https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.076

EFEITO DA ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO NO DESEMPENHO MECÂNICO DE CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA

Francine Padilha[1]*, Philippe Jean Paul Gleize[1], Cristina Vitorino da Silva[2]
* francine.padilha1609@gmail.com

[1] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis/SC, Brasil
[2] Departamento das Engenharias e Ciência da Computação, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Erechim/RS, Brasil

RESUMO

O uso de nanomateriais na construção civil vem instigando diversos pesquisadores a investigarem seus efeitos, visto que prometem gerar melhorias no desempenho das matrizes cimentícias. Logo, os nanotubos de carbono (NTC) vêm ganhando destaque entre os nanomateriais, por apresentarem excelentes propriedades, principalmente pela sua resistência à deformação e à quebra. Assim, com o objetivo de potencializar o desempenho e verificar a eficácia da adição dos nanotubos de carbono em concretos de alta resistência, este estudo preliminar avaliou o comportamento mecânico quanto a resistência à compressão e a resistência à tração na flexão, comparando com o concreto de alta resistência sem adição, sob as mesmas condições. Para verificar o efeito dos nanotubos de carbono foram produzidos concretos com o teor de adição de 0,3%, em relação a massa de cimento, e o concreto referência. Os resultados encontrados mostram que a adição de nanotubos de carbono em concretos de alta resistência geram influência significativas nos parâmetros testados neste estudo. Essa influência apresentou-se de forma extremamente positiva, melhorando o desempenho dos concretos, principalmente quando verificada a resistência à tração na flexão que apresentou um acréscimo de 49,65%.
Palavras-chave: Nanomateriais. Nanotubo de carbono (NTC). Concreto de alta resistência. Comportamento mecânico. Resistência à tração na flexão.

ABSTRACT

The use of nanomaterials in civil construction has encouraged several researchers to investigate their effects, as they promise to generate improvements in the performance of cement matrices. Therefore, carbon nanotubes (CNT) have been gaining prominence among nanomaterials, as they have excellent properties, mainly due to their resistance to deformation and breakage. Thus, with the objective of enhancing the performance and verifying the effectiveness of the addition of carbon nanotubes in high strength concretes, this preliminary study evaluated the mechanical behavior in terms of compressive strength and tensile strength in bending, comparing with the high strength without addition, under the same conditions. To verify the effect of the carbon nanotubes, concretes

were produced with the addition content of 0.3%, in relation to the cement mass, and the reference concrete. The results found show that the addition of carbon nanotubes in high-strength concrete generates significant influence on the parameters tested in this study. This influence was presented in an extremely positive way, improving the performance of the concretes, especially when the flexural tensile strength was verified, which presented an increase of 49.65%.
Keywords: Nanomaterials. Carbon nanotube (CNT). High strength concrete. Mechanical behavior. Tensile strength in bending.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material amplamente disseminado devido à sua versatilidade, durabilidade e resistência. Contudo, nos últimos anos, há uma crescente demanda de concretos cada vez mais resistentes e duráveis. Logo, pode-se englobar nestes concretos, os denominados de concretos de alta resistência (CAR), que se trata de um concreto desenvolvido para garantir maiores resistências mecânicas (superior a 55 MPa) e maior durabilidade (ISAIA, 2011). Ao utilizar-se o concreto de alta resistência ao invés do concreto usual, o cimento Portland é empregado de maneira mais eficiente, explorando-se todo seu potencial.

A utilização de Concreto de Alta Resistência (CAR) apresenta inúmeras vantagens em relação ao Concreto Convencional (CC), possibilitando redução das dimensões das peças estruturais (especialmente de pilares), aumento do espaço útil nos pavimentos inferiores, diminuição da carga nas fundações, maior velocidade de execução, ganhos de durabilidade (com redução da porosidade e permeabilidade no concreto), aumento dos vãos livres em pontes, elevada resistência ao desgaste ou abrasão, diminuição das deformações por retração, deformação imediata ou por fluência, bem como benefícios ecológicos, energéticos e econômicos, por utilizar resíduos industriais como sílica ativa substituindo o cimento, por exemplo (DAL MOLIN, 1995; CREMONINI et al., 2001).

