

# AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA PASTA DE CIMENTO

## EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE ADDITION OF CARBON NANOTUBES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE CEMENT PASTE

L. C. F. SILVA<sup>1</sup> e J. N. de PAULA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil, Brasil

E-mail: luizacfsilva@gmail.com

### *article info*

Article history:

Received 2017-09-04

Accepted 2017-11-20

Available online 2017-12-20

**PALAVRAS-CHAVE:** Nanotubos de Carbono; Pasta de Cimento; Resistência Mecânica; Microestrutura.

**KEYWORDS:** Carbon Nanotubes; Cement Paste; Mechanical Strength; Microstructure.

**RESUMO:** *O uso de nanomateriais em diversas campos da ciência vem crescendo nos últimos anos, sendo que na construção civil sua aplicação ainda se encontra em estágios iniciais. Como os nanotubos de carbono são um dos materiais mais resistentes conhecidos, possuem uma flexibilidade considerável e alta relação de aspecto, estes apresentam um grande potencial de utilização na construção civil. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi investigar a influência da adição de 0,1% de nanotubos de carbono em pastas de cimento no que se refere ao comportamento mecânico. Para a avaliação das propriedades mecânicas foram realizados ensaios de resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias. Para avaliação da microestrutura do material foram utilizados ensaios de microscopia eletrônica de varredura. Os resultados apontaram um ganho de resistência mecânica aos 7 nas pastas com 0,1% adição de nanotubos.*

**ABSTRACT:** *The use of nanomaterials in various fields of science has been increasing in recent years, and yet in construction its application is still found in the early stages. As carbon nanotubes are one of the most resistant materials known, they have considerable flexibility and high aspect ratio, these present a great potential of use in construction. Therefore, the objective of this work is to investigate an influence of the addition of 0.1% of carbon nanotubes in cement pastes concerning mechanical behavior. In order to evaluate the mechanical properties, tests of compressive strength and tensile strength by diametrical compression at the age of 7 days were carried out. To evaluate the microstructure of cement pastes scanning electron microscopy were performed. The results showed an increase of mechanical resistance at 7 days in the pastes with 0.1% addition of nanotubes. .*

## 1. INTRODUÇÃO

Os compósitos cimentícios possuem uma alta resistência à compressão, o que os tornam um material muito adequado para o uso na construção civil (GUPTA, 2014). No entanto, possuem baixos valores para a resistência à tração e tenacidade, o que acarreta na necessidade de reforço quando se opta pelo uso deste material. De fato, a fissuração devido

aos esforços de tração já é esperada e dimensionada em estruturas de concreto e, para evitar este processo, são utilizados elementos de reforço.

Estes reforços têm por objetivo a melhoria das propriedades de ductilidade, redução da fissuração e melhoria da resistência aos esforços de tração (AMARAL,2015). Em macro escala, as barras de aço são os reforços mais comumente utilizadas. Além do reforço em macro escala, é possível utilizar outros materiais buscando o reforço em microescala. As fibras de reforço mais utilizadas são as fibras orgânicas, tais como o polipropileno e o nylon; a celulose natural, como é o caso das pastas de madeira dura e de madeira mole; e as fibras inorgânicas, como o aço, vidro e carbono. Ressalta-se que as macro e microfibras em materiais cimentícios podem retardar o desenvolvimento de microfissuras, mas não impedem sua formação.

Recentemente, outros reforços em nanoescalas vêm sendo utilizados. O desenvolvimento de novos materiais nanométricos, como o nanotubo de carbono (NTC), abriu um novo campo de estudo para aplicação de reforço em nanoescala no concreto. Devido à sua pequena dimensão, estes nanocompósitos interrompem a formação das fissuras em uma escala menor que a das fibras curtas.

O conceito de nanotecnologia empregado atualmente compreende uma série de técnicas utilizadas por pesquisadores para analisar o comportamento da matéria de comprimento entre 1 e 100 nm, na fronteira entre o comportamento mecânico quântico de átomos individuais e o comportamento clássico da matéria em massa. Os comportamentos apresentados por estes materiais podem diferir muito em magnitude quando comparados aos de maior escala (MAKAR, MARGESON e LUH, 2005).

Os nanomateriais vêm sendo aplicados nos mais diversos campos da ciência, desde a medicina até a construção civil. Neste último, sua aplicação ainda se encontra em estágios iniciais, com pesquisas apontando bons resultados de aumento de resistência mecânica e redução da porosidade (MAKAR, MARGESON e LUH, 2005).

Este trabalho busca avaliar os impactos da adição de 0,1% de nanomateriais de carbono nas propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios visando melhorar sua resistência à tração, redução da fissuração, porosidade e consequente aumento da durabilidade.

