

Effects of using chemical admixture with nanosilica in the consistency and mechanical strength of concrete

Efeitos do uso de aditivo com nanosílica na consistência e resistência mecânica do concreto



T. F. CAMPOS NETO ^a
tiagocampos.eng@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9618-2763>

A. L. B. GEYER ^b
andre.geyer@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2799-4474>

Abstract

The concrete's performance depends on its behavior in the fresh and hardened states, since the workability corroborates for the transport and application processes of the material, while the mechanical strength guarantees structural effectiveness and functionality. Generally, studies of nanosilica (nS) are focused on performance analysis in the hardened state and they are founded on the use of the mineral admixture in dry grains. Thus, this article aims to evaluate the effects of superplasticizer admixture use with nanosilica in colloidal suspension in the consistency and mechanical strength of the concrete. Two concrete mixtures were produced with the same materials and identical proportions, however with different superplasticizers, one with nanosilica (CnS) and the other without nanosilica (CC) used as reference to analyse the effects of the presence of mineral admixture in the development of the consistency and the mechanical strength of the concrete. For evaluation of these properties were carried slump tests as a function of time and compressive strength at 28 days, according to ABNT NBR 10342 and NBR 5739, respectively. The results showed that the concrete without nanosilica presented longer time available for handling, achieving 135 minutes, extending its period of slump loss for fifteen minutes besides the concrete with nanosilica, which reached 120 minutes; and, also presented higher slump values throughout the test, reaching up to 60.0 mm above at 75 minutes after the beginning of test. However, the CnS presented better performance in the hardened state, achieving the C70 high performance concrete class with 70.92 MPa; while the CC reached 65.57 Mpa, fitting within the C60 class.

Keywords: concrete, superplasticizer admixture, nanosilica, workability, mechanical strength.

Resumo

O desempenho do concreto depende do seu comportamento nos estados fresco e endurecido, haja vista que a trabalhabilidade corrobora para os processos de transporte e aplicação do material, enquanto a resistência mecânica garante eficácia e funcionalidade estrutural. Geralmente, estudos de misturas com nanosílica (nS) são voltados para análise do desempenho no estado endurecido e são fundados no uso da adição mineral em grãos secos. Dessa forma, este artigo tem o objetivo de avaliar os efeitos do uso de aditivo superplastificante com nanosílica em suspensão coloidal na consistência e resistência mecânica do concreto. Foram produzidos dois concretos com mesmos materiais e traços idênticos, no entanto com aditivos superplastificantes diferentes, sendo uma mistura incorporada com aditivo com nanosílica (CnS) e outra sem a adição mineral (CC) utilizada como referência para análise dos efeitos da presença da nanosílica, tanto na evolução da consistência como na resistência mecânica do concreto. Para avaliação dessas propriedades foram realizados ensaios de perda de abatimento em função do tempo e resistência à compressão aos 28 dias conforme ANBT NBR 10342 e NBR 5739, respectivamente. Os resultados mostraram que o concreto dosado com aditivo sem nanosílica apresentou maior tempo disponível para manuseio, alcançando 135 minutos, estendendo o período de perda de abatimento por quinze minutos além do concreto com nanosílica em suspensão coloidal, que atingiu 120 minutos; bem como apresentou maiores valores de abatimento durante todo o ensaio, chegando a atingir 60,0 mm a mais de abatimento aos 75 minutos após o início do ensaio. Entretanto, o CnS apresentou melhor desempenho no estado endurecido, batendo a classe C70 de concreto de alto desempenho com 70,92 MPa; enquanto o CC alcançou 65,57 MPa, se enquadrando na classe C60.

Palavras-chave: concreto, aditivo superplastificante, nanosílica, trabalhabilidade, resistência mecânica.

^a Universidade Federal de Goiás, Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil, Goiânia, GO, Brasil.

1. Introdução

O concreto fresco enrijece com o tempo, especialmente se for misturado continuamente, o resultado de uma mistura prolongada está associado à perda de abatimento acelerada do concreto. A perda de trabalhabilidade do concreto pode criar uma série de problemas incluindo dificuldade de lançamento e adensamento, resultando em um concreto mais poroso e com baixa resistência mecânica e durabilidade [1].

As propriedades relacionadas à trabalhabilidade incluem consistência, segregação, exsudação, mobilidade, bombeamento e acabamento. A consistência é considerada um indicador mais próximo da trabalhabilidade, isto é, é um parâmetro que mensura a facilidade de escoamento e coesão da mistura. O abatimento é usado como uma medida da consistência do concreto [2].

A nanotecnologia foi definida por Drexler *et al.* (1991 *apud* SAID *et al.* [3]) como "o controle da estrutura da matéria com base no controle de molécula por molécula dos produtos e subprodutos". A nanotecnologia pode ser considerada como um dos temas mais modernos nas áreas da ciência e tecnologia. Por ter grande potencial de mercado e impacto econômico, a necessidade de exploração neste campo e suas aplicações têm crescido significativamente nas últimas décadas.

Atualmente, há um grande número de aplicações da nanotecnologia no campo da construção civil. O estudo dos nanomateriais é um crescente campo que tem atraído interesse e tem sido aplicado em questões que vão desde a fabricação de novos produtos até a busca por novas aplicações. Assim, é fundamental que sejam estudadas suas propriedades físicas e químicas, além do seu comportamento junto às misturas com outros materiais.

Um dos produtos mais utilizados é a nanosílica (nS) e, mesmo sendo largamente utilizada por melhorar as propriedades mecânicas do concreto aumentando o grau de adensamento e/ou diminuindo a porosidade da matriz sólida, suas aplicações e efeitos sobre as misturas de concreto ainda não são completamente conhecidos. Segundo Nili, Ehsani e Shabani (2010 *apud* QUERCIA *et al.* [4]), a nanosílica é capaz de aumentar a resistência à compressão e reduzir a permeabilidade total do concreto endurecido.

Sabe-se que o desempenho do concreto depende do seu comportamento tanto no estado endurecido como no estado fresco, haja vista que a resistência mecânica garante eficácia e funcionalidade estrutural, enquanto a trabalhabilidade corrobora para os processos de transporte e aplicação do material. A maioria dos estudos de concretos com nanosílica é voltada para a análise dos impactos na mistura já endurecida e pouco se sabe sobre os impactos na mistura fresca. Além disso, os estudos, também em sua maioria, são fundamentados na adição de nanosílica em grãos secos. Dessa forma, este artigo tem o objetivo de avaliar os efeitos da adição aditivo superplastificante com nanosílica, em suspensão coloidal, na consistência e resistência mecânica do concreto.

2. O concreto e a nanosílica

O concreto é um material usado em infraestruturas e edifícios. Ele é composto por materiais granulares de diferentes tamanhos e a graduação total da mistura, que contem partículas de 300 nm a 32 mm, determina as propriedades do concreto. As propriedades no

estado fresco são, por exemplo, reguladas pela distribuição dessas partículas de diferentes tamanhos, assim como as propriedades no estado endurecido, tais como resistência e durabilidade, também podem ser afetadas pelo empacotamento resultante das partículas. Uma forma de melhorar o empacotamento é aumentar a gama de tamanhos dos grãos, por exemplo, incluindo partículas com dimensões inferiores a 30 nm. Alguns materiais têm sido largamente utilizados, tais como, sílica ativa e nanosílica [5].

O desenvolvimento de novas tecnologias para concreto resulta da emergência de uma nova ciência dos materiais cimentícios, uma nova ciência de aditivos e adições e uso de equipamentos científicos sofisticados para caracterizar a microestrutura e até a nanoestrutura. Para Zhu, Bartos e Porro (2004 *apud* GLEIZE [6]), a utilização de nanomateriais ao concreto permite não só um melhor controle de sua microestrutura, o que não permitem as tecnologias atuais, como também a produção de materiais mais duráveis e resistentes.

Segundo Kim *et al.* [7], o principal produto de hidratação do cimento e que compõe aproximadamente 67% do produto hidratado é o silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Esse produto de hidratação pode ser alterado pela incorporação de nanopartículas. Sabe-se que a zona de transição da interface agregado-pasta de cimento hidratada é a região mais frágil do concreto, no entanto ela pode ser reduzida por meio da adição de materiais pozolânicos na mistura do concreto. As pozolanas são capazes de consumir sólidos presentes na zona de transição, por exemplo o hidróxido de cálcio (CH), nas reações pozolânicas aumentando as quantidades de C-S-H e reduzindo a espessura da zona da película.

Said *et al.* [3] enunciam que a nS pode se apresentar de duas formas: grãos secos compactados ou em suspensão coloidal. Os grãos secos de nS devem passar por um procedimento de preparação especial antes de serem inseridos na mistura de concreto, assim é garantida a completa dispersão na água de amassamento ou no aditivo. Por outro lado, a nanosílica em suspensão coloidal, produzida como uma suspensão estabilizada por um agente dispersor, é uma forma já pronta para uso. Campillo, Dolado e Porro (2003 *apud* SAID *et al.* [3]) estudaram as propriedades de argamassas dosadas com as duas diferentes formas e concluíram que o comportamento das misturas incorporadas com nS em suspensão coloidal foi melhor e atribuíram tal resultado à melhor dispersão com alta redução de aglomeração em comparação à nS em grãos secos.

Diferentes efeitos são produzidos no concreto pela adição de nanosílica ou sílica ativa. A adição de sílica ativa diminui a quantidade de cimento necessária, sendo este um efeito mais pronunciado para a nS. O principal mecanismo deste princípio de trabalho é a elevada superfície específica, que atua como pontos de nucleação para a precipitação do gel de C-S-H [5]. Bjornstrom *et al.* (2004 *apud* BAS-TAMI; BAGHBADRANI; ASLANI [8]) afirmam que ainda não está claro se a aceleração no processo de hidratação do cimento na presença de nS é causada pela sua reatividade pozolânica mediante dissolução ou pelo aumento da superfície específica. Resultados de testes de viscosidade têm mostrado que pastas de cimento ou argamassas com nS exigem mais água para manter a trabalhabilidade. Além disso, a nanosílica apresenta uma forte tendência à adsorção iônica em meio aquoso, logo a formação de aglomerados é esperada. Neste último caso, aditivos plastificantes são indicados.

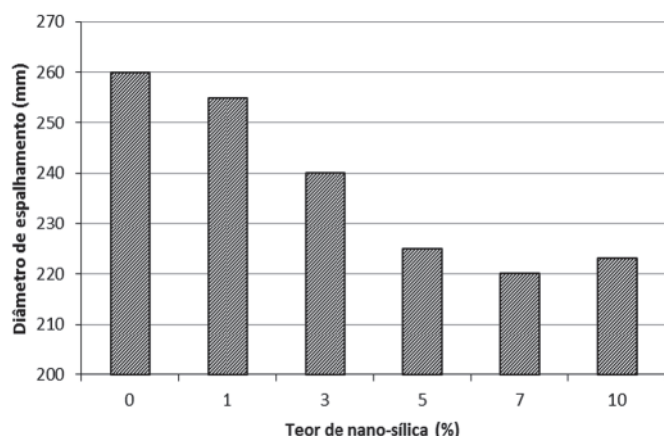


Figura 1

Fluidade de argamassas com diferentes teores de nS

Fonte: Adaptado de EL-BAKY; YEHIA; KHALIL [9]

Em geral, a sílica ativa concorre para retardar a reação exotérmica do cimento, além de reduzir a permeabilidade do concreto. Concretos com sílica ativa têm o processo de hidratação retardado devido às partículas em hidratação estarem mais separadas pela presença da adição mineral e, o fluxo de calor é mais baixo, sendo proporcional ao teor de clínquer presente. No entanto, Belkowitz e Armentrout (2009 *apud* SAID *et al.* [3]) investigaram os efeitos da nS no processo de hidratação do cimento e constataram que o pequeno tamanho das partículas fornece uma maior superfície de contato, que acelera a taxa de hidratação do cimento e as reações pozolônicas.

EI-Baky, Yehia e Khalil [9] avaliaram o desempenho de argamassas de cimento Portland no estado fresco incorporadas com nanosilica em grãos. A nS com dimensão de 19 nm foi utilizada com uma adição em substituição ao cimento em teores de 0, 1, 3, 5, 7 e 10%; a relação água/aglomerante (a/ag) foi mantida constante e igual a 0,48; e a proporção de areia foi de 2,75 em função do cimento. Os ensaios de fluidez das diferentes argamassas foram realizados de acordo com a ASTM C1437 (Standart Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar) e os resultados mostraram que a redução da fluidez é proporcional ao aumento da porcentagem de nS na mistura até 7%, visto que parte da água de amassamento foi utilizada na ativação das partículas da adição devido

à sua elevada superfície específica (.). No entanto, esse comportamento é alterado quando o teor de nS atinge 10%, onde a fluidez volta a aumentar devido ao excesso de nanopartículas. Assim, em teores menores, a nS absorve parte da água da mistura, reduzindo a consistência das argamassas, enquanto que em teores maiores, a nanosilica que não reage atua como um lubrificante, aumentando novamente a fluidez da mistura.

Ainda no mesmo estudo, os pesquisadores realizaram micrografias com microscópio eletrônico de varredura (MEV) nas misturas de argamassa sem adição (convencional) e com 7% de nS. Os resultados apontaram que a argamassa com nanosilica é mais densa e homogênea do que a convencional. Os pesquisadores atribuíram esse resultado às reações pozolônicas, resultando em maior coesão, entretanto apresentando menor trabalhabilidade do que a argamassa convencional.

Em se tratando de desempenho mecânico, Said *et al.* [3] estudaram concretos dosados com diferentes teores de nanosilica (0%, 3% e 6%) em suspensão coloidal. Três concretos foram dosados apenas com nS e três concretos foram dosados com nS e cinza volante classe F, conforme especificado pela ASTM C 618 (Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzola for Use in Concrete). O consumo de material cimentício foi mantido constante (390 kg/m³), assim como a relação água/materiais cimentícios (0,40). Foram avaliadas as propriedades de resistência mecânica, permeabilidade e porosidade dos concretos. Os resultados apontaram que os corpos-de-prova apenas com adição de 6% de nanosilica obtiveram os maiores valores de resistência à compressão e que a adição de cinza volante em conjunto com a nS pode reduzir a evolução da resistência mecânica dos concretos a longo prazo. A Figura 2 apresenta a evolução das resistências à compressão dos concretos estudados, onde o Grupo A é constituído por concretos com nS e o Grupo B com nS e cinza volante.

A permeabilidade foi analisada por meio do ensaio de penetração de cloretos por imersão, que determina a profundidade da penetração dos cloretos por meio do método do colorímetro regulamentado pela ASTM C 1202 (Standart Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration). Por outro lado, a porosidade foi avaliada por meio do ensaio de porosimetria por injeção de mercúrio, que determina a porosidade total aparente do concreto e os diâmetros limiares dos poros. Os resultados de ambos os ensaios estão inseridos na Tabela 1.

Tabela 1

Índices de permeabilidade e porosidade dos concretos

Mistura	Permeabilidade		Porosidade	
	Profundidade média de penetração (mm)	Classe de penetrabilidade (ASTM C 1202)	Porosidade total aparente (%)	Diâmetro limiar dos poros (µm)
A-0 (0% nS)	10,2	Baixa	10,13	0,100
A-1 (3% nS)	3,1	Muito baixa	6,91	0,075
A-2 (6% nS)	4,6	Muito baixa	6,44	0,060
B-0 (0% nS)	8,1	Muito baixa	12,56	0,144
B-1 (3% nS)	4,1	Muito baixa	9,30	0,092
B-2 (6% nS)	3,3	Muito baixa	8,21	0,075

Fonte: Adaptado de SAID *et al.* [3]

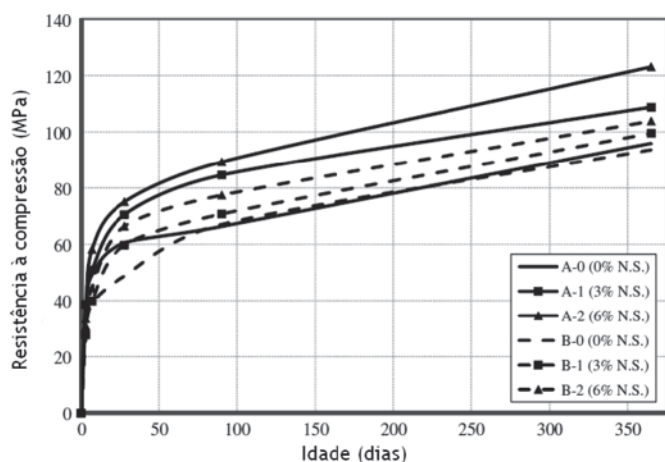


Figura 2
Evolução das resistências à compressão dos concretos

Fonte: Adaptado de SAID *et al.* [3]

Os concretos do grupo A incorporados com nS apresentaram menores índices de penetração por cloretos, chegando a atingir índice de permeabilidade 70% menor se comparado ao concreto sem a adição mineral. Já os concretos do grupo B, por serem acrescidos de cinza volante e nS, apresentaram uma redução menor e próxima a 60% do concreto sem nS. Na porosidade, os concretos com nS dos dois grupos apresentaram menores porosidades aparente e menores diâmetros limiares dos poros. Esses resultados constatam que a nanosilica atua não só como material pozolânico, mas também como filer nas misturas.

Kim *et al.* [7] analisaram os efeitos da nanosilica na composição de concretos curados sob diferentes condições de temperatura. Foram estudados três concretos com teores de 0, 1 e 3% de nS, curados por sete dias em diferentes condições de temperatura (20°C e 38°C). O objetivo foi avaliar o grau de hidratação do cimento e a reatividade pozolânica relativa da adição mineral. Os resultados evidenciaram uma acelerada hidratação do cimento em condições de elevada temperatura e que a fração de nS que participou ativamente na reação pozolânica é maior quando a pasta de cimento é submetida a altas temperaturas.

A seleção dos materiais apropriados e a dosagem são passos importantes para produzir um concreto que atenda às especificações de resistência e durabilidade na estrutura. Esse objetivo, no entanto, pode não ser atingido se uma atenção adequada não for dada às operações às quais o concreto é submetido nas primeiras idades. O termo “primeiras idades” abrange apenas um insignificante intervalo de tempo, por exemplo, os dois primeiros dias após a produção, no total da expectativa de vida útil do concreto, mas durante esse período numerosas operações são realizadas, tais como mistura, transporte até o local de aplicação, lançamento nas fôrmas, adensamento, acabamento, cura e desmoldagem. Estas operações são influenciadas pelas características do concreto fresco, por exemplo: trabalhabilidade, tempo de pega e maturidade ou taxa de crescimento da resistência. Evidentemente,

o controle simultâneo das operações nas primeiras idades e das propriedades do concreto fresco é essencial para assegurar que o elemento de concreto acabado seja estruturalmente adequado para a finalidade para a qual foi projetado [10]. O período da primeira idade na vida do concreto é insignificamente pequeno se comparado ao total de sua expectativa de vida, mas durante esse período ele está sujeito a muitas operações que não somente são afetadas pelas propriedades do material, mas também as influenciam. Por exemplo, um concreto com pouca trabalhabilidade pode ser difícil de misturar; por outro lado, um tempo de mistura excessivo pode reduzir a trabalhabilidade.

Para uma relação a/c constante, um aumento na relação agregado/cimento irá reduzir a trabalhabilidade e, conseqüentemente, mais cimento será necessário. A deficiência de agregado miúdo resulta em uma mistura mais áspera, propícia à segregação e difícil acabamento, por outro lado, o excesso de agregado miúdo resulta em uma mistura mais permeável e menos econômica e durável, porém mais facilmente trabalhável [11]. Partículas mais finas requerem mais água para molhagem de sua grande superfície específica, enquanto a forma irregular e textura rugosa de um agregado anguloso demandam mais água que um agregado arredondado. As adições minerais inseridas com o objetivo de substituir parte do cimento têm pequeno impacto na trabalhabilidade, aumentando a coesão da mistura.

O tempo e a velocidade de mistura podem prejudicar a trabalhabilidade de qualquer concreto. A Designação C 94 [12] afirma que misturar em velocidades elevadas e por longos períodos, aproximadamente uma hora ou mais, pode resultar em perdas de resistência mecânica, aumento de temperatura da mistura, perda excessiva do ar incorporado e perda acelerada de abatimento.

Os aditivos superplastificantes, um dos mais utilizados pela indústria do concreto, são responsáveis por garantir alta fluidez às misturas, no entanto Tutikian e Dal Molin [13] afirmam que a maior dificuldade de uso desses aditivos é a taxa relativamente alta de perda de consistência com o tempo em comparação aos concretos convencionais, dificultando sua utilização em obras. Porém, nos casos em que um maior tempo de transporte e lançamento faz-se necessário, é indicada a especificação de abatimentos iniciais mais altos, que podem ser obtidos com o uso de aditivos plastificantes.

3. Materiais e programa experimental

3.1 Materiais

Para realização do procedimento experimental foram utilizados: cimento Portland CP II-F-40 com superfície específica de 422,31 m²/kg; sílica ativa; agregados miúdos com diâmetros máximos característicos (DMC) de 0,60 e 4,75 mm, em zonas utilizáveis inferior e superior, respectivamente; agregados graúdos com DMC de 12,5 e 25,0 mm; aditivo multifuncional (Tec-Mult 829) e aditivos superplastificantes à base de policarboxilatos, sendo um deles industrialmente incorporado com nanosilica em suspensão coloidal (Silicon NS AD 400) e o outro sem nS (Tec-Flow 50N). Os dados obtidos no processo de caracterização dos agregados e as espe-

Tabela 2

Caracterização dos agregados e especificações dos aditivos

Característica	Agregados			
	Areia fina	Areia grossa	Brita 12,5 mm	Brita 25,0 mm
Massa unitária (kg/dm ³)	1,366	1,537	1,620	1,671
Massa específica (kg/dm ³)	2,653	2,598	2,873	2,890
Diâmetro máximo característico (mm)	0,60	4,75	12,50	25,00
Módulo de finura	1,766	3,079	1,943	3,114

Característica	Aditivos		
	Tec-Mult 829	Tec-Flow 50N	Silicon NS AD 400
Fabricante	RheoSet	RheoSet	Silicon
Aspecto / cor	Líquido castanho escuro	Líquido castanho claro	Líquido mel escuro
pH	7,5 ± 1,0	6,0 ± 1,0	5,6 ± 1,0
Massa específica (g/cm ³)	1,175 ± 0,02	1,110 ± 0,02	1,080 ± 0,02

Fonte: Próprio autor

cificações dos aditivos fornecidas pelos fabricantes estão apresentados na Tabela 2.

O traço utilizado na dosagem dos concretos foi fornecido por uma das maiores centrais de dosagem do Estado de Goiás, sendo o mais comercializado pela empresa e mantido fixo em todas as misturas desta pesquisa. A ideia de se utilizar o traço mais vendido parte do princípio de se trabalhar com misturas de composição próxima à de mercado, tornando a pesquisa mais aplicável às práticas das centrais de dosagem. Os consumos dos materiais utilizados na produção dos concretos estudados (CC e CnS) estão apresentados na Tabela 3. Esse traço é específico para a obtenção de resistência característica à compressão de 50,0 MPa e abatimento inicial de 200 ± 30 mm, conforme dados fornecidos pela central de dosagem.

3.2 Programa experimental

Foram dosadas duas misturas com mesmos materiais e traços

idênticos, no entanto com aditivos superplastificantes diferentes. A mistura sem nS (CC) foi utilizada como referência de estudo para observação dos efeitos da presença da adição mineral na evolução da consistência e resistência mecânica dos concretos; enquanto a outra mistura (CnS) foi dosada com nanosilica em suspensão coloidal incorporada industrialmente ao aditivo. Para avaliação dessas propriedades foram realizados ensaios de perda de abatimento em função do tempo e resistência à compressão aos 28 dias.

Foram produzidas nove misturas para cada traço de forma a obter precisão nos resultados que, a título de comparação, foram realizadas no mesmo horário, entre às 12:00 e 17:00 horas, em dias diferentes. A temperatura ambiente respeitou o período de 31 ± 2°C e a umidade relativa do ar 39 ± 4% durante todo o processo de determinação dos abatimentos, atendendo à solicitação da ABNT NBR 10342:2012 que delimita variações de 2°C e 5%, respectivamente. Os ensaios de avaliação de perda de abatimento dos concretos foram realizados conforme regulamentação da ABNT NBR 10342:2012,

Tabela 3Consumos dos materiais em kg por m³ de concreto

Material	Consumo (kg/m ³)	
	Concreto sem nS (CC)	Concreto com nS (CnS)
Cimento	390,0	390,0
Silica ativa	30,0	30,0
Areia fina	220,0	220,0
Areia grossa	505,0	505,0
Brita 12,5 mm	260,0	260,0
Brita 25,0 mm	750,0	750,0
Água	176,0	176,0
Aditivo Tec-Mult 829	2,83	2,83
Aditivo Tec-Flow 50N	1,10	-
Aditivo Silicon NS AD 400	-	1,10

Fonte: Próprio autor

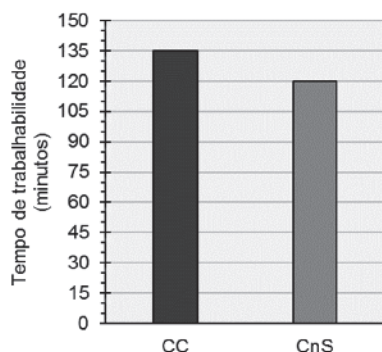


Figura 3

Tempo de trabalhabilidade das misturas

Fonte: Próprio autor

que além dos limites de temperatura ambiente e umidade relativa do ar, apresenta a aparelhagem necessária e os requisitos do procedimento de execução do ensaio. Essa mesma norma explicita que o ensaio de abatimento pode ser encerrado quando o concreto atingir abatimento de 20 ± 10 mm ou à critério da obra. Nesta pesquisa, o ensaio foi encerrado quando as misturas atingiram a classe de consistência S10 (abatimento menor que 50 mm) – de acordo com a NBR 7212 [14] – de modo a evitar problemas na moldagem dos corpos-de-prova.

A ABNT NBR NM 67:1998 foi utilizada como base para a determinação da consistência pelo abatimento do tronco com períodos espaçados de quinze minutos. Os corpos-de-prova foram moldados e curados de acordo com a ABNT NBR 5738:2015 e submetidos a ensaios de resistência à compressão aos 28 dias conforme procedimento da ABNT NBR 5739:2007.

4. Resultados e discussões

Nesta pesquisa, o termo “tempo de trabalhabilidade” refere-se ao período contado a partir da primeira determinação do abatimento até o seu encerramento (50 ± 10 mm). A Figura 3 apresenta os tempos médios de trabalhabilidade das misturas de concreto convencional (CC) e concreto com nanosilica (CnS). Nota-se que o concreto dosado com nanosilica em suspensão coloidal, industrialmente incorporada ao aditivo superplastificante, apresentou tempo de trabalhabilidade menor do que o concreto sem a adição mineral. A redução no tempo disponível para manusear o concreto foi de quinze minutos e, essa diferença pode ser reflexo dos abatimentos iniciais atingidos pelos concretos, isto é, quinze minutos após a mistura dos materiais. El-Baky, Yehia e Khalil [9] constataram que grande parte da água de amassamento é utilizada na ativação das partículas de nS devido à sua elevada superfície específica, reduzindo a fluidez inicial da mistura, conforme apresentado na Figura 4. O teor de nanosilica presente no aditivo superplastificante não foi informado pela empresa fabricante, entretanto, diante do resultado apresentado e fundamentando-se nas conclusões de El-Baky, Yehia e Khalil [9], observa-se que o teor de nS pode estar abaixo de 10%, colaborando com a redução da fluidez da mistura.

O tempo de trabalhabilidade pode inferir no prazo total disponível para as centrais de dosagem produzirem suas misturas, transportá-las e lança-las de forma adequada conforme solicitações do projeto estrutural sem a necessidade de se realizar alterações na relação água/cimento ou na extrapolar a dosagem de aditivos no momento do lançamento. A presença da nS em aditivos para concretos a serem transportados por longas distâncias pode não ser indicada, pois é capaz de reduzir sua trabalhabilidade exigindo ajustes que facilitem seu lançamento e que comprometam as propriedades da mistura no estado endurecido.

A Figura 4 ainda apresenta as linhas limitantes das classes de consistência dos concretos conforme NBR 7212 [14] e por apresentar menor abatimento inicial, 190 mm, o concreto CnS apresentou-se na classe S160, ao passo que o concreto CC, com abatimento inicial de 225 mm, enquadrou-se à S220. É possível observar que a diferença de classe persistiu até a última determinação de abatimento, onde o CnS apresentou-se na classe S10, enquanto o CC ainda se manteve dentro do limite mínimo da S50.

No que diz respeito à evolução da consistência, os concretos apresentaram comportamentos semelhantes, sendo que o CnS apresentou menores valores em todas as determinações, fato possivelmente explicado pela maior demanda de água resultante da presença da nanosilica. Nota-se que as misturas apresentaram comportamentos lineares e descendentes. O CnS começou a perder consistência com mais rapidez após 60 minutos, enquanto que o CC começou após 75 minutos, ou seja, mais uma vez a diferença de quinze minutos se manteve padrão. Mesmo que a queda repentina de consistência tenha ocorrido em períodos diferentes, o comportamento das misturas antes e após esse momento é semelhante, retratando que a nanosilica influi apenas na consistência pela demanda de água exigida para sua ativação. Tal fator pode ser corrigido pela adição de água na mistura sem comprometer os limites estabelecidos em normas em função da classe de agressividade ambiental em

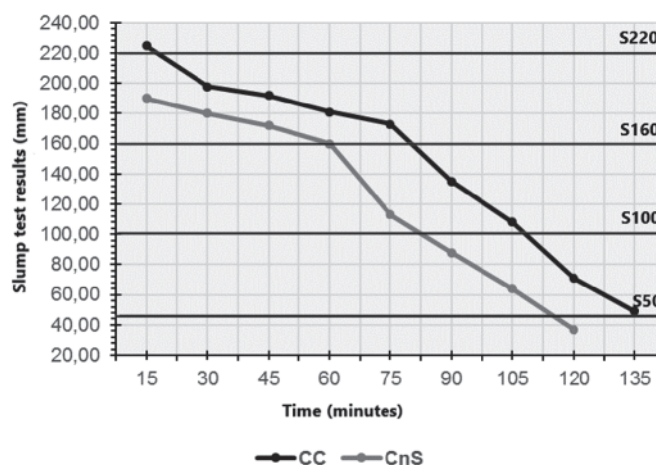


Figura 4

Evolução da consistência das misturas

Fonte: Próprio autor

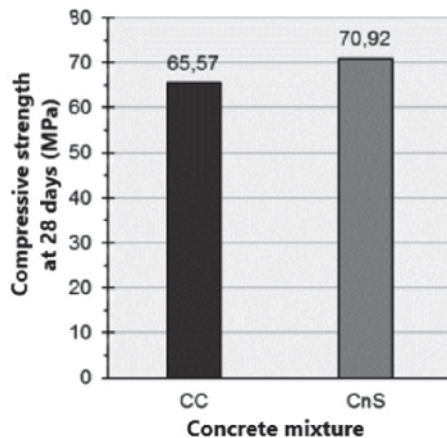


Figura 5
Resistência à compressão aos 28 dias

Fonte: Próprio autor

que será utilizado o concreto.

Para avaliação do desempenho mecânico das misturas no estado endurecido foram moldados quatro corpos-de-prova para cada concreto. Os resultados estão apresentados na Figura 5, onde é possível constatar que o concreto incorporado com aditivo com nanosilica alcançou maior valor de resistência à compressão aos 28 dias. Esse resultado pode ser atribuído ao efeito pozolânico da nanosilica estudado e apresentado por Said *et al.* [3] que, devido à sua elevada superfície específica, colabora com a formação de silicatos de cálcio hidratados por meio das reações pozolânicas entre a nS e produtos de hidratação do cimento, como por exemplo, o hidróxido de cálcio.

De acordo com os valores de resistência à compressão atingidos, as duas misturas são categorizadas como concretos de alta resistência, estando na classe de resistência do Grupo II da ABNT NBR 8953:2015. No entanto, a mistura CnS, que atingiu 70,92 MPa, pode ser classificada como classe C70; enquanto a mistura CC, que atingiu 65,57 MPa, se enquadrando à classe C60.

Em função da elevada superfície específica da nS, o valor da resistência mecânica do CnS poderia ter sido ainda maior, entretanto essa diferença se limitou a aproximadamente 5 MPa. Possivelmente, a falta de água de amassamento na mistura com nS pode ter colaborado com a não ativação das partículas de nS em suspensão coloidal, reduzindo o potencial pozolânico da adição mineral à quantidade de água disponível para as reações químicas. Futuramente, análises com modificações nas relações a/c podem ser feitas de forma a atestar a pozolanicidade do material e seu efeito no ganho de resistência mecânica e, em adição, análises de permeabilidade também podem ser realizadas de forma a contribuir para estudos de durabilidade dos concretos.

5. Conclusões

No processo de evolução da consistência, os concretos apresentaram comportamento semelhante, ou seja, a presença da nanosilica em suspensão coloidal não resultou em perdas excessivas de abatimento em função do tempo. No que diz respeito à resistência

mecânica, a presença de nS no aditivo colaborou com o ganho de capacidade de carga do concreto, ampliando as possibilidades de aplicação da mistura.

Nas especificações do aditivo não é informado o teor de nanosilica presente em sua composição, no entanto ao comparar os resultados obtidos com pesquisas anteriores, acredita-se que esse teor esteja abaixo de 10%, pois a consistência da mistura foi prejudicada. Dessa forma, cabe aos fabricantes especificar o teor de nS presente na solução ou descrever criteriosamente os benefícios obtidos com o uso de determinado aditivo como ocorre com o produto utilizado nessa pesquisa.

Por fim, fundamentando-se nos resultados obtidos nesta pesquisa, é possível notar o efeito do aditivo superplastificantes com nanosilica em suspensão coloidal na consistência e resistência mecânica dos concretos. No estado fresco, os concretos incorporados com a adição mineral podem apresentar menores valores de abatimento se comparados aos concretos com aditivos sem nS. Esse fator pode reduzir os prazos de dosagem, transporte, lançamento e adensamento das misturas, sendo necessário avaliar a possibilidade de adequação da relação a/c ou uso de outro aditivo, como por exemplo, retardador de pega, no caso de concretagens com misturas dosadas em centrais.

6. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro. Às empresas Realmix Concreto e Impercia – Impermeabilizantes e Especialidades Químicas para Construção pelo fornecimento de materiais. À Universidade Federal de Goiás e seus profissionais que incentivaram e tornaram possível a concretização deste trabalho.

7. Referências bibliográficas

- [1] SOROKA, I.; RAVINA, D. Hot Weather Concreting with Admixtures. *Cement and Concrete Composites*, n. 20, p. 129-136, 1998.
- [2] KOSMATKA, S. H.; KERKHOFF, B.; PANARESE, W. C. *Design and Control of Concrete Mixtures*. 14. ed. Skokie: Portland Cement Association, 2003.
- [3] SAID, A. M.; ZEIDAN, M. S.; BASSUONI, M. T.; TIAN, Y. Properties of concrete incorporating nano-silica. *Construction and Building Materials*, n. 36, p. 838-844, 2012.
- [4] QUERCIA, G.; SPIESZ, P.; HÜSKEN, G.; BROUWERS, J. Effects of amorphous nano-silica additions on mechanical and durability performance of SCC mixtures. In: *INTERNATIONAL CONGRESS ON DURABILITY OF CONCRETE*, 2012, Norway. Anais... Norway: ICDC, 2012.
- [5] QUERCIA, G.; BROUWERS, H. J. H. Application of nano-silica (nS) in concrete mixtures. In: *International PhD Symposium in Civil Engineering*. 8., 2010, Kongens Lyngby. Anais eletrônicos... Kongens Lyngby: [s.n.]. 2010. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F228442569_Application_of_nano-silica_%2528nS%2529_in_concrete_mixtures%2Flinks%2F0c96052430c5abf699000000&ei=nJuO>

- VOTNNI_AgwTLkLAAQ&usg=AFQjCNGPrgaZMBEKIXeRu6pBjIMQcDUInA&bvm=bv.81828268,d.eXY>. Acesso em: 22 abr. 2016.
- [6] GLEIZE, P. J. P. Nanociência e Nanotecnologia dos Materiais Cimentícios. In: ISAIA, G. C. (Ed.) *Concreto: Ciência e Tecnologia*. 1. ed. São Paulo: IBRACON, n. 2, p. 1871-1884, 2011.
- [7] KIM, J. J.; RAHMAN, M. K.; AL-MAJED, A. A.; AL-ZAHRANI, M. M.; TAHA, M. M. R. Nanosilica effects on composition and silicate polymerization in hardened cement paste cured under high temperature and pressure. *Cement and Concrete Research*, n. 43, p. 78-85, 2013.
- [8] BASTAMI, M.; BAGHBADRANI, M.; ASLANI, F. Performance of nano-Silica modified high strenght concrete at elevated temperatures. *Cement and Building Materials*, n. 68, p. 402-408, 2014.
- [9] EL-KABY, S. ABD.; YEHIA, S.; KHALIL, I. S. Influence of nano-silica addition on properties of fresh and hardened cement mortar. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NANOMATERIALS – RESEARCH AND APPLICATION, 5., 2013, Brno. *Anais eletrônicos...* Brno: Tanger, 2013. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&ved=0CGwQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublictopics.PublicPostFileLoader.html%3Fid%3D52e3b135d4c1186f678b460e%26key%3D60b7d52e3b135e9bb4&ei=SeEGVcesBsOXgws5wYGgCA&usg=AFQjCNG7ixVID2NqQ3Yfu2FLoX9Sem_sCg&sig2=4gAlujZ0e4fBju1MpFHqwQ>. Acesso em: 16 abr. 2016.
- [10] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. 2. ed. São Paulo: Pini, 2014.
- [11] MINDESS, S.; YOUNG, J. F. *Concrete*. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1981.
- [12] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Designation C 494: Standart Specification for Chemical Admixtures for Concrete. West Conshohocken, Pensilvânia, 2013.
- [13] TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. *Concreto Auto-Adensável*. São Paulo: Pini, 2008.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7212: Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro, 2012.