Com o avanço da tecnologia na área de materiais, uma nova tendência vem chamando atenção dos pesquisadores. Trata-se dos concretos de terceira geração. Para Sanchez e Sobolev (2010), o concreto pode ser classificado de acordo com as dimensões dos agregados e ou adições usadas em sua confecção. Desta forma, o concreto com adição de nanomateriais seria considerado o concreto de terceira geração. Conforme Singh et al. (2013), a nanotecnologia permite o aperfeiçoamento das propriedades dos materiais e as alterações na nanoescala influenciam a microescala e subsequentemente a macroescala dos materiais. Apesar dos aperfeiçoamentos dos materiais alcançados com a nanotecnologia em diversos materiais, o seu estudo no desenvolvimento de materiais a base de cimento encontra-se em fase inicial.

Por isso, pensando em melhorar as propriedades do concreto tais como, aumentar à resistência à tração, tentando prolongar a sua vida útil e evitando reparos e manutenções frequentes, deve-se investir em pesquisas com uso de nanomateriais. Considerado como uma das maiores descobertas da nanotecnologia, o nanotubo de carbono (NTC) é visto, atualmente, como o material de maior resistência mecânica conhecido, principalmente pela sua resistência à deformação e à quebra (BATISTON, 2007).

O nanotubo de carbono (NTC) já está sendo aplicado com sucesso em matrizes cimentícias, onde estudos comprovam alterações na microestrutura e ganhos no desempenho desses materiais devido a incorporação do nanomaterial. Citando os estudos, Hu et al. (2014) e Wang, Han e Liu (2013) alcançaram ganhos na tenacidade de 9,2% e 57,7%, respectivamente. Van Tonder e Mafokoane

(2014) observaram aumentos de 20% e 12% na resistência à compressão e tração, respectivamente, com teor de 0,1% de adição de nanotubo de carbono, e Mohsen et al. (2017) constataram ganhos de 55% na resistência à tração e de 22% na resistência à compressão com 0,25% de adição de nanomaterial. Conforme Reales e Toledo Filho (2017), os nanotubos de carbono além de melhorarem as propriedades mecânicas, também contribuem na durabilidade das matrizes de cimento por meio do efeito de ponte e da redução da porosidade capilar, que auxilia no controle de propagação de fissuras, na redução do encolhimento autógeno e consequentemente, na diminuição de penetração de agentes agressivos. Entretanto, de acordo com os autores, o aprimoramento de tais propriedades só é possível quando comprovado que o nanomaterial foi disperso de forma apropriada.

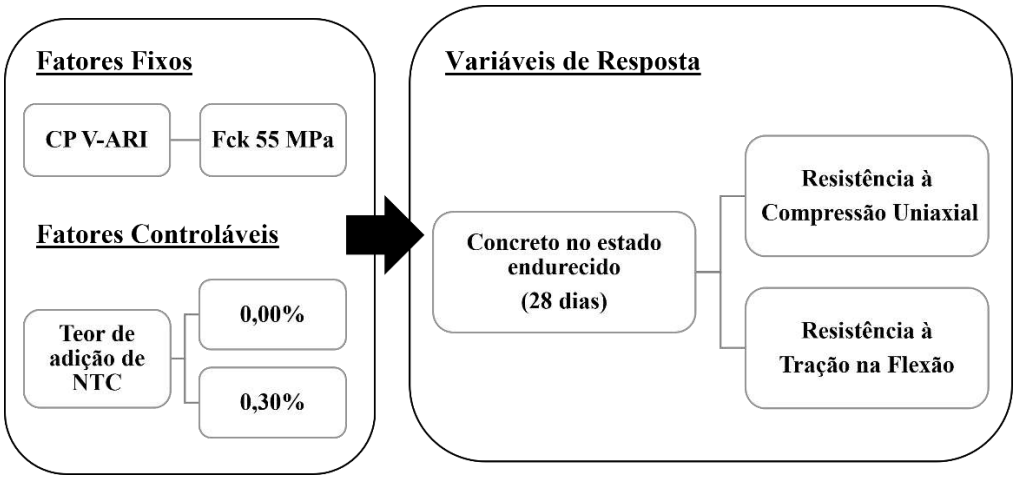
Desta forma, o principal desafio para o nanotubo de carbono atuar como reforço, é garantir uma dispersão eficaz. A dificuldade de dispersar os nanotubos de carbono nas matrizes cimentícias, provém do fato deles possuírem alta área superficial específica e, consequentemente, altas forças de atração de Van der Waals. Diante dessas características, existe uma propensão natural para que os nanotubos de carbono se aglomerem (SINDU; SASMAL, 2017). Assim, existem duas abordagens para realizar a dispersão: os métodos químicos (funcionalização) e os métodos mecânicos (ultrassonicação). Para maior eficiência, geralmente, estes dois métodos são aplicados em conjunto.

Sendo assim, este estudo visa evidenciar os efeitos da adição de nanotubos de carbono em concretos de alta resistência, em relação aos concretos sem adição.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental desse estudo baseia-se em um planejamento estatístico que permite trabalhar com variáveis independentes e, posteriormente, utilizar ferramentas estatísticas para avaliar a influência de cada variável, bem como a interação entre elas, nas variáveis de resposta. A Figura 1 demonstra, esquematicamente, o programa experimental que foi realizado nesta pesquisa. branco.

Figura 1 – Programa experimental



Fonte: os autores.

A delimitação do teor de adição de NTC foi feita baseando-se em estudos existentes, que indicam teor ótimo na faixa de 0,30% da massa do cimento (MELO et al., 2010). Em relação ao tipo de

cimento que foi utilizado, optou-se pelo cimento do tipo CP V-ARI, uma vez que apresenta capacidade de atingir alta resistência inicial. Cabe salientar, que a escolha do cimento se deve também, ao fato de que este não possui grandes percentuais de adição mineral para melhorar seu desempenho, possibilitando uma melhor análise da influência da adição dos NTC.

As variáveis de resposta, resistência à compressão uniaxial e resistência à tração na flexão, relacionam-se às características da qualidade do produto sendo o objeto de estudo.

2.1 Materiais utilizados

Foram realizados os ensaios de caracterização de todos os materiais empregados nessa pesquisa conforme suas normas. Para o cimento CP V-ARI e sílica ativa foi realizado o ensaio de massa específica (NBR 16605, 2017) resultando em 3,04 g/cm³ e 2,22 g/cm³, respectivamente. Para o cimento, também foi verificado o índice de finura por meio da peneira 75 µm (NBR 11579, 2013) que resultou em 1.91.

Para os agregados realizou-se o ensaio de massa específica, resultando em 2.50 g/cm³ para o agregado miúdo (NBR NM 52, 2009) e 2.84 g/cm³ para o agregado graúdo (NBR NM 53, 2009). Também foi realizado o ensaio de granulometria (NBR NM 248, 2003), onde foram determinados os valores de módulo de finura (MF) e da dimensão máxima característica (DMC) para o agregado miúdo igual a 2.40 e 4.75 mm e para o agregado graúdo 6.94 e 25 mm, respectivamente.

O aditivo utilizado foi o superplastificante a base de policarboxilatos e a água para a produção dos concretos foi proveniente da rede de abastecimento pública de Erechim (RS).

2.1.1 Nanotubos de carbono

Os nanotubos de carbono de múltiplas camadas funcionalizados por meio ácido, que foram utilizados neste estudo, possuem as características mostradas na Tabela 1.

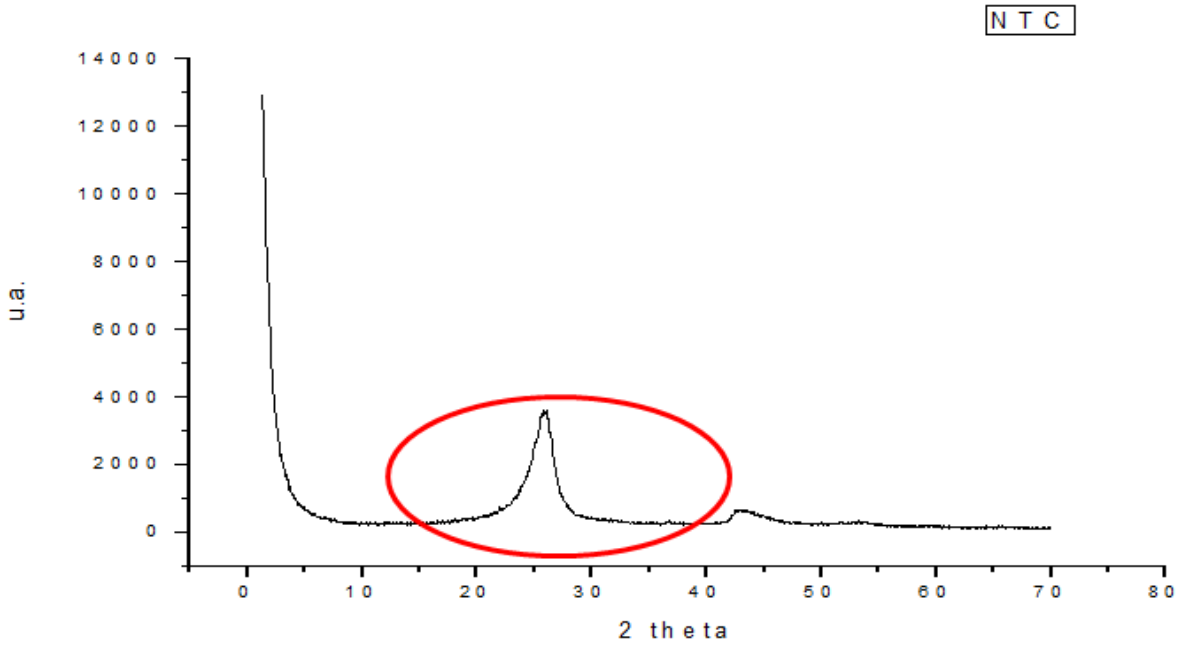
Tabela 1 – Propriedades Físico-Químicas dos nanotubos de carbono

Propriedades Físico-Químicas	
Distribuição do Diâmetro	8 - 45 nm
Diâmetro médio	20 nm
Distribuição de Comprimento	0,5 - 15 µm
Comprimento médio	4,5 µm
Pureza	90%
Contaminantes	~ 2% pó catalisador (Fe - Co - Al)
Grau de oxidação	~ 8% em massa

Fonte: segundo fabricante.

Para a análise do material adquirido foi utilizado o método de análise – DRX (análise padrão). As medidas de difração de raios-X (DRX) foram conduzidas em um difratômetro convencional (Rigaku - Mini flex II), operando na geometria convencional 2 theta. O ângulo da análise estendeu-se entre 1,35 e 70 graus. Condições de análise: velocidades de 5°/min ao passo de 0,05; detector de cobre 1,54nm; voltagem do detector 30 mA. Onde foi possível obter o difratograma, conforme Figura 2.

Figura 2 - Difratograma do NTC



Fonte: os autores.

Após a análise foi observado quanto à estrutura que o material não é cristalino, sendo o seu rearranjo atômico desordenado e quanto à composição presente, por apresentar somente um pico, que esse seja do próprio material (carbono). Vale ressaltar que na pesquisa do presente estudo foram utilizados NTC funcionalizados por ácidos, para garantir uma melhor dispersão.

2.2 Dosagem experimental

O método de dosagem utilizado para este estudo foi o Método IPT/EPUSP Modificado (CREMONINI et al., 2001), proposto para dosagem de CAR, tendo em vista dosar um traço que atingisse a resistência desejada mínima de fck = 55 MPa. A Tabela 2 apresenta os traços utilizados na dosagem dos concretos.

Tabela 2 – Traços utilizados na dosagem dos concretos

Traços	Traço unitário				Aditivo (kg)	Consumo de cimento (Kg/m³)	Relação a/agl	Resistência (MPa)
	c	a	b	sa				
1:2	0,90	0,50	1,50	0,10	0,16641	790,972	0,20	68,70
1:3,5	0,90	1,25	2,25	0,10	0,07454	519,251	0,29	63,90
1:5	0,90	2,00	3,00	0,10	0,05135	386,483	0,39	65,25

Fonte: os autores.

Conforme apresentado na Tabela 2, todos os traços obtiveram resistência superior a estabelecida para este estudo (fck = 55 MPa, ou seja, fcj = 61,6 MPa). Entretanto, os traços 2 e 3,5 apresentaram alto consumo de cimento, inviabilizando sua reprodução. Por consequência, foi empregado o traço

de 1:5 para produção dos corpos de prova, por apresentar o menor consumo de cimento e atendimento da resistência desejada.

2.3 Dispersão

Conseguir uma boa dispersão dos nanotubos de carbono é crucial para sua utilização no reforço de compósitos. A agitação ultrassônica é o método mais utilizado para a dispersão de nanopartículas, onde é aplicada uma energia ultrassônica para agitar partículas em uma solução e quebrar as forças de atração entre as partículas. Além disso, faz-se uso de tratamentos superficiais, conhecidos como funcionalização, para melhorar a compatibilidade do material com o meio.

Assim, para garantir a dispersão, foram utilizados nanotubos de carbono funcionalizados e foi realizada a agitação ultrassônica por meio de um agitador ultrassônico de banho (*UltraSonic Cleaner Unique*). O processo de sonicação foi realizado por um período de 1 hora, controlando a temperatura do banho em 21 ± 2°C. A solução colocada no agitador ultrassônico para realizar a dispersão dos nanotubos de carbono era composta por: 500ml da água da dosagem, os nanotubos de carbono, e o aditivo superplastificante.

2.4 Ensaios

As moldagens foram feitas de acordo com NBR 5738 (ABNT, 2015), que prescreve o procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova de concreto. Foram utilizados corpos de prova confeccionados em formas cilíndricas com dimensão Ø100x200mm para o ensaio de resistência à compressão uniaxial, e para o ensaio de resistência à tração na flexão foi utilizada uma forma de dimensões 150x150x500mm.

Os moldes dos corpos de prova foram preenchidos com o concreto confeccionado em camada única e adensados por uma mesa vibratória para garantir melhor preenchimento e eliminar possíveis bolhas de ar. Os mesmos permaneceram cobertos por uma lona plástica durante as primeiras 24 horas, a fim de evitar a perda de água do concreto para o ambiente externo. Posteriormente, os corpos de prova foram desmoldados e mantidos em câmara úmida (UR ≥95% e temperatura de 23 ± 2°C) até a idade de análise dos ensaios de 28 dias.

O ensaio de resistência à compressão uniaxial foi realizado de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018), sendo essa uma das principais propriedades mecânicas de concretos de cimento Portland. O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado de acordo com a norma brasileira NBR 12142 (ABNT, 2010).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os dados foram tratados inicialmente de modo a eliminar os dados espúrios. Posteriormente, se fez a análise desses dados pelo método da análise de variância (ANOVA), com o auxílio do software Statistica. Este software forneceu o nível de significância (p) do fator controlável sobre a variável de resposta.

3.1 Resistência à compressão uniaxial

Os resultados da resistência à compressão uniaxial média para os concretos estudados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados de resistência à compressão uniaxial

Teor de adição de NTC (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
0,0	60,39	2,49	4,12
0,3	71,42	2,77	3,88

Fonte: os autores.

Os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de variância (ANOVA). Tal análise buscou avaliar se o teor de adição de nanotubos de carbono causou efeito significativo na variável de resposta (resistência à compressão uniaxial) medida.

A análise de variância feita através da ANOVA dos dados experimentais obtidos para a resistência à compressão uniaxial dos concretos estudados são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Análise de variância (ANOVA) – Resistência à compressão uniaxial

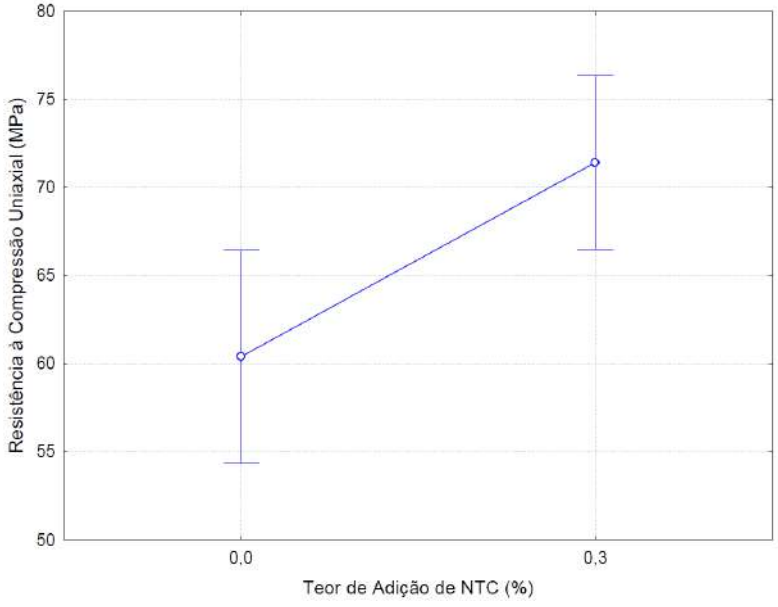
	GLD	MQ	F (calc)	p	Significância
Teor de Adição de NTC (%)	1	145,90	20,309	0,020410	S
Erro	3	7,18			

GDL: graus de liberdade (n-1); MQ: média quadrada; F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância; S: valor significativo; NS: valor não significativo. Se p < 5% = efeito significativo.

Fonte: os autores.

Analisando a Tabela 4 é possível verificar que o efeito da adição de NTC foi significativo na variável de resposta, ou seja, a incorporação de 0,3% de nanotubo de carbono em relação ao concreto referência teve influência no desempenho do concreto. Assim, a Figura 3 mostra a influência do teor de adição de NTC sobre a resistência à compressão uniaxial. Tal figura foi obtida por meio da análise de variância (ANOVA).

Figura 3 - Efeito do teor de adição na resistência à compressão uniaxial do concreto



Fonte: os autores.

Por meio da Figura 3, é possível verificar a influência da adição de nanotubo de carbono na resistência à compressão uniaxial dos concretos estudados. A análise de variância ANOVA mostra que os resultados encontrados para os concretos feitos com NTC diferem de forma significativa dos resultados dos concretos feitos sem essa adição.

O concreto com adição apresentou um ganho na resistência à compressão de 18.26% em relação ao concreto sem adição. O aumento da resistência à compressão está relacionado também à eficiência da dispersão dos nanotubos na matriz. Quando a dispersão é bem realizada, o nanotubo mistura-se ao compósito de forma homogênea, fazendo interligações com o silicato de cálcio hidratado e com o próprio grão da mistura, sem ocorrer aglomerações pontuais. Isso resulta em uma matriz mais densa, que contribui para a obtenção de um novo material mais resistente (MELO, 2009).

3.2 Resistência à tração na flexão

A Tabela 5 apresenta os resultados médios da resistência à tração na flexão dos teores de adição estudados.

Tabela 5 – Resultados de resistência à tração na flexão

Teor de adição de NTC (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
0,0	5,01	0,54	10,88
0,3	7,49	0,49	6,61

Fonte: os autores.

Os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de variância (ANOVA). Tal análise buscou avaliar se o teor de adição de nanotubos de carbono causou efeito significativo na variável de resposta (resistência à tração na flexão).

A análise de variância feita através da ANOVA dos dados experimentais obtidos para a resistência à tração na flexão dos concretos encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise de variância (ANOVA) – Resistência à tração na flexão

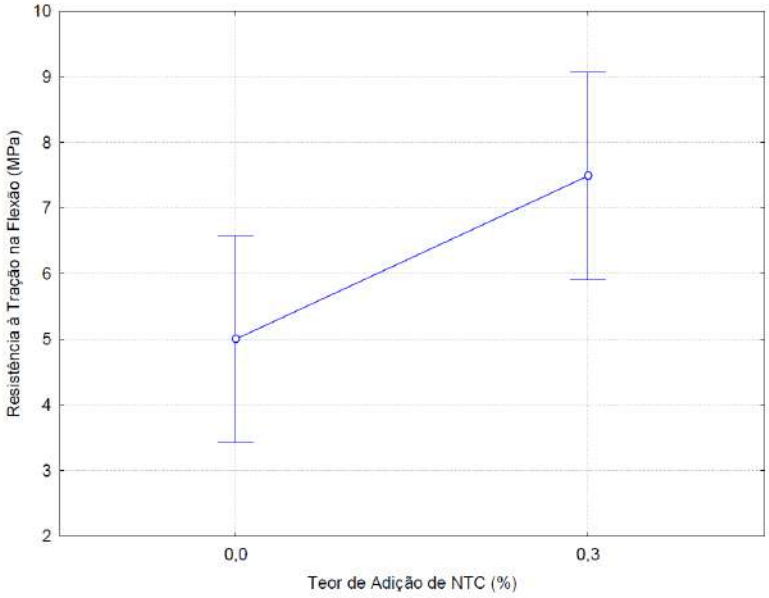
	GLD	MQ	F (calc)	p	Significância
Teor de Adição de NTC (%)	1	6,1752	22,810	0,041153	S
Erro	2	0,2707			

GDL: graus de liberdade (n-1); MQ: média quadrada; F(calc): valor calculado de F; p: nível de significância; S: valor significativo; NS: valor não significativo. Se p < 5% = efeito significativo.

Fonte: os autores.

Analisando a Tabela 6 é possível verificar que o efeito da adição de NTC foi significativo na variável de resposta. Assim, a Figura 4 mostra a influência do teor de adição de NTC sobre a resistência à tração na tração. Tal figura foi obtida por meio da análise de variância (ANOVA).

Figura 4 - Efeito do teor de adição na resistência à tração na flexão



Fonte: os autores.

Analisando a Figura 4, verifica-se um aumento de quase 50% na resistência à tração na flexão dos concretos com inserção de nanotubo de carbono. Esse ganho deve-se pela excelente resistência do nanotubo de carbono em resistir esforços de tração.

Conforme verificado por Melo (2009) em sua pesquisa, o ganho na resistência à tração pode ser explicado pelo fato de que, como o nanotubo é um material bem resistente à tração, ele consegue formar “pontes” entre os grãos, que se interligam de forma mais sólida, contribuindo para a minimização de fissuras. Esse aumento na resistência à tração pode contribuir significativamente em muitas aplicações da construção civil, uma vez que se trata de uma melhoria na propriedade em que o concreto tem deficiência.

4. CONCLUSÕES

Este estudo, visou investigar a influência da adição de nanotubos de carbono na resistência à compressão e resistência à tração na flexão de concreto de alta resistência. A seguinte conclusão pode ser destacada:

- Nas propriedades estudados, a adição de NTC teve influência significativa no comportamento do concreto de alta resistência quando comparado com o concreto referência (sem adição). Ou seja, o uso do NTC melhorou significativamente os resultados.
- No ensaio de resistência a tração na flexão, a adição influenciou de forma mais significativa do que nas demais propriedades estudadas. Essa influência gerou um acréscimo de até 49,65% no desempenho dos compósitos em relação aos concretos sem adição.
- No ensaio de resistência à compressão uniaxial, a influência do NTC gerou uma melhora de 18,26%.

Assim, o estudo evidenciou que os nanotubos de carbono possuem grande potencial para melhorarem as resistências do concreto, resultando em um compósito mais eficiente mediante uma dispersão eficaz.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579:** Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

BATISTON, E. R. **Estudo exploratório dos efeitos de nanotubos de carbono em matrizes de cimento Portland.** Florianópolis, 2007, 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

CREMONINI, R. A.; DAL MOLIN, D.C.C.; CECCATO, D. M.; MANCIO M.; GOULART, J. **Desenvolvimento de um método de dosagem de concretos de alta resistência com baixo consumo de cimento**, IBRACON, 2001.

DAL MOLIN, D. C. C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de microssílica**. São Paulo, 1995. Tese de Doutorado em Engenharia. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

HU, Y.; LUO, D.; LI, P.; LI, Q.; SUN, G. Fracture toughness enhancement of cement paste with multi-walled carbon nanotubes. **Construction and Building Materials**, v. 70, p. 332-338. 2014.

ISAIA, G. C. A água no concreto. In: ISAIA, G.C. (Editor). Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: **IBRACON**, 2011. vol 1, p. 311-346.

MELO, V. S. et al. **Desempenho de argamassas de cimento Portland contendo nanotubos de carbono e aditivo de melamina**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 52., 2010, Fortaleza. Anais... Fortaleza: IBRACON, 2010.

MELO, V. S. **Nanotecnologia Aplicada ao Concreto: Efeito da Mistura Física de Nanotubos de Carbono em Matrizes de Cimento Portland**. Dissertação - Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

MOHSEN, M. O.; TAHA, R.; TAQA, A. A.; SHAAT, A. Optimum carbon nanotubes' content for improving flexural and compressive strength of cement paste. **Construction and Building Materials**, v. 150, p. 395-403, 2017.

PACHECO-TORGAL, F.; MIRALDO, S.; DING, Y.; LABRINCHA, J.A. Targeting HPC with the Help of Nanoparticles: An Overview. **Construction and Building Materials,** v. 38, p. 365–370, 2013.

REALES, O. A. M.; TOLEDO FILHO, R. D. A review on the chemical, mechanical and microstructural characterization of carbon nanotubes-cement based composites. **Construction and Building Materials**, v. 154, p.697-710, nov. 2017.

SANCHEZ, F.; SOBOLEV, K. Nanotechnology in concrete–a review. **Construction and building materials**, v. 24, n. 11, p. 2060-2071, 2010

SINDU, B. S.; SASMAL, S. Properties of carbon nanotube reinforced cement composite synthesized using different types of surfactants. **Construction and Building Materials**, v.155, p. 389-399, 2017.

SINGH, L. P. et al. Beneficial role of nanosilica in cement based materials – A review. **Construction and Building Materials**, v. 47, p. 1069-1077, 2013.

VAN TONDER, P.; MAFOKOANE, T. T. Effects of multi-walled carbon nanotubes on strength and interfacial transition zone of concrete. **Stand Alone**, p.718-727, 2014.

WANG, B.; HAN, Y.; LIU, S. Effect of highly dispersed carbon nanotubes on the flexural toughness of cement-based composites. **Construction and Building Materials**, v. 46, p.8-12, set. 2013.