## **2. METODOLOGIA**

No presente trabalho foram utilizados nanotubos de parede múltipla sintetizados no Laboratório de Nanomateriais do Departamento de Física da UFMG. Os nanotubos não passaram por nenhum processo de funcionalização e foi realizada a mistura física deste material na pasta de cimento.

Para melhorar a dispersão dos nanotubos na matriz cimentícia foi utilizado aditivo dispersante a base de policarboxilato. Com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade da pasta de cimento foi adicionado aditivo plastificante. A adição do agente desincorporador de ar, Densil 10, foi feita considerando as recomendações do fabricante, com proporção de 0,1% em relação ao peso de cimento. O fator água/cimento adotado foi 0,3.

As proporções para adição dos aditivos e o fator água/cimento foram definidos de acordo com as pesquisas realizadas no CTNanotubos em ensaios de comportamento reológico da pasta de cimento. O Cimento Portland de alta resistência inicial (CP-V) foi utilizado para preparação da pasta de cimento com adição de 0,1% de NTC e na preparação da pasta de referência (sem NTC).

Para os ensaios que foram realizados no decorrer do desenvolvimento do trabalho, serão adotados dois traços de pasta de cimento: pasta de referência e pasta de cimento com adição de 0,1% de nanotubos de carbono. Nos dois traços, a proporção de cimento e água será mantida para que a comparação das propriedades seja mais assertiva. A Tabela 1 apresenta os materiais utilizados na preparação das pastas.

Table 1 – Materiais e dosagens utilizadas

Classe	Material	Fabricante	Dosagem
Cimento Portland	CP-V ARI Fácil	Holcim	Fator a/c: 0,3
Nanotubos de carbono de paredes múltiplas	MWCNT HP2627	Lab. de Nanomateriais Departamento de Física-UFMG	0,1% em peso
Dispersante Policarboxilato	Glenium 51	Basf	0,6% em peso
Agente desincorporador de ar	Densil 10	Grace	0,1% em peso
Aditivo plastificante polifuncional redutor de água	Tec Mult 829	Grace	0,4% em peso
Água	Água	-	Fator a/c: 0,3

A pasta foi preparada em uma argamassadeira e a colocação dos materiais para a preparação da pasta seguiu a sequência: (i) adição de metade da quantidade de água; (ii) adição do densil; (iii) adição dos aditivos plastificantes (Tec Multi e Glenium); (iv) adição dos nanotubos; (v) adição da água (limpando os recipientes dos aditivos); (vi) adição do cimento.

Em seguida, os corpos de prova (CPs) foram moldados em moldes cilíndricos 5cm x 10cm, lubrificadas com óleo queimado, preenchidos em duas camadas, cada camada adensada através de batidas em sua lateral. Os moldes foram mantidos a temperatura ambiente por 24 horas em câmara úmida.

Após a desforma os corpos de prova foram colocados em cura submersa por 7 dias. Os ensaios de resistência à compressão e à tração por compressão diametral foram realizados aos 7 dias (Figura 1 e Figura 2). Para avaliação da microestrutura das pastas de cimento foi realizada uma microscopia eletrônica de varredura (MEV).



Figura 1 - Prensa utilizada no ensaio de compressão.



Figura 2 - Prensa utilizada no ensaio de tração por compressão diametral

### **3. DISCUSSÃO E RESULTADOS**

#### **3.1. Resistência à Compressão**

Os ensaios de resistência à compressão aos 7 dias foram realizados no laboratório de ensaios do CTNanotubos na UFMG. A Tabela 2 apresenta a análise do desvio padrão, coeficiente de variação e a porcentagem de ganho de resistência da pasta com 0,1% de adição de nanotubos quando comparada com a pasta de referência.

Tabela 2 - Análise dos resultados do Ensaio de Resistência a Compressão

Parametros	Pasta de Referência	Pasta com 0,1% de adição de Nanotubos
Resistência Média (Mpa)	71,58	77,72
Desvio Padrão	5,09	1,79
Coefficiente de Variação (%)	7,12%	2,30%
% ganho/redução	7,91%	

Os coeficientes de variação apresentaram baixos valores, indicando que as amostras utilizadas foram satisfatórias para análise. Observa-se que o ganho de resistência à compressão média da pasta com adição de 0,1% de nanotubos em comparação com a pasta de referência, aos 7 dias foi de 7,91%. As pesquisas de Souza (2015) e Paula (2014) com a utilização de clínquer nanoestruturado com teor de 0,1% de nanotubos obteve um ganho de 18,6% e 5,2% aos 7 dias, indicando que ganho de resistência encontrado obtido neste trabalho estão de acordo com os resultados encontrados na literatura.

