro dos parâmetros adequados para aplicação prática (Tabela 1).

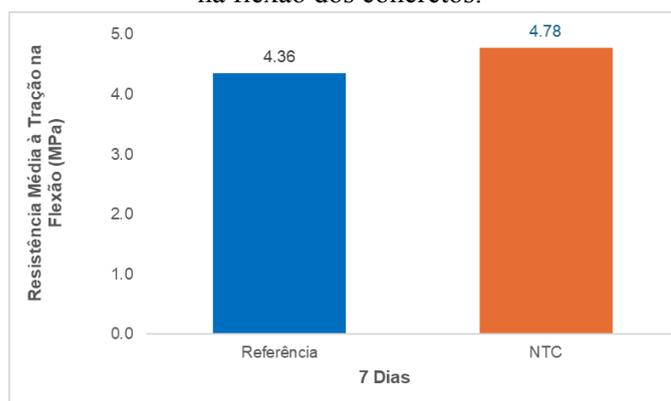
Tabela 1 - Abatimentos de tronco de cone dos concretos.

Concreto	Abatimento (mm)
REF	75
NTC	68

Fonte: Própria autoria, 2024.

Na avaliação da resistência à tração na flexão (Figura 4), observou-se um comportamento diferenciado entre o concreto de referência e o concreto com NTC. Após a realização dos ensaios, verificou-se que o concreto reforçado com 0,2% de NTC apresentou um aumento de 9,63% na resistência à tração na flexão em comparação com o concreto de referência (sem NTC), confirmando a eficácia dos nanotubos na melhoria da matriz cimentícia.

Figura 4 – Resultados da média da resistência à tração na flexão dos concretos.



Fonte: Própria autoria, 2024.

Esses resultados corroboram a hipótese de que os nanotubos de carbono, ao serem incorporados na matriz cimentícia, promovem uma melhoria nas propriedades mecânicas (Medeiros *et al.*, 2015; Lopes *et al.*, 2022).

## Conclusões

A presente pesquisa demonstrou que a incorporação de nanotubos de carbono (NTC) ao concreto, na proporção de 0,2%, resultou em melhorias significativas nas propriedades mecânicas, especialmente na resistência à tração na flexão. O aumento de 9,63% observado em comparação ao concreto de referência confirma o potencial dos NTC como reforço para matrizes cimentícias.

O NTC influenciou na trabalhabilidade do concreto, sendo o uso de aditivos plastificantes uma solução eficaz para manter a fluidez necessária para o manuseio.

A adição de nanotubos de carbono ao concreto apresenta um grande potencial de aplicação em projetos de engenharia civil que demandam maiores desempenho mecânico. No entanto, é necessário um controle rigoroso da dispersão dos nanotubos na matriz cimentícia, além de estudos adicionais para avaliar o impacto dessa tecnologia em larga escala, incluindo o aspecto econômico e o uso de percentuais diferentes de NTC.

A pesquisa contribui para o avanço no uso de nanotecnologia no setor da construção civil, propondo uma solução inovadora e sustentável para aumentar a eficiência estrutural de materiais cimentícios, com aplicações que vão desde obras de infraestrutura até edificações de grande porte.

## Agradecimentos

Agradeço ao CNPq pelo suporte financeiro e à Universidade Federal de Itajubá – Campus de Itabira, pelos recursos e equipamentos disponibilizados.

Agradeço também a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12142** – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**ABNT NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**ABNT NM 45:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**ABNT NM 52:** Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**ABNT NM 53:** Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.  
**ABNT NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

LOPES, João Pedro et al. Influência de nanotubos de carbono sobre o desempenho de concreto e de concreto reforçado com fibras (CRF). **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 27, n. 2, p. 13197, 2022.

MACIEL, Lucas Damas; COELHO, Adenilson Roberto; PEREIRA, Helena Ravache Samy. Estudo das propriedades do concreto convencional com aditivo ou adição de água para correção de consistência. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, p. e-12911, 2020.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de et al. Compósitos de cimento Portland com adição de nanotubos de carbono (NTC): Propriedades no estado fresco e resistência à compressão. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 20, n. 1, p. 127-144, 2015.

PEDROSO, F. L. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. **Revista Concreto & Construções**. **Ano XXXVII**, n. 53, 2009.