

ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO CONVENCIONAL E INCORPORADO COM SÍLICA ATIVA E NANOSÍLICA

Andressa Souza Sena¹; Bárbara Gomes Martins²

Resumo

O concreto convencional em elementos estruturais, quando solicitado a esforços mecânicos promove, de forma satisfatória, os parâmetros de boa resistência mecânica, mas não uma grande resistência. Sendo assim, as propriedades mecânicas do concreto são umas das grandes preocupações dos engenheiros quanto à necessidade de grandes resistências em obras. A sílica ativa e a nanosílica desenvolvem uma maior resistência no concreto, por serem materiais pozolânicos. Desta forma, as micropartículas e nanopartículas fornecem melhoramento nas suas propriedades mecânicas. O objetivo deste artigo é comparar a resistência à compressão axial, usando o concreto convencional como referência e acrescentando as adições minerais, sendo elas o uso de microestruturas e nanoestruturas através de ensaios experimentais. Para isso, foram dosados três traços, primeiro o convencional sem adição mineral, o segundo com adição de 8% de sílica ativa e o terceiro com adição de 8% sílica ativa e 0,9% de aditivo superplastificante com nanosílica em suspensão coloidal. As idades avaliadas foram 7 dias, 14 dias e 28 dias, utilizando como parâmetro de consistência o concreto bombeado. Os resultados obtidos demonstraram que no traço 2, o efeito da sílica ativa nos primeiros dias teve um ganho maior na resistência à compressão axial do que o traço 3 contendo sílica ativa e nanosílica e que, na idade de 28 dias, os traços 2 e 3 não obtiveram um ganho de resistência significativa.

Palavras-chave: Concreto. Sílica ativa. Nanosílica. Compressão axial.

Introdução

A resistência mecânica do concreto é de extrema importância e é a mais valorizada entre projetistas e engenheiros de controle de qualidade (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011). Nos elementos estruturais o concreto pode ser solicitado a vários esforços como compressão, tração e cisalhamento, dependendo das características dos esforços solicitantes atuantes no elemento estrutural.

Os principais fatores que influenciam na resistência do concreto são: tensões aplicadas, materiais integrados, relação água/cimento, condições de cura e grau de compactação, assim afetando a porosidade dos diferentes componentes estruturais do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

As adições de sílica ativa e nanosílica promovem uma diminuição da porosidade do concreto, tornando um material mais resistente aos agentes agressivos desencadeadores da corrosão e outras reações patológicas, assim facilitando a obtenção de maior

¹ andressa_sena94@hotmail.com, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

² barbara@unirv.edu.br, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

durabilidade e resistência para obras de barragens, pontes, portos, estruturas hidráulicas e outras que necessitam de uma melhor qualidade (TECNOSIL, 2017a).

A sílica ativa constitui-se basicamente de sílica pura, na forma não-cristalina, que é produzida através do silício metálico, das ligas de ferrosilício e de outras ligas de silício, que são produzidos em fornos de fusão do tipo arco elétrico e, por ser um mineral resultante da indústria metalúrgica, possui maior uniformidade quanto à sua composição química e física (TECNOSIL, 2017b). É altamente pozzolânico, de difícil manuseio e faz que o consumo de água no cimento seja maior, pois aumenta a área superficial específica das partículas (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A contribuição da sílica ativa para a resistência à compressão do concreto está relacionada a diversos fatores: teor na mistura, relação água/(cimento+pozolana), tipo e dosagem de superplastificante, temperatura, umidade, dosagem e processo de cura do concreto. De acordo com algumas pesquisas, a porcentagem adequada de sílica ativa para se ter uma boa resistência à compressão varia de 7% a 10%, chegando em algumas reações a 15% (CARMO; PORTELLA, 2008).

A reforma do Estádio Arena Corinthians é um exemplo de obra que foi inserida a sílica ativa com a finalidade de reduzir o consumo de cimento, minimizar o potencial de fissurações por retração, prever a durabilidade do concreto e ter aparência de concreto aparente com baixo consumo de aglomerantes (TECNOSIL, 2017c).