### 3.2. Resistência à Tração por Compressão Diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral na idade de 7 dias foram realizados no laboratório de ensaios do CTNanotubos na UFMG. A Tabela 3 apresenta a análise do desvio padrão, coeficiente de variação e a porcentagem de ganho de resistência da pasta com 0,1% de adição de nanotubos quando comparada com a pasta de referência.

Tabela 3 - Análise dos resultados do Ensaio de Resistência a Tração por Compressão Diametral

Parametros	Pasta de Referência	Pasta com 0,1% de adição de Nanotubos
Resistência Média (Mpa)	1,39	1,65
Desvio Padrão	0,03	0,19
Coefficiente de Variação (%)	2,74%	11,71%
% ganho/redução	15,79%	

Com relação aos resultados obtidos nos ensaios com os CPs na idade de 7 dias, observa-se que o ganho de resistência à tração média da pasta com adição de 0,1% de nanotubos em comparação a pasta de referência foi de 15,79%. Considerando-se os baixos valores de desvio padrão e coeficiente de variação, conclui-se que a adição de NTC causou uma melhoria na resistência à tração da pasta de cimento nesta idade. As pesquisas de Souza

(2015) e Paula (2014) com a utilização de clínquer nanoestruturado com teor de 0,1% de nanotubos obtiveram um ganho de resistência aos esforços de tração de 18,2% e 15,6% aos 7 dias, indicando que ganho de resistência encontrado obtido neste trabalho estão de acordo com os resultados encontrados na literatura.

### 3.3. Microscopia Eletrônica de Varredura

Com o objetivo de analisar a zona de interface entre a matriz cimentícia e evidenciar a presença de nanotubos, foi realizada a microscopia eletrônica de varredura do corpo de prova com 0,1% de adição de NTC no Laboratório de Estradas - CEFET-MG - Campus I. A Figura 3 apresenta as imagens obtidas com ampliação de 10.000 vezes e 20.000 vezes.

