

EFEITO DO USO DE NANOAGREGADOS DE PRATA NO CONCRETO*

Jennifer Araújo Daniel¹
Rodrigo Roberto Coelho²
Willy Ank de Moraes³

Resumo

O presente trabalho trata-se do estudo do efeito no desempenho do concreto através da adição de nanopartículas de prata, aqui consideradas como um nanoagregado, como forma de atuar em características microscópicas do concreto. A avaliação foi feita através da comparação do desempenho mecânico de uma composição convencional de concreto sem e com a adição de nanopartículas de prata, com tamanhos entre 20 a 80 nm, através de duas soluções com concentrações de 16 e 38ppm. Foram efetuados ensaios de compressão tradicionais em corpos de prova padronizados, conforme a NBR 5739. Também foram empregados corpos de prova de tamanho reduzido, a partir dos quais foram obtidas curvas tensão versus deformação. Tais amostras foram testadas no estado natural e após a submissão a uma solução de ácido nítrico HNO₃ a uma concentração de 0,4N. Apesar da pequena fração volumétrica final, a presença das nanopartículas de prata alterou significativamente o desempenho do material.

Palavras-chave: Nanopartículas de prata; nanoagregado; concreto.

EFFECT OF THE EMPLOYMENT OF SILVER NANOAGGREGATED IN CONCRETE

Abstract

The present work deals with the study of the effect on concrete performance through the addition of silver nanoparticles, here considered as a nanoaggregate, as a way of acting on microscopic characteristics of the concrete. The evaluation was done by comparing the mechanical performance of a conventional concrete composition without and with the addition of silver nanoparticles, with sizes between 20 and 80 nm, through two solutions with concentrations of 16 and 38ppm. Traditional compression tests were carried out on standard test specimens, according to NBR 5739. Small size test specimens were also used, from which tension versus strain curves were obtained. These samples were tested in the natural state and after subjection to a solution of nitric acid HNO₃ at a concentration of 0.4N. Despite the small final volumetric fraction, the presence of silver nanoparticles significantly altered the performance of the material.

Keywords: Silver nanoparticles; nanoaggregate; concrete.

¹ Graduanda em Engenharia Civil, UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: jennifera_daniel@yahoo.com.br.

² Mestre em Engenharia Mecânica, Especialista em Segurança do Trabalho, Engenheiro Civil, Gerente de Obras de Construção Civil, Professor Adjunto, UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: rroberto@unaerp.br.

³ Doutorando, Mestre, Engenheiro e Técnico em Metalurgia e Materiais, Consultor Técnico na INSPEBRAS, Sócio-Diretor da Willy Ank Soluções Metal-Mecânica, Professor Adjunto, UNISANTA, Santos, SP, Brasil. E-mail: willyank@unisanta.br.

1 INTRODUÇÃO

A área da Engenharia Civil, assim como toda área tecnológica, está buscando inovações para aprimorar seus produtos e serviço desenvolvidos, particularmente no uso do concreto. A resistência mecânica, segundo a NBR 6118 [1], é uma condição específica de qualidade, utilizada na aplicação do concreto com material estrutural.

O concreto, pelas suas condições físicas, é um material suscetível a proliferação de microrganismos, pois sua porosidade e aspereza podem gerar condições ideais para a proliferação de fungos e bactérias, conforme Lapa [2]. A presença destes microrganismos pode levar à biodeterioração do concreto, que ocorre, segundo Gaylarde et al. [3], da ação de micro-organismos, que se alimentam de componentes do concreto posteriormente expelindo componentes que geram ácido sulfúrico, H_2SO_4 (bactérias aeróbicas) e ácido nítrico, HNO_3 (bactérias nitrificantes, nitrosomonas e nitrobactérias).

No concreto, um dos agentes patológicos de ocorrência mais costumeira são os fungos, popularmente conhecido pela denominação 'mofo'. Este agente, conforme apontado por Allucci et al. [4], é notoriamente conhecido como causador de alterações visuais em paredes e alvenarias, tais como marcas e manchas em tons amarelos, verdes, preto e ou branco. Além disso, este patogênico também libera no concreto substâncias oxidantes, à base de sulfetos, criando uma atmosfera corrosiva deletéria à resistência estrutural do material. A Tabela 1 ilustra alguns dos fatores que influenciam o surgimento e a proliferação de fungos em componentes construtivos, nas superfícies internas de edifícios.

Tabela 1. Fatores que influenciam o surgimento e proliferação de fungos

Parâmetros Necessários	Intervalo	Observações
Temperatura superficial	-8 a 60 °C	Depende da espécie de fungo e da fase de desenvolvimento
Umidade relativa (próxima à superfície)	70 a 100%	(germinação de esporos ou crescimento de micélios)
Nutrientes e teor de sal	–	Os nutrientes podem ser encontrados em acúmulos de sujeira
pH superficial	2 a 11	-
Tempo diário de exposição	> 1 h/d	Depende da temperatura e umidade
Quantidade de oxigênio	> 0,25%	Sempre presente

Fonte: Adaptado de Sedlbauer [5].

Por outro lado, como exemplificado por Azevedo [6], a nanotecnologia tem o potencial de levar a soluções inovadoras, que melhoram as condições e o desempenho de produtos, mesmo em aplicações tradicionais. Quando um material possui sua escala reduzida, a ponto de ser considerado um nanomaterial, este altera suas propriedades físico-químicas de maneira que, na forma de nanopartículas, o material passa a demonstrar características específicas, muitas vezes diferentes das apresentadas na sua forma macroscópica.

A nanotecnologia vem sendo introduzida em vários setores como nas aplicações listadas na Tabela 2, inclusive na construção civil. Esse setor tem empregado nanotecnologia para a melhoria de componentes construtivos, como por exemplo, no

incremento da resistência característica do concreto, o que pode ser feito, por exemplo, pela adição de nanotubos de carbono. Tal material, quando usado como agregado no concreto, pode elevar seu grau da resistência mecânica, conforme verificado em várias pesquisas, como a desenvolvida por Moraes [7]. Além disso, por ser tratar de materiais submicroscópios, as nanopartículas apresentam uma ótima aderência ao restante dos componentes do concreto, alterando suas características finais, mesmo em quantidades relativamente reduzidas.

Tabela 2. Algumas aplicações relevantes da nanotecnologia industrialmente

Setor	Tipo de Produto / Observações
Energia	Sistemas fotovoltaicos; células solares; grids de energia; baterias; pás para geradores eólicos.
Iluminação	LEDS baseados em <i>quantum dots</i> para iluminação pública, domiciliar e automobilística.
Automobilística	Pinturas especiais (não riscam, autolimpantes); catalizadores para conversores catalíticos para gases de escapamento; eletrônica embarcada; tecidos antibacterianos.
Esportes	Raquetes de tênis (nanotubos de carbono); roupas esportivas antitranspirantes e antibactericidas; calçados para esportes; quadros para bicicletas; tacos de <i>golf</i> ; luvas para esportes.
Tecidos	Tecidos resistentes a sujidades (efeito lótus); tecidos antibactericidas; tecidos técnicos e não tecidos.
Embalagens	Embalagens com propriedades de barreira (umidade, gases), à base de nanocompósitos; embalagens inteligentes, sensíveis a gases de decomposição de alimentos; recipientes bactericidas (prata) para guardar alimentos perecíveis.
Cosméticos	Protetores solares; produtos para recuperação da pele; produtos contendo cores físicas (índice de refração); produtos para maquiagem.
Fármacos	Novas formas de administração de fármacos (nanoemulsões e nanopartículas); <i>drug-delivery</i> ; terapia de cânceres.

Fonte: ABDI [8].

Dentro deste contexto, têm-se as nanopartículas de prata (*Ag-NPs*), que apresentam características antimicrobianas devido à liberação associada de íons de prata, um reconhecido agente bactericida e antibiótico [9]. Este nanomaterial vem sendo estudado e empregado há anos em várias áreas, especialmente na medicina e biologia, onde são empregadas com o objetivo de matar agentes patogênicos em válvulas cardíacas, produtos de higiene, etc. Segundo a Fundacentro [10] graças às propriedades da prata, este metal é capaz de eliminar 650 organismos patogênicos, sendo que seu poder germicidase torna maior na escala nanométrica, ou seja, na forma das *Ag-NPs*.

A característica ação antimicrobiológica das *Ag-NPs* dotam este nanomaterial de potencial emprego no concreto, visando a prevenção da formação e proliferação de bactérias e fungos ('mofo'). Por isso, o presente trabalho abordou o potencial uso de materiais nanotecnológicos de prata (*Ag-NPs*) como participantes da composição do concreto, sendo aqui considerados como nanoagregados. O conceito é que tais nanoagregados possam antecipar necessidades específicas do concreto, assim retardando patologias que poderiam surgir após algum tempo de uso das estruturas.

2 DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento deste trabalho, empregaram-se amostras de prata coloidal nanoparticulada, gentilmente cedidas pelo laboratório Khemia. Este material não continha químicas estabilizantes e nem surfactantes, apresentando uma concentração de 54 ppm (0,0054%) de partículas de prata, cujo tamanho variava de 20 a 80 nm. As nanopartículas foram manipuladas em soluções diluídas em 30 e 70% da solução original, ou seja, contendo 16,2 e 37,8 ppm (0,00162 a 0,00387%) de partículas de prata, respectivamente. Como a quantidade de água total empregada no concreto foi de 9,43%, conforme apresentada na Tabela 3, então a participação total das nanopartículas no concreto foi ainda menor: 1,53 e 3,57 ppm (0,000153 e 0,000357%), equivalentes a 194,4 e 453,6 mg de adição na massa total de 127,2 kg de concreto preparado, respectivamente.

O chamado traço do concreto é dosagem certa de cada elemento que compõe o concreto de acordo com a resistência requerida. Neste trabalho, empregou-se um traço de concreto (1 : 2,42 : 2,34 : 0,60), que apresenta uma resistência característica de 20 MPa em compressão, conforme avaliado recentemente por um dos autores [11]. Este concreto foi constituído por areia média, brita e cimento Portland de alto forno padrão CP III-40 RS, todos fornecidos pela UNAERP-Guarujá, conforme as quantidades apresentadas na Tabela 3. Foram produzidas três misturas, diferenciadas pelo tipo de adição de água:

- normal - constituída apenas por 12 kg de água pura;
- 30% - constituída com 12 kg de solução de *Ag-NPs*, diluída a 30% e
- 70% - constituída com 12 kg de solução de *Ag-NPs*, diluída a 70%.

Tabela 3. Traço empregado para a formulação do concreto neste trabalho

Material	Quantidade	
	Massa (kg)	Relativa (%)
Areia média	48,4	38,1
Brita	46,8	36,8
Cimento CP III 40 RS	20,0	15,7
Água total (pura ou com <i>Ag-NPs</i>)	12,0	9,4
Nanopartículas de Prata*	≈ 200 a 500 mg	1,5 a 3,6 ppm

* Observação: foram empregadas três misturas, com 0;1,53 e 3,57 ppm de *Ag-NPs*.

Os agregados empregados na manufatura do concreto estudado neste trabalho foram caracterizados de modo a conhecer as condições de uso das nanopartículas. O teor de umidade da areia e da brita foram quantificados conforme a NBR 16097 [12], pela comparação da massa do material, obtida em uma balança semi-analítica com precisão de 0,01g, antes e depois de submetê-lo a um ciclo de secagem em estufa a 105°C por 24h. Assim, o teor de umidade (%U) foi calculado pela equação (1), considerando-se a massa antes (m_t) e depois (m_s) do ciclo de secagem:

$$\%U = \frac{m_t - m_s}{m_t} \times (100\%) \quad (1)$$

A granulometria da areia foi descrita segundo a NBR NM 248 [13] e da brita de acordo com a NBR 7211 [14], sendo que ambos os casos foram empregadas séries de peneiras para separar e quantificar as diferentes bitolas dimensionais presentes nestes agregados. No caso da areia foram empregadas peneiras, da série fina, com aberturas 200, 100, 50, 30, 16 e 8 mesh, correspondentes às aberturas de 0,0074; 0,149; 0,297; 0,595; 1,19 e 2,38 mm, respectivamente. No caso da brita, foram empregadas peneiras da série grossa, com aberturas de 4, 2, 1½, 1, ¾ e ⅜ de polegada, equivalentes a 101,4; 50,8; 38,1; 25,4; 19,1 e 9,52 mm, respectivamente.

Durante a manufatura do concreto, foram realizados ensaios de abatimento (*slump teste*), segundo a NBR NM 67 [15]. Neste caso foram empregados um molde tronco-cônicopadrão [15] e uma vareta de aço para fazer golpes de adensamento da massa de concreto a ser testada, ao ser adicionada ao molde padrão.

Com a mistura de concreto, foram preparados dois grupos decorpos de prova (CPs) cilíndricos com as 3 misturas: normal (sem nanopartículas), com 30% e com 70% de solução coloidal de nanopartículas. Todos os CPs foram adensados por golpeamento da mistura, através de uma vareta metálica, nos respectivos moldes. Um grupo de 12 CPs, sendo 4 para cada mistura, foram confeccionados nas dimensões padrão para ensaios de compressão, segundo a NBR 5739 [16], com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura para ensaios em prensa hidráulica. Outro grupo de 6 amostras, 2 para cada mistura, com 50 mm de diâmetro e 150 mm de altura, foram empregados para avaliar as curvas tensão versus deformação. Tais curvas foram obtidas em uma máquina universal de ensaios mecânicos, com e sem a submersão, durante 24 h, em uma solução de ácido nítrico (HNO₃) a 0,4N, para simular a atuação das nitrobactérias.

Finalmente, empregou-se um equipamento de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para a avaliação superficial da morfologia das condições de agregação dos concretos produzidos. Os dados numéricos obtidos foram modelados e avaliados pela distribuição estatística de *t-Student*, de forma a oferecer uma avaliação e comparação mais significativa dos resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de umidade obtido para a areia, considerada como agregado miúdo, foi de 8,24% e da brita, considerado agregado graúdo, foi de apenas 0,50%. A Tabela 4 apresenta os dados da granulometria do agregado miúdo (areia) e a Tabela 5 mostra os resultados obtidos para o agregado graúdo (brita).

Tabela 4. Resultados da granulometria da areia (Amostra inicial: 1835,97 g)

Peneira		Peso Retido				Peso Acumulado	
Malha	Abertura (mm)	Massa (g)	%Retido	Fração	%	Fração Passante	Passante %
8	2,36	43,00	2,36	0,0236	2,36	0,9764	97,64
16	1,18	376,20	20,63	0,2063	22,98	0,7702	77,02
30	0,600	481,35	26,39	0,2639	49,37	0,5063	50,63
50	0,300	615,12	33,72	0,3372	83,10	0,1690	16,90
100	0,15	253,84	13,92	0,1392	97,01	0,0299	2,99
200	0,075	45,50	2,49	0,0249	99,51	0,0049	0,49
Sobra	0	8,96	0,49	0,0049	100,00	0,0000	0,00

Tabela 5. Resultados da granulometria da brita (Amostra inicial: 2004,00 g)

Peneira		Peso Retido				Peso Acumulado	
Malha	Abertura (mm)	Massa (g)	%Retido	Fração	%	Fração Passante	Passante %
2"	50	-	-	0,0000	0,00	0,0000	0,00
1 1/2"	37,5	-	-	0,0000	0,00	0,0000	0,00
1"	25	-	-	0,0000	0,00	0,0000	0,00
3/4"	19	214	10,68	0,1068	10,68	0,8932	89,32
3/8"	9,5	1678	83,73	0,8373	94,41	0,0559	5,59
4"	4,75	84	4,19	0,0419	98,60	0,0140	1,40
Sobra	0	28	1,40	0,0140	100,00	0,0000	0,00
2"	50	-	-	0,0000	0,00	0,0000	0,00

Os resultados obtidos e apresentados na Tabela 4 caracteriza a areia mostrada como 'areia média', conforme a NBR NM 248 [13]. Da mesma forma, os resultados obtidos para a brita, mostrados na Tabela 5, a define como 'brita 1' [13].

Todas as misturas (traços) de concreto empregadas apresentaram trabalhabilidade alta, conforme os resultados obtidos pelo teste de abatimento de cone (*slump* teste), segundo a NBR NM 67 [15]. Os resultados estão apresentados na Tabela 6

Tabela 6. Resultados do abatimento tronco cone dos 3 traços

Traço	Abatimento tronco cone (mm)	Fator de compactação
Normal	70	0,95
30%	75	0,95
70%	65	0,95

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos diretamente dos ensaios de compressão nas 12 amostras de concreto, testadas conforme a NBR 5739 [16], e designadas em função das três misturas empregadas (normal, 30% e 70%).

Tabela 7. Resultados dos ensaios de compressão

Traço		1ª Fissura		Carga Máxima		Diferença
Tipo	Corpo de Prova	Força (kgf)	Tensão (MPa)	Força (kgf)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
Normal	1	8.000	10,0	9.000	11,25	8,75
	2	6.000	7,50	10.000	12,5	7,50
	3	7.000	8,75	9.500	11,88	8,12
	4	8.000	10,0	9.000	11,25	8,75
30%	1	3.000	3,75	8.000	10	10,00
	2	5.000	6,25	7.000	8,75	11,25
	3	6.000	7,50	7.500	9,38	10,62
	4	3.000	3,75	7.500	9,38	10,62
70%	1	11.000	13,76	12.000	15,01	4,99
	2	9.000	11,25	12.500	15,63	4,37
	3	11.000	13,76	13.000	16,26	3,74
	4	11.000	13,76	12.000	15,01	4,99

Os resultados obtidos, apresentados na Tabela 7, foram empregados para gerar uma simulação da distribuição de resultados esperados através da análise estatística de *t-Student*, mais adequada a amostras de tamanho pequeno. A Figura 1 apresenta as distribuições obtidas para as amostras normal, 30% e 70% para a tensão registrada na 1ª fissura detectada no ensaio de compressão e na Figura 2 estão apresentados os resultados similares para a carga máxima registrada nestes mesmos ensaios.

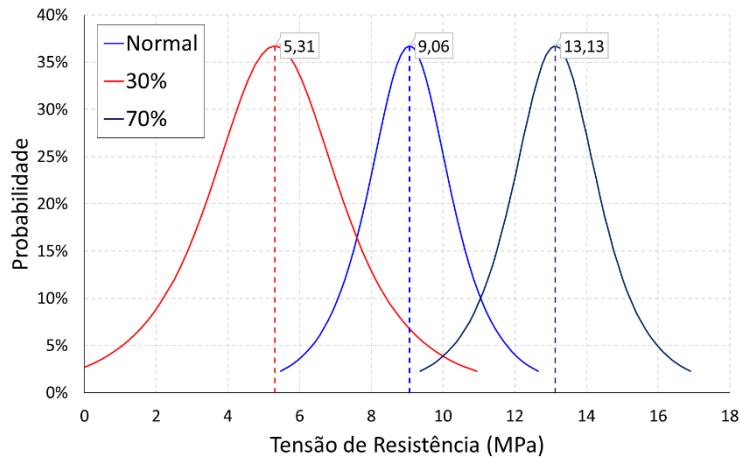


Figura 1. Simulação da distribuição estatística *t-Student* para a tensão de ocorrência da 1ª fissura no teste de compressão dos CP de concreto conforme NBR 5739 [16].

Os resultados da simulação apresentados na Figura 1 indicam que a amostra 30%, com adição total de 1,53 ppm de *Ag-NPs* apresentou uma carga para a 1ª fissura (5,31 MPa em média) menor do que a mesma carga para a amostra normal (9,06 MPa em média). A distribuição mostra que 84,2% das amostras 30% apresentariam uma carga da 1ª fissura menor do que a apresentada pelas amostras do traço de concreto normal. Por outro lado, a amostra 70%, com 3,57 ppm de *Ag-NPs* apresentou uma carga média para a ocorrência da 1ª fissura (13,13 MPa em média) mais elevada. A distribuição indica que praticamente todas as amostras 70% são mais resistentes do que as amostras 30%, com 96% de certeza estatística. Na comparação com as amostras oriundas do traço normal, as amostras do traço 70% são 90% mais resistentes.

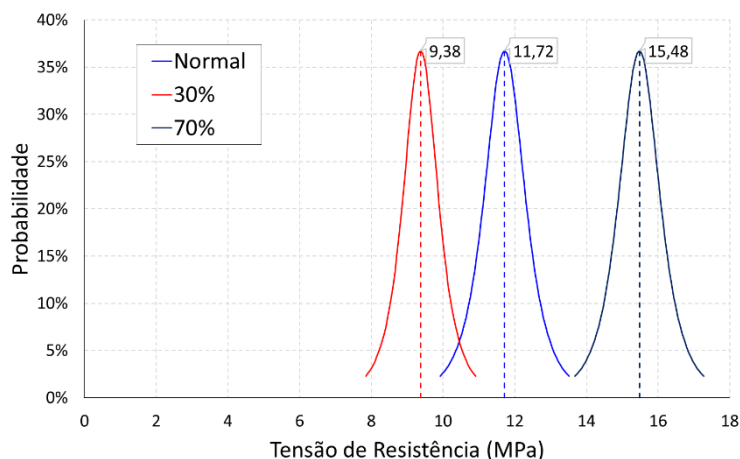
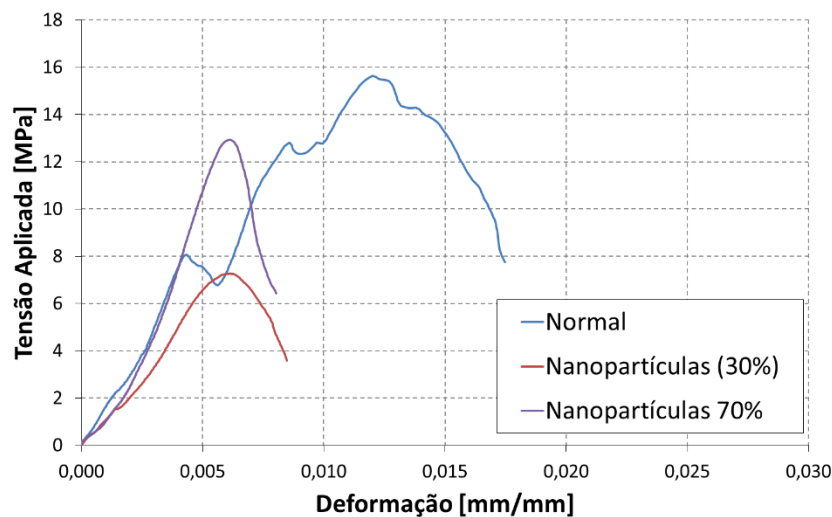


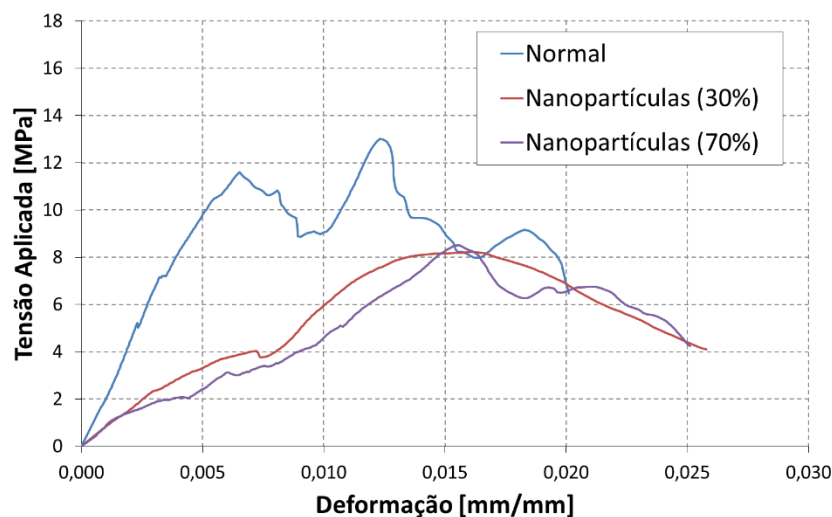
Figura 2. Simulação da distribuição estatística *t-Student* da tensão necessária para a tensão máxima apresentada pelos CPs de concreto durante o teste de compressão conforme NBR 5739 [16].

Através das simulações da distribuição estatística da carga máxima, apresentadas na Figura 2, é possível prever que o traço normal, sem adição de nanopartículas, apresenta uma resistência média de 11,72 MPa, que é 58,6% menor do que a resistência esperada para este traço (20 MPa). Adicionalmente a resistência máxima quantificada nos CPs com adição da solução de 30% de nanopartículas levou a uma resistência ainda menor, de 9,38 MPa, ou 46,9% do valor de 20 MPa esperado. Entretanto, o aumento da adição de nanopartículas ocorrida na amostra 70% levou a um incremento na resistência para 15,48 MPa ou 77,4% da resistência teórica esperada. Importante salientar que a adição total neste último caso foi de apenas 453,6 mg de *Ag-NPs* à mistura total de 127,2 kg, equivalentes à 3,57 ppm ofereceu um ganho de 3,8 MPa (32%), estatisticamente relevante à resistência do concreto.

A Figura 3 apresenta as curvas tensão vs. deformação obtidas com o grupo de 6 amostras, 2 para cada mistura, com 50 mm de diâmetro e 150 mm de altura. Para cada mistura, as amostras foram designadas SA e CA, significando sem exposição ao ácido e com exposição ao ácido nítrico (HNO_3), respectivamente.



(a)



(b)

Figura 3. Curvas tensão vs. deformação para CPs de concreto normal e com adição de *Ag-NPs*. (a) sem e (b) com a submersão, durante 24 h, em uma solução de ácido nítrico (HNO_3) a 0,4 N.

Nos gráficos da Figura 3.a é notória a diferença de comportamento quando há adição de nanopartículas. Sem as nanopartículas, o processo de falha é caracterizado por inúmeros pontos de variação de tensão até a carga máxima. Tais variações podem ser associadas à ocorrência de pequenas falhas, formação de pequenos danos, na estrutura do concreto, conforme já abordado por um dos autores anteriormente [17]. Porém com a adição das *Ag-NPs* ocorreu uma mudança do comportamento do material, que passou a apresentar uma evolução mais estável do processo de falha. Conforme pode ser observado nas curvas, o concreto com adição de nanopartículas não apresenta formação perceptível de danos até a carga máxima em ambas as amostras.

Os resultados das cargas máximas registradas nestes CPs foram diferentes das registradas nos testes de compressão segundo a NBR 5739 [16], apresentadas na Tabela 7 e interpretadas pelas distribuições da Figura 2. A amostra normal apresentou uma tensão máxima de 15,6 MPa, a amostra 70% apresentou uma tensão de 12,9 MPa enquanto que a amostra 30% apresentou 7,3 MPa. Esta diferença pode ser justificada pelo menor tamanho das amostras empregadas para gerar as curvas tensão vs. deformação (diâmetros de 50 mm) em relação às amostras normativamente adequadas para avaliar a resistência à compressão (diâmetros de 100 mm). Esta alteração dimensional foi feita para se adequar ao equipamento de ensaios, que pode aplicar uma carga máxima de 10 kN, fora do limite verificado para as amostras do tamanho normativo, conforme apresentado na Tabela 7.

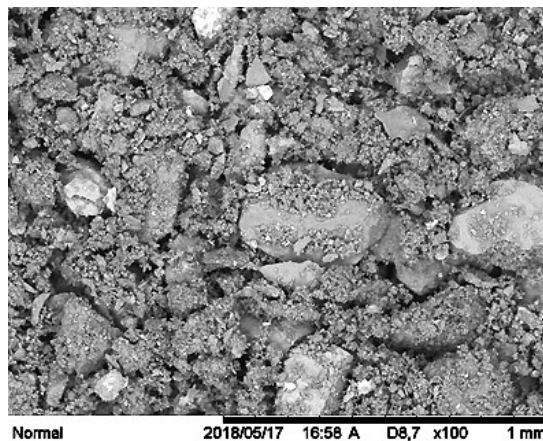
A ação do ácido prejudica a integridade mecânica de todas as amostras, conforme pode ser conferido pelos dados apresentados na Tabela 8. As amostras de concreto normal apresentaram uma diminuição da sua resistência mecânica de 17% e a amostra com 70% de nanopartículas apresentou 34% de redução na carga máxima suportável. Apesar do pequeno incremento na carga máxima para a amostra do traço de 30%, todas as amostras com *Ag-NPs* apresentaram uma redução considerável na rigidez aparente, conforme pode ser visto comparando-se o trecho inicial das curvas tensão vs. deformação das Figuras 3.a e 3.b. Esta diminuição é tipicamente associada a um incremento de danos presentes no material, gerados pela exposição à solução de HNO_3 , conforme apontado pela Mecânica de Danos [17].

Tabela 8. Síntese dos resultados dos ensaios de compressão com registro da curva tensão vs. deformação.

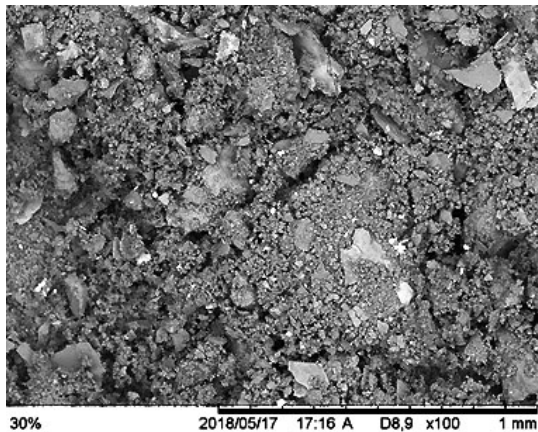
Traço do concreto	Natural	Submersas em HNO_3	Diferença	%Diferença
Normal	15,6	13,0	-2,6	-17%
30%	7,27	8,23	+1,0	+13%
70%	12,9	8,50	-4,4	-34%

A Figura 4 apresenta imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de amostras do concreto, retiradas após os ensaios de compressão para

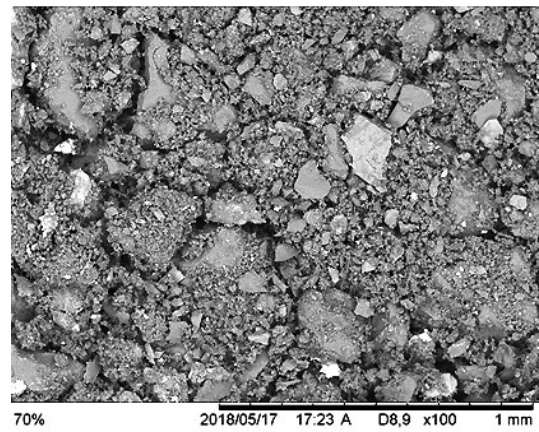
gerar as curvas tensão vs. deformação. A amostra obtida do traço normal apresenta uma morfologia diferente, com presença de trincas mais intensas e em quantidades menores, enquanto que as nanopartículas levam ao material apresentar uma distribuição maior destas trincas, que passaram a ter tamanhos e larguras menores. Este é um mecanismo conhecido de incremento de tenacidade de materiais cerâmicos conforme apontado por Dowling [18]. Tal mecanismo está diretamente associado às curvas tensão vs. deformação registradas neste trabalho e apresentadas na Figura 3.a. A Figura 5 ilustra melhor esta característica, a partir do tratamento das imagens mostradas na Figura 4.a e 4.c, para uma melhor comparação dos aspectos destas duas amostras pela intensificação do contraste para relevar melhor a separação entre as partículas presentes.



(a) Traço normal



(b) Traço 30%



(c) Traço 70%

Figura 4. Aspecto da fragmentação das amostras de concreto, observado via MEV, após os ensaios de compressão para a determinação das curvas tensão vs. deformação.

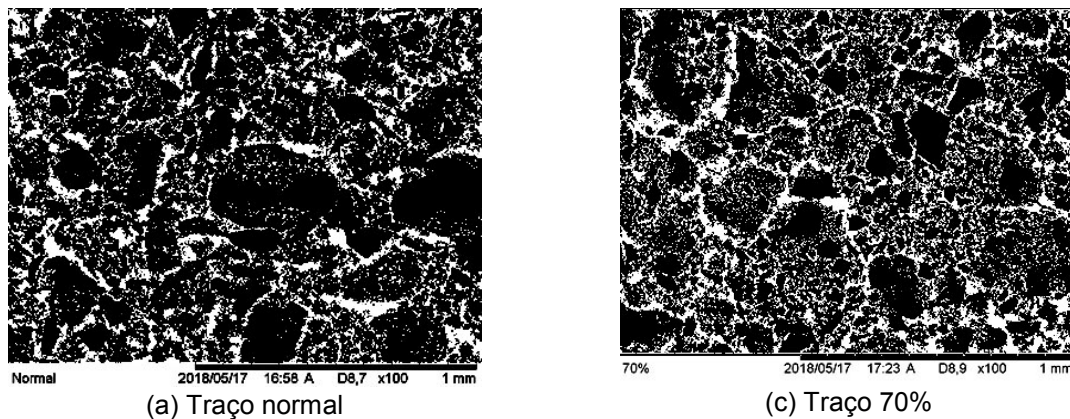


Figura 5. Imagens obtidas a partir do realce de contraste das imagens da fragmentação de duas amostras de concreto obtidas por MEV.

3 CONCLUSÃO

Pode se concluir que a adição de nanopartículas de prata ao concreto mantém uma boa trabalhabilidade do material e geram uma boa adesão, observando que o traço com 70% de nanoagregados levou a uma alteração significativa da resistência característica do concreto. As imagens obtidas por MEV indicam que a atuação das *Ag-NPs* é através da indução de um nível mais íntimo de interligação das partes constituintes do concreto, levando ao material apresentar uma maior dispersão de formação de trincas durante o seu processo de falha, um mecanismo de aumento de tenacidade reconhecido para materiais cerâmicos.

A submersão de corpos de prova em ácido nítrico (HNO_3), para simular os efeitos de nitrobactérias, levou a todos os materiais a perderem resistência e estabilidade nos ensaios mecânicos, seja pela perda de rigidez (para o concreto com *Ag-NPs*), seja para o concreto normal. Deve se levar em consideração que mais testes devem ser realizados, com uma maior quantidade de amostras, para obter valores mais consolidados, especialmente no que diz respeito à exposição a longo prazo a agentes microbiológicos. Contudo o objetivo do trabalho foi atingido, pois, as nanopartículas realmente puderam melhorar o desempenho do concreto, mesmo em um nível de adição tão pequeno quanto o avaliado (3,57 ppm).

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Sr. Jonny Francisco Ros de Almeida, Sócio Proprietário da Empresa Khemia Equipamentos Tecnológicos de Efluentes Ltda., que fez a doação das amostras de nanopartículas de prata coloidal e ao Professor Pedro Laerte de Souza, pelo apoio prestado pela escola móvel do SENAI SP Nano Mundo, que efetuou as análises por MEV.

REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNTNBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- 2 LAPA, J. S. Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto. 2008. **Monografia** (Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

- 3 GAYLARDE, C. SILVA, M. Ribas, WARSCHEID Th. Microbial impact on building materials: an overview. **Materials and Structures** / Matériaux et Constructions, Vol. 36, June 2003, pp 342-352. Disponível em: <<http://demo.webdefy.com/rilem-new/wp-content/uploads/2016/09/1367.pdf>>. Acesso 21 jan. 2018.
- 4 ALUCCI, M. P., FLAUZINO, W. D., MILANO, S. **Bolor em edifícios: causas e recomendações**. Tecnologia de Edificações, São Paulo. Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT. p.565-70, 1988.
- 5 SEDLBAUER, Klaus. **Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components**. Fraunhofer Institute for Building Physics, Holzkirchen, 2001. Disponível em: <http://www.hoki.ibp.fhg.de/ibp/publikationen/dissertationen/ks_dissertation_e.pdf> Acesso 21 jan. 2018.
- 6 AZEVEDO, M. M. M. Nanoesferas e a Liberação Controlada de Fármacos. **Tese de Doutorado**. Pós-Graduação em Química, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2002.
- 7 MORAES, Jorge Fernandes. Aplicações da Nanotecnologia na Indústria da Construção: Análise Experimental em Produtos Cimentícios com Nanotubos de Carbono. **Tese de Doutorado**. Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ. 2012.
- 8 ALVES, Oswaldo Luiz. **Cartilha sobre nanotecnologia**. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2010. <<http://www.abdi.com.br/Estudo/Cartilha%20nanotecnologia.pdf>> Acesso 21 jan. 2018.
- 9 FERNANDES, P. E. Síntese, Caracterização e Ação Antimicrobiana de Nanopartículas de Prata. **Tese de Doutorado**. Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2014.
- 10 FUNDACENTRO – Ministério do Trabalho. **Nanopartículas de prata**. 2018 <<http://www.fundacentro.gov.br/nanotecnologia/nanopartículas-de-prata>> Acesso 21 jan. 2018.
- 11 COELHO, Rodrigo Roberto. Análise experimental do fosfogesso como agregado miúdo na composição do concreto através dos ensaios de slump teste (abatimento) e Compressão axial (corpo de prova). **Dissertação de Mestrado**. Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Santa Cecília, Santos, 2017.
- 12 ABNT **NBR 16097**. Solo — Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2012.
- 13 ABNT **NBR NM 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1998.
- 14 ABNT **NBR 7211**. Agregados para concreto – Especificação (confirmada). Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2014.
- 15 ABNT **NBR NM 67**. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1998.
- 16 ABNT **NBR 5739**. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2018.
- 17 MORAIS, Willy Ank de. Estudo e Caracterização da Resistência a Impactos de Baixas Energias em Materiais Compósitos Fibrosos. **Dissertação de Mestrado**. Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio, Rio de Janeiro, 1999.
- 18 DOWLING, N.E. Comportamento Mecânico dos Materiais: análises de engenharia aplicadas a deformação, fratura e fadiga. Tradução Willy Ank de Moraes. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.