A nanotecnologia surgiu no ano 1959 e, segundo o físico Richard Feynman, o homem seria capaz de manipular átomos e construir novos materiais (CADIOLI; SALLA, 2006). O físico Eric Drexler, em seu livro *Motores de Criação*, em 1982 batizou o nome Nanotecnologia, sendo o primeiro cientista a se tornar doutor em nanotecnologia molecular pelo MIT (CASTRO, 2009).

Nanotecnologia é a engenharia dos materiais que variam de tamanho de 1 a 100 nanômetros, explorando as propriedades e os fenômenos que ocorrem nas suas escalas, como por exemplo, a possibilidade de criar materiais, dispositivos e sistemas com novas funções e propriedades (GLEIZE, 2011).

Os efeitos positivos da adição de nanosílica no concreto é a sua participação na reação pozzolânica, consumindo o hidróxido de cálcio e produzindo um silicato de cálcio hidratado - C-S-H adicional, o preenchimento dos vazios entre os grãos de cimento, trabalhabilidade, aceleração na hidratação do cimento, aumento da tenacidade, resistência à compressão, cisalhamento, tração e flexão (GLEIZE, 2011).

De acordo com Said *et al.* (2012 *apud* Campos Neto 2015), a nanosílica pode se apresentar de duas formas: grãos secos compactados e em suspensão coloidal. Em grãos secos passa por procedimento de preparação especial antes de ser inserida no concreto,

para garantir completa dispersão na água de amassamento ou qualquer outro aditivo. Já em suspensão coloidal, produzida como uma suspensão estabilizada por um agente dispersor é uma forma já pronta para uso; os estudos apontam que o melhor resultado obtido é na forma de suspensão coloidal.

Segundo Quercia e Brouwers (2010), o efeito mais relatado é o impacto nas propriedades do concreto e na argamassa. Como a adição de nanosílica aumenta a densidade, porosidade e melhora a ligação entre a matriz de cimento e agregados, produzindo um concreto de alta resistência, o resultado depende do seu estado químico, como em suspensão coloidal ou em grãos compactados.

Entre as vantagens da utilização dessas adições minerais, está o fato de ser ambientalmente sustentável e, quando adicionadas ao concreto, tornam-se absorventes de energia eletromagnética e poluição, reduzindo a emissão de poluentes e conservando eficientemente a energia. A nanosílica está sendo muito usada para contribuir na resistência dos Eco-Concretos, que são misturas em que o cimento é substituído por resíduos como cinzas de lama, cinzas de lamas incineradas, cinzas volantes ou em outros materiais de resíduos suplementares. Esta mistura que gera os Eco-Concretos possui baixa resistência à compressão, isto é, compensado com a adição de nanosílica (QUERCIA; BROUWERS, 2010).

Devido à demanda de construções em concreto, é necessário abranger novos métodos e materiais a serem usados que trazem maior resistência mecânica e durabilidade nas estruturas, atingindo padrões que são necessários para melhor atender a economia, a estética, a funcionalidade, segurança e outros. Sendo assim, neste trabalho é abordada a resistência à compressão com o uso de microestruturas e nanoestruturas, através de ensaios experimentais.

O objetivo do trabalho é avaliar comparativamente a resistência mecânica do concreto através de ensaios experimentais de compressão axial para verificação da resistência em concreto convencional e em concreto com adição de minerais.

Material e métodos

Neste item, descrevem-se os materiais e ensaios experimentais de compressão axial para verificação da resistência em concreto convencional, com adição de sílica ativa e com nanosílica. Os ensaios laboratoriais e a concretagem foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade de Rio verde, localizado na cidade de Rio Verde - GO.

Os materiais constituintes na pesquisa foram: agregados miúdos (areia fina e areia grossa), grãos (diâmetro máximo característico de 12,50 mm e 19,00 mm), sendo que

foram usadas duas granulometrias diferentes, cimento CP-II-F40, sílica ativa, aditivo superplastificante (tipo II Plastol 6040), o aditivo superplastificante com nanosílica em suspensão coloidal (Silicon NS AD 400). Na Figura 1 estão as amostras dos materiais.



Figura 1 – Agregado graúdo diâmetro máximo de 19,00mm (a), agregado graúdo diâmetro máximo de 12,50mm (b), cimento CP-II-F40 (c), areia fina (d), areia grossa (e), aditivo superplastificante com nanosílica em suspensão coloidal (f), sílica ativa (g)

Fonte: Autoria própria (2017).

As caracterizações dos materiais utilizados foram feitas em laboratório, segundo as indicações das NBR NM 248 (2003), NBR NM 53 (2003), NBR NM 52 (2003), NBR NM 45

(2006), NBR NM 23 (2001). Os dados obtidos e as indicações dos fabricantes dos aditivos estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização dos agregados, cimento, sílica ativa e especificações dos aditivos

Característica	Agregados			
	Areia fina	Areia Grossa	Brita 12,50mm	Brita 19,00mm
Massa unitária (kg/cm ³)	1,39	1,63	1,62	1,65
Massa específica (kg/cm ³)	2,69	2,50	2,41	2,35
Diâmetro máximo característico (mm)	0,30	4,75	12,50	19,00
Módulo de finura	1,80	3,52	-	-
Característica	Aditivos		Cimento	Sílica ativa
	Plastol 6040	Silicon NS AD 400	CPII F40	
Fabricante	Viapol	Silicon	Ciplan	Silicon
Aspecto / cor	Líquido Castanho Claro	Líquido homogêneo cor pele	-	-
pH	5,7	3,0 ± 1,0	-	-
Massa específica (g/cm ³)	1,1	1,06 ± 0,02	3,17	2,22

Fonte: Autoria própria (2017).

O traço utilizado na dosagem foi baseado no trabalho de Campos Neto (2015), em que o traço final unitário para cada concreto dosado está especificado na Tabela 2.

Tabela 2 – Traço unitário das misturas de concreto

	Cimento	Sílica ativa	Areia fina	Areia grossa	Brita 12,5 mm	Brita 19,0 mm	Plastol 6040	Silicon NS AD 400	a/c
Traço 1	1	-	0,56	1,29	0,67	1,92	0,009	-	0,5
Traço 2	1	0,08	0,56	1,29	0,67	1,92	0,009	-	0,5
Traço 3	1	0,08	0,56	1,29	0,67	1,92	-	0,009	0,5

Fonte: Autoria própria (2017).

Foram dosados três traços conforme especificado na Tabela 1. O Traço 1 é o concreto convencional com aditivo superplastificante de pega normal, composto por policarboxilatos, usado como referência na análise dos resultados. O Traço 2 é o concreto convencional com adição de sílica ativa, juntamente com aditivo superplastificante composto por policarboxilatos. O Traço 3 é o concreto convencional com adição de sílica ativa e nanosílica à base de policarboxilato modificado com nanosílica, sendo este em forma de suspensão coloidal, a qual já vem adicionada ao aditivo superplastificante.

Para a verificação da consistência dos traços foram feitos ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump*) segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998), em que o parâmetro adotado foi para concreto bombeado, no qual o *slump* pode variar de 160 mm a 220 mm de acordo com a classe S160 da NBR 7212 (ABNT, 2012). Ao atingir esse parâmetro, o ensaio foi encerrado.

Foram moldados os corpos de prova conforme NBR 5738 (ABNT, 2015), e para cada traço foram moldados 10 corpos de prova cilíndricos de 100 mm x 200 mm, totalizando 30 corpos de prova. Depois da moldagem os corpos de prova foram cobertos com plástico filme para que ficassem protegidos da perda de água, por 24 horas ao ar livre, livre de vibrações, até a desmoldagem dos corpos de prova. As desmoldagens dos corpos de prova foram feitas após 24 horas e, em seguida eles foram levados a um tanque de cura, submersos em água, até o momento do ensaio de resistência à compressão axial.

Quando atingida a idade desejada para o rompimento dum corpo de prova, os corpos de prova foram tirados da câmara úmida e feito o capeamento usando enxofre como material da base, conforme a Figura 2.



Figura 2 – Corpos de prova com capeamento
Fonte: Autoria própria (2017).

Os resultados da resistência à compressão axial foram calculados conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007) pela Equação (1).

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2} \quad (1)$$

Em que:

f_c é a resistência à compressão, em MPA;

F é a força máxima alcançada, em N;

D é o diâmetro do corpo-de-prova, em mm.

Os ensaios de resistência à compressão axial, realizados de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007), foram feitos nas idades de 7 dias, 14 dias e 28 dias, quando foram rompidos 3 corpos de provas para cada uma das idades nos três traços.

Estas datas foram estabelecidas para obtenção de dados como: seguimento no processo de concretagem em edifício de múltiplos pavimentos, para a idade de 7 dias; retirada das escoras, para a idade de 14 dias; e a resistência final, para a idade de 28 dias.

Resultados e discussão

Foram realizados uma série de ensaios para desenvolver os resultados da comparação da resistência à compressão axial do Traço 1, 2 e 3.

A Figura 3 representa a consistência pelo abatimento do tronco de cone. Nota-se, que o Traço 1 e 2 atingiram a mesma consistência, ou seja, de 215 mm. Durante o processo de correções do Traço 1, necessitou de um tempo maior para sua execução, sendo assim, a sua trabalhabilidade aumenta e, concomitantemente, o seu “tempo de pega”, obtendo um resultado semelhante ao Traço 2.

O Traço 2 obteve menor “tempo de pega” em relação ao Traço 1, no momento da dosagem. Nele foi acrescentada sílica ativa que é um material pozzolânico, aumentando assim, a consistência do concreto e tornando-o menos fluido.

O Traço 3 obteve maior consistência em relação aos demais traços, sendo de 205 mm, aumentando a sua trabalhabilidade, pois foram adicionadas sílica ativa e nanosílica.

Portanto, as variações que ocorreram se devem as adições minerais (sílica ativa e nanosílica), ao tempo de dosagem e à temperatura no momento da concretagem. Todos estes traços se mantiveram na classe S160 da NBR 7212 (ABNT, 2012).

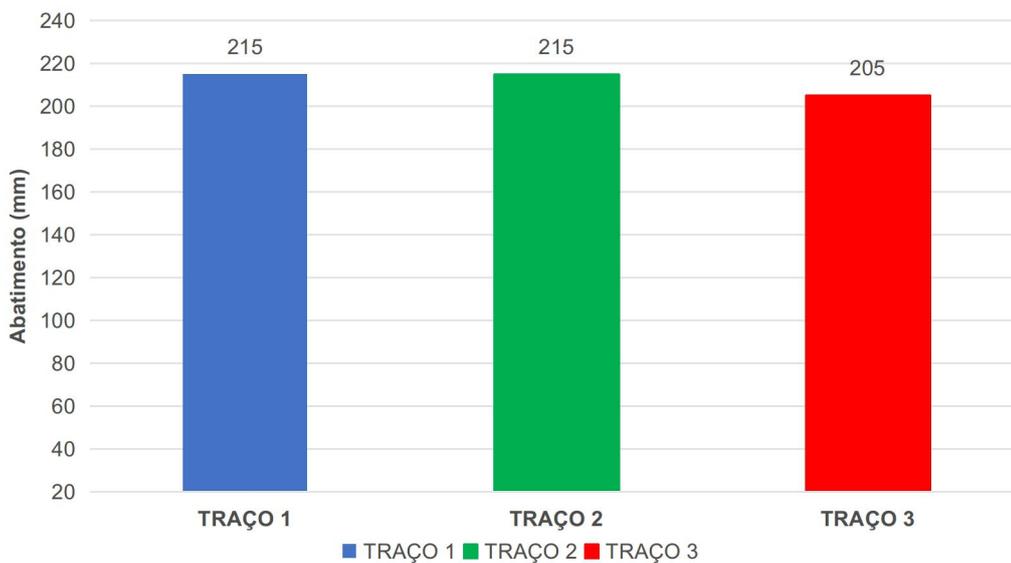


Figura 3 – Consistência das misturas

Fonte: Autoria própria (2017).

Os ensaios de resistência dos corpos de prova são apresentados na Figura 4. Os resultados da resistência à compressão axial dos Traços 1, 2 e 3 estão apresentados na Tabela 3.

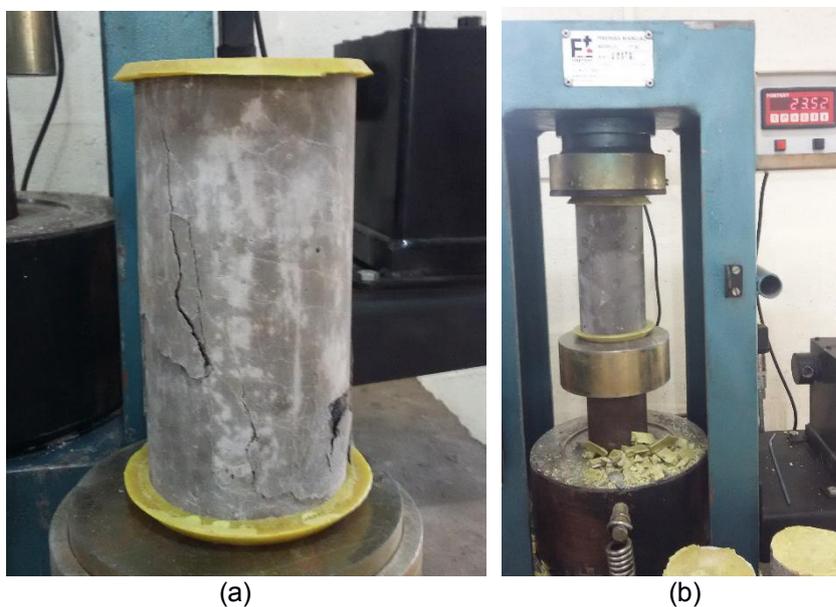


Figura 4 - Corpo de prova rompido por compressão axial (a), corpo de prova na prensa mecânica (b)

Fonte: Autoria própria (2017).

Aos 14 dias do Traço 2, foram moldados três corpos de prova para a comparação de resistência, mas devido à falha no processo de moldagem do corpo de prova, na qual a parte lateral da fôrma de PVC não foi devidamente encaixada com a parte inferior, fazendo

com que a sua altura ficasse acima de 200 mm. Por isso, foram rompidos apenas dois destes corpos de prova, conforme demonstra a Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de compressão axial do Traço 1, Traço 2 e Traço 3

	Resistência à compressão axial (MPa)		
	Idade (DIAS)		
	7	14	28
Traço 1	25,62	25,02	27,89
	23,35	27,42	28,64
	28,46	31,29	32,10
Traço 2	27,28	41,70	32,31
	34,94	42,88	33,80
	36,47	-	39,53
Traço 3	25,67	33,14	23,87
	28,13	34,69	29,37
	29,13	37,81	31,04

Fonte: Autoria própria (2017).

Ao comparar os resultados entre os traços, notam-se que o Traço 2 (com adição de sílica ativa) obteve um ganho de resistência superior ao Traço 1 (concreto referência) quando são comparados. O Traço 2 apresentou acréscimo na resistência à compressão de 28,14% aos 7 dias; 34,89% aos 14 dias e 23,15% aos 28 dias. O ganho de resistência do Traço 2 se deve ao fator de empacotamento das partículas que a sílica ativa promove, como foi usada em grãos secos, diminuiu também o consumo de cimento na mistura. Aos 14 e 28 dias obteve um maior ganho de resistência em detrimento da reação que a sílica ativa tem com o concreto. Ela retarda a reação exotérmica, ou seja, impede que a reação ocorra rapidamente. Transferindo o calor de hidratação de dentro para fora e diminuindo a permeabilidade do concreto.

Comparando o Traço 1 com o Traço 3 (concreto com aditivo incorporado com nanosílica em suspensão coloidal e sílica ativa) nota-se que também houve ganho de resistência, mas apenas nas primeiras idades. Com as adições minerais se diminui a porosidade e a permeabilidade, mas aumentou a área superficial das partículas no qual o acréscimo na resistência à compressão axial foi de 2,35% aos 7 dias e 18,94% aos 14 dias. Aos 28 dias o Traço 3 não obteve ganho de resistência, mas diminuiu quando comparado aos 14 dias.

Comparando-se o Traço 2 com o 3, o Traço 2 obteve um maior ganho de resistência à compressão axial apresentando um acréscimo de 25,20% aos 7 dias; 13,41% aos 14 dias e 27,35% aos 28 dias. Os aditivos incorporados aos dois Traços foram diferentes, sendo adicionado ao Traço 2, o Aditivo Superplastificante tipo II plastol composto por

Policarboxilatos que possui a função de reduzir a segregação e a exsudação, e ainda aumentar a coesão, este tipo de aditivo tem a característica de grande resistência inicial e final. Além disso, o policarboxilato atua como repulsões eletrostática e estérica, fazendo-se a defloculação dos grãos de cimento, na estérica forma-se longas cadeias laterais em volta da partícula do cimento, assim criando uma capa de absorção, para afastar as outras partículas de cimento (HARTMANN; HELENE, 2003). No Traço 3 foi utilizado o Aditivo Superplastificantes tipo II à base de policarboxilatos modificados com nanosílica em suspensão coloidal, e possui a característica de resistência inicial e, em idades maiores, apresenta um crescimento gradativo da resistência em detrimento da nanosílica presente no concreto. Como se verifica os resultados na figura 5, no qual o Aditivo plastol com a sílica ativa revelou índices superiores em razão da quantidade acrescentada de aditivo e o poder de repulsão que o aditivo teve nas partículas de cimento, pois no Traço 3 o fabricante não menciona a quantidade de nanosílica no aditivo superplastificante e nem a quantidade de policarboxilato. A Figura 5 demonstram os resultados dos corpos de prova de maior resistência.

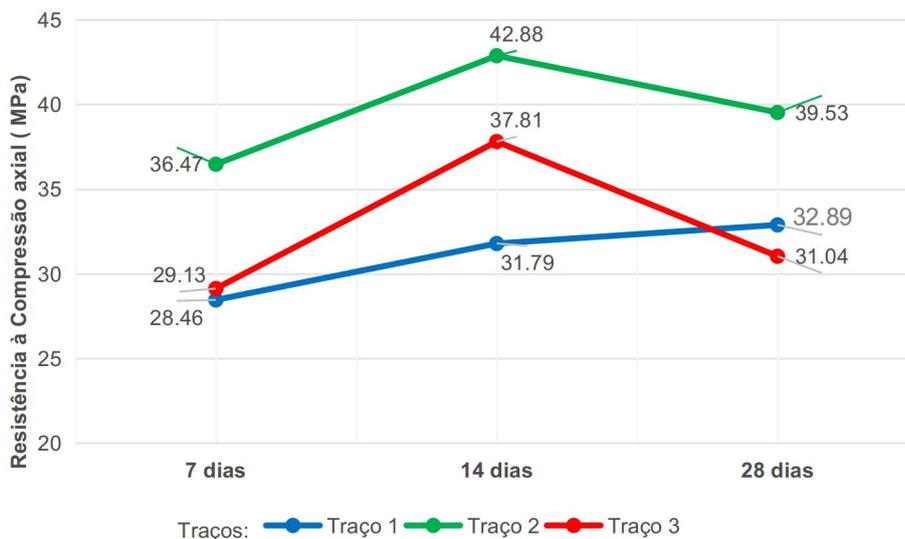


Figura 5 - Desenvolvimento da Resistência à compressão axial
Fonte: Autoria própria (2017).

Conforme mostra a Figura 5, os Traços 2 e 3 não obtiveram um ganho de resistência à compressão axial na idade 28 dias. As possíveis causas podem ter sido influenciadas por vários fatores, que nessa pesquisa foram: condições de cura, adições minerais, relação a/c (relação água/cimento), idade dos corpos de prova e capeamento de corpo de prova. As hipóteses descartadas foram: processo de moldagem dos corpos de prova, pois em todos

foram feitos pela graduanda autora desta pesquisa; o equipamento do laboratório, que foi usado o mesmo equipamento em todos os ensaios.

Conclusões

Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial mostraram que tanto a adição de sílica ativa quanto a adição de sílica ativa e nanosílica no concreto convencional conseguiram adquirir um ganho considerável de resistência nas primeiras idades, no comparativo destes dois Traços com o concreto convencional. O Traço 2 foi o concreto que obteve maior resistência em todas as idades comparando com os outros traços, demonstrando que o Traço 3 não ultrapassou a resistência do Traço 2, como era esperado. Uma das possíveis justificativas do traço 3 não ter obtido uma resistência maior que o traço 2 pode ser a quantidade de nanosílica acrescentada, as condições de cura, a/c e idade dos corpos de prova.

O diagnóstico aprofundado não foi feito, por falta de recursos e acesso a equipamentos qualificados a estas análises. Neste sentido, a pesquisa aponta para novos estudos da adição de aditivo incorporado com nanosílica em suspensão coloidal, para avaliar qual a porcentagem deste a ser acrescentada e sua relação com o concreto.

Por fim, o emprego das adições de sílica ativa e o superplastificante incorporado com nanosílica em suspensão coloidal obteve um ganho de resistência à compressão, em que essa propriedade mecânica é muito importante para obras que solicitam grande resistência e estruturas com maior vulnerabilidade de agentes agressivos como corrosão.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, pelo apoio financeiro e incentivo, ao irmão Walber Sena pela ajuda nos ensaios, ao meu noivo Adriano Rezende na ajuda nos ensaios e apoio, ao professor MSc. Tiago Ferreira Campos Neto, pela ajuda didática e orientações sobre o tema e aos amigos, à Universidade de Rio Verde (UniRV) pela disponibilização do laboratório e equipamentos utilizados na execução dos ensaios e dosagens dos concretos. À empresa Silicon Ind. E Comercio de Produtos Químicos Ltda pelo fornecimento dos produtos SILICON NS AD 400 e sílica ativa para a realização deste ensaio para a conclusão de curso.

Referências

ANDRADE, J.; TUTIKIAN, B. F. Resistencia Mécânica do Concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed) Concreto: Ciência e Tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, v. 1, p.1968, 2011.

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

_____. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 7212: Execução de concreto dosado em central – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR NM 23: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

CADIOLI, L. P.; SALLA, L. D. Nanotecnologia: um estudo sobre seu histórico, definição e principais aplicações desta inovadora tecnologia. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, Londrina, v. 11, n. 11, p. 8, 2006. Disponível em: <<http://www.pgsskroton.com.br/seer/index.php/rcext/article/view/2403/2306>>. Acesso em: 03 maio 2017.

CAMPOS NETO, T. F. Efeitos da temperatura do concreto fresco na sua trabalhabilidade. Repositório UFG, Goiânia, 20 outubro 2015. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás, 2015 p. 132. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/5208/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Tiago%20Ferreira%20Campos%20Neto%20-%202015.pdf>>. Acesso em: 04 maio 2017.

CARMO, J. B. M. D.; PORTELLA, K. F. Estudo Comparativo do Desempenho Mecânico da Sílica Ativa e do Metacaulim como Adições Químicas Mineirais em Estruturas de Concreto. Scielo, São Paulo, v. 54, n. 331, 08 outubro 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132008000300007>. Acesso em: 23 março 2017.

CASTRO, R. P. M. D. Análise Macroscópica do Efeito da Adição de Nanocerâmica ao Concreto. Biblioteca digital, Belo Horizonte, 27 fevereiro 2009. Originalmente apresentada como dissertação ao programa de pós graduação, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009, p. 101. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-8JQMER/tese_pr_pria_final_rodrigo.pdf;jsessionid=6B73099B378A29BEAA8_356CA6D33D619?sequence=1>. Acesso em: 29 abril 2017.

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.

HARTMANN, C. T; HELENE, P. R. L. Avaliação de Aditivos Superplastificantes Base Policarboxilatos destinados a Concretos de Cimento Portland. Boletim Técnico da escola Politécnica da USP. São Paulo: EPUSP, p.22, 2003. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00330.pdf>. Acesso em: 10 dezembro 2017.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

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: <https://www.researchgate.net/publication/257029738_Application_of_nano-silica_nS_in_concrete_mixtures>. Acesso em: 04 maio 2017.

TECNOSIL - Silíca ativa, 2017a. Disponível em: < <http://www.tecnosilbr.com.br/tecnonews-inovacao/>>. Acesso em: 05 dezembro 2017.

TECNOSIL - Silíca ativa, 2017b. Disponível em: <<http://www.tecnosilbr.com.br/produtos/>>. Acesso em: 04 maio 2017.

TECNOSIL - Silíca Ativa, 2017c. Disponível em: <<http://www.tecnosilbr.com.br/revista-solucoes-tecnosil/>>. Acesso em: 31 março 2017.