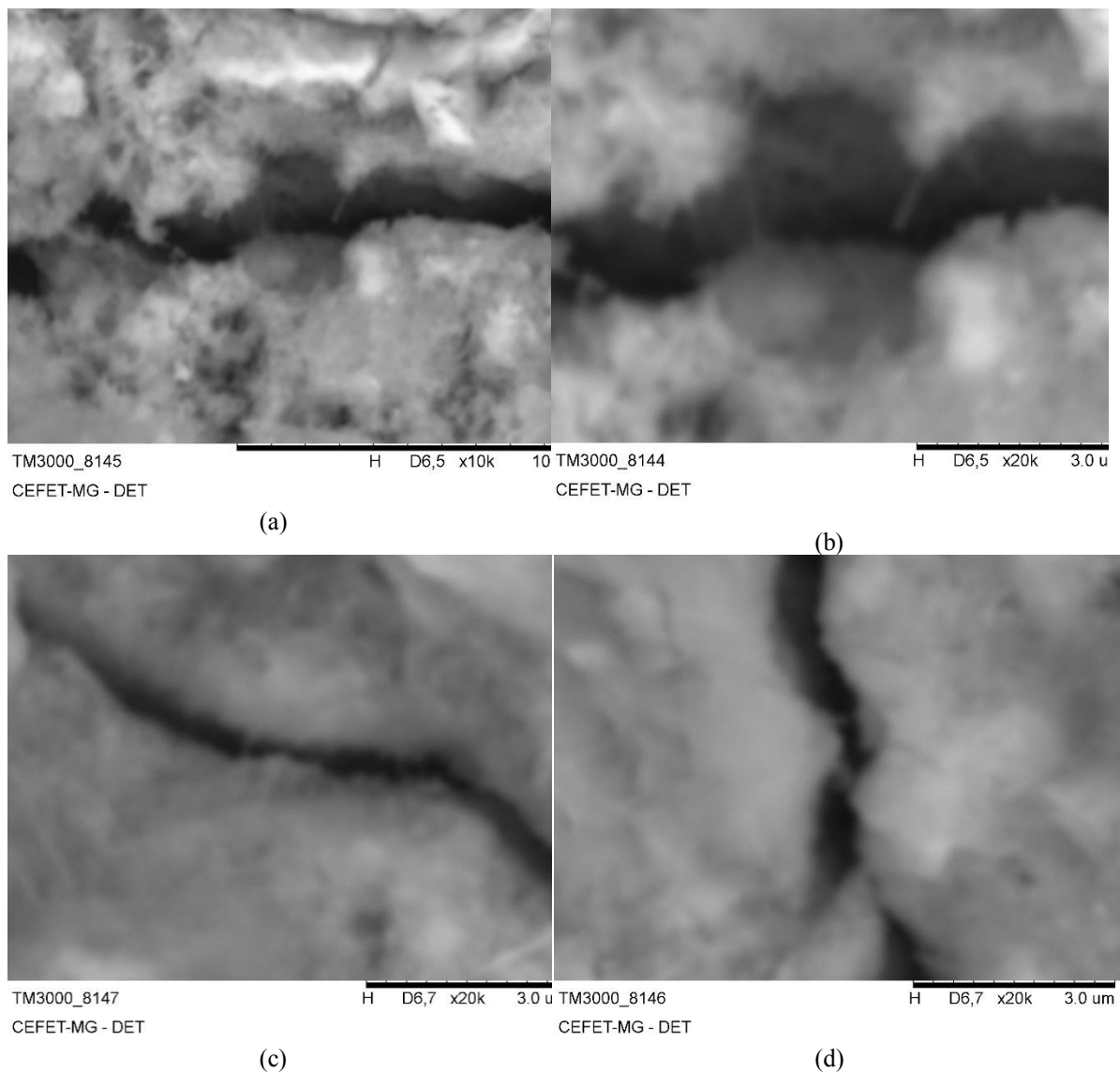


Figura 3 - Microscopia eletrônica de varredura das amostras com adição de NTC. (a) Ampliação 10.000x (b) Ampliação 10.000x (c) Ampliação 20.000x (d) Ampliação 20.000x.

As imagens do MEV apresentaram elementos ligando as nanofissuras, indicando a possibilidade de que os NTCs “costuraram” as nanofissuras e, portanto, podem ter atuado como reforço estrutural em nanoescala. Através da análise das imagens obtidas na microscopia, são foram observados pontos com aglomeração de nanotubos.

#### 4. CONCLUSÃO

As investigações realizadas neste trabalho tiveram como objetivo a avaliação da influência da adição de 0,1 de nanotubos de carbono nas propriedades mecânicas da pasta de cimento através da adição de nanotubos não funcionalizados diretamente na moldagem dos corpos de prova.

Esperava-se obter um melhor desempenho das pastas com nanotubos nas propriedades mecânicas, em especial a resistência aos esforços de tração. Os resultados obtidos indicaram uma melhoria de 15,79% na resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias na pasta com 0,1% de adição de nanotubos. Os valores encontrados sugerem que os NTC atuaram como reforço na matriz do material, absorvendo parte da deformação e melhorando o desempenho da pasta de cimento quando submetido a esforços de tração. Relativo aos esforços de compressão, os resultados obtidos neste trabalho apontaram para uma melhoria de 7,91% no desempenho nesta propriedade decorrente da adição de 0,1% de nanotubos de carbono.

As imagens obtidas no MEV indicam que houve boa ligação entre os nanotubos e a pasta de cimento e não foi possível identificar pontos de aglutinação de nanotubos.

Alguns problemas encontrados ao longo do desenvolvimento do trabalho podem justificar os resultados obtidos. Como não foi utilizado um método de funcionalização dos nanotubos de carbono, a dispersão dos nanomateriais na matriz cimentícia pode não ter sido homogênea. Este fator pode ter tido grande influência nos resultados obtidos nos ensaios de tração.

Diante do exposto, sugere-se para pesquisas futuras a investigação do teor de aditivo e métodos de mistura buscando a dispersão ótima dos nanotubos na matriz cimentícia e aumento da quantidade de produtos de hidratação.

#### REFERÊNCIAS

- GUPTA, R., S. Principals of structural design: wood, steel and concrete. 2ª Edição. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- AMARAL, J.C. **Avaliação da influência da adição de fibras poliméricas nas propriedades térmicas e mecânicas do concreto.** 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Produção Civil, CEFET-MG, Belo Horizonte, 2015.
- MAKAR, J., MARGESON, J., LUH, J., 2005. Carbon nanotube/cement composites – early

results and potential applications. **Anais da 3a Conferência Internacional de Materiais de Construção sobre “Materiais de Construção: Performance, inovações e implicações estruturais”**, Vancouver, B.C., Agosto, v. 22–24, pp. 1–10.

PAULA, J. N. **Comportamento mecânico e reológico de pastas de cimento fabricado com nanotubos de carbono crescidos em clínquer para poços de petróleo**. Tese (doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2014, p. 125.

SOUZA, T.C.C. **Síntese contínua e caracterização de cimento Portland fabricado com nanotubos de carbono**. Outubro, 2015. 210f. Dissertação (Pós Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais.