

Avaliação das Propriedades Mecânicas de Concretos de Pós Reativos com uso de Nanosílica

Coppetti L. A. *, Wilges, M. B., Külzer, P. N. J., Soardi A., Sokolovicz B. C.

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Santo Ângelo, Rio Grande do Sul, Brasil.
E-mails: laura-alpe@hotmail.com, wilgesmatheus@gmail.com, pnjohannk@gmail.com,
alessandro.soardi@hotmail.com, boriscs@san.uri.br.

Resumo

Com o grande avanço tecnológico na construção civil foi possível obter concretos com altas resistências, durabilidade, ductilidade e energia de fratura, pontos importantes para obras que necessitam estas propriedades, contexto do qual surge o concreto de pós reativos. Logo, o objetivo da presente pesquisa é verificar a utilização da nanosílica como adição mineral para este concreto, e verificar sua influência nas propriedades mecânicas do mesmo através de ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão. Foram moldados corpos de prova dosados com o auxílio do Software EMMA da empresa Elkem, considerando o conceito de empacotamento de partículas, onde os mesmos foram baseados no traço proposto por Richard e Cheyrezy (1995), sendo um o traço referência e os demais com adição de nanosílica nas proporções de 1%, 2%, 3% e 4% respectivamente. Todos os traços contêm fibra de aço de 7,5 mm de diâmetro. Todos os traços estudados apresentaram elevadas resistências a compressão e à tração. Porém foi verificado um efeito colateral no uso de fibras metálicas, pois além de apresentar a superfície lisa, seu diâmetro e comprimento eram superiores ao recomendado, promovendo uma zona frágil na interface concreto-fibras.

Palavras Chave – Concreto de pós reativos, Nanosílica, Adição mineral, Energia de fratura, Resistência à tração na flexão.

Abstract

With the great technological advance in the civil construction it was possible to obtain concretes with high resistances, durability, ductility and fracture energy, important points for works that need these properties, in which context the concrete of reactive powders appears. Therefore, the aim of the present research is to verify the use of nanosilica as a mineral addition for this concrete, and verify its influence on the mechanical properties of the nanosilica through tests of resistance to axial compression, tensile strength in flexion, diametral compression strength and test of modulus of elasticity. The samples were molded using the EMMA software, considering the concept of particle packing, where they were based on the trait proposed by Richard and Cheyrezy (1995), one being the reference and the others with addition of nanosilica in the proportions of 1%, 2%, 3% and 4% respectively, and both traces contain steel fiber of 7.5 mm in diameter. Both traces presented high values for the tests performed, highlighting the tensile strength in the flexion.

Keywords – Reactive power concrete, Nanosilica, Mineral Addition, Fracture Energy, Tensile strenght in flexion.

1. Introdução

É fato notório e consumado que vivemos em uma época de constantes evoluções, onde tais avanços ocorrem em uma velocidade jamais antes vista pela humanidade. Diante deste contexto global, a engenharia e ciência dos materiais se mostra como um ambiente fértil para pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias. No que tange a materiais de construção temos como principal avanço o advento de materiais de ultra alto desempenho, tendo como principal objeto de estudo o concreto de pós reativos (CPR).

O concreto de pós reativos como conhecemos hoje foi desenvolvido na França e no Canadá na década de 90, oriundo do esforço simultâneo de diversos pesquisadores da área do concreto. Segundo DE LAHARD e SEDREL (1994) [1] graças ao uso de aditivos superplastificantes e sílica ativa foi possível produzir concretos que superassem resistência da ordem de 150MPa, tornando o concreto de ultra alto desempenho como o material compósito a base de cimento com maior resistência conhecido pelo homem.

De acordo com RICHARD e CHEYREZY (1995) [2] o CPR é obtido através de princípios básicos tais como baixíssima relação água/aglomerante, aumento da homogeneidade através da ausência de agregados graúdos, aumento da densidade relativa, além do uso de fibras para aumentar a ductilidade e tenacidade do compósito.

Do ponto de vista macroestrutural o CPR se difere dos demais tipos de concreto, pois sua relação água/aglomerante é consideravelmente inferior, além disso nota-se a ausência de agregado graúdo, o que lhe concede uma homogeneidade superior aos concretos convencionais. Assim, torna-se estritamente necessário realizar um estudo da granulometria dos materiais envolvidos no processo, com o intuito de aumentar a densidade relativa do compósito, e como consequência diminuir os vazios e falhas da mistura. O agregado miúdo deve ser preferivelmente de quartzo, devido a boa resistência da rocha mãe. No que diz respeito ao cimento, é preferível um cimento não tão fino com o intuito de reduzir a demanda de água, e ressalta-se a importância da escolha por um cimento o mais puro possível, e preferencialmente com um baixo teor de C3A, devido ao fato de que das fases do cimento é a que apresenta maior reatividade com a água liberando grande quantidade de calor (RICHARD e CHEYREZY, 1995).

Segundo Aitcin (2008) [3] as matrizes de CPR apresentam comportamento puramente elástico e ruptura frágil, se aproximando de materiais cerâmicos no que tange ao seu comportamento mecânico.

Diante da demanda atual, novos produtos baseados em alta tecnologia estão sendo empregados na construção civil com o intuito de otimizar as propriedades dos materiais já existentes. Dentre eles podemos citar os plastificantes de última geração a base de éter policarboxílico, que reduzem consideravelmente a demanda de água para uma mesma trabalhabilidade.

Outro material que possibilita explorar novos horizontes para os concretos é a nanosílica, que nada mais é que sílica amorfa altamente reativa, porém com um tamanho reduzido, conferindo ao compósito maior resistência, uma melhor durabilidade e uma maior coesão quando comparado ao concreto convencional. O segredo da nanosílica está no diâmetro e na esfericidade de suas partículas, uma vez que seu tamanho médio vai de 3 a 200nm, enquanto a sílica ativa convencional possui um diâmetro médio de 10 μ m.

Para poder trabalhar com um material tão fino quanto este, a sílica já vem dispersa em um superplastificante a base de policarboxilato, sendo que além das propriedades mecânicas superiores, esse aditivo também auxilia na trabalhabilidade e na manutenção das propriedades da mesma.

Diante de tal contexto, o presente trabalho tem por objetivo verificar a influência da nanosílica sobre a resistência a tração e a compressão de concretos de pós reativos. Com o intuito de melhorar a ductilidade são empregadas fibras metálicas no concreto, de forma que sua quantidade não ultrapasse 2,5% em volume.

2. Materiais e Métodos

2.1. Cimento

O cimento utilizado foi o Cimento Branco Estrutural com resistência característica de 52,5 MPa, da marca CEMEX. Apresentou bom comportamento no ensaio do funil de Marsh, conferindo boa trabalhabilidade à mistura mesmo em fatores a/c muito baixos. A Tabela 1 apresenta algumas propriedades físicas do cimento.

Tabela 1. Características do Cimento Branco

Resistência à compressão (MPa)				Início de Pega (min)	Fim de Pega (min)	Finura Blaine (cm ² /g)
24h	3 dias	7 dias	28 dias			
28	36,1	45,1	53,1	59	203	4150

Fonte: CEMEX.

O diâmetro médio das partículas é de 20,86 µm, a Fig. 1 mostra o histograma da distribuição granulométrica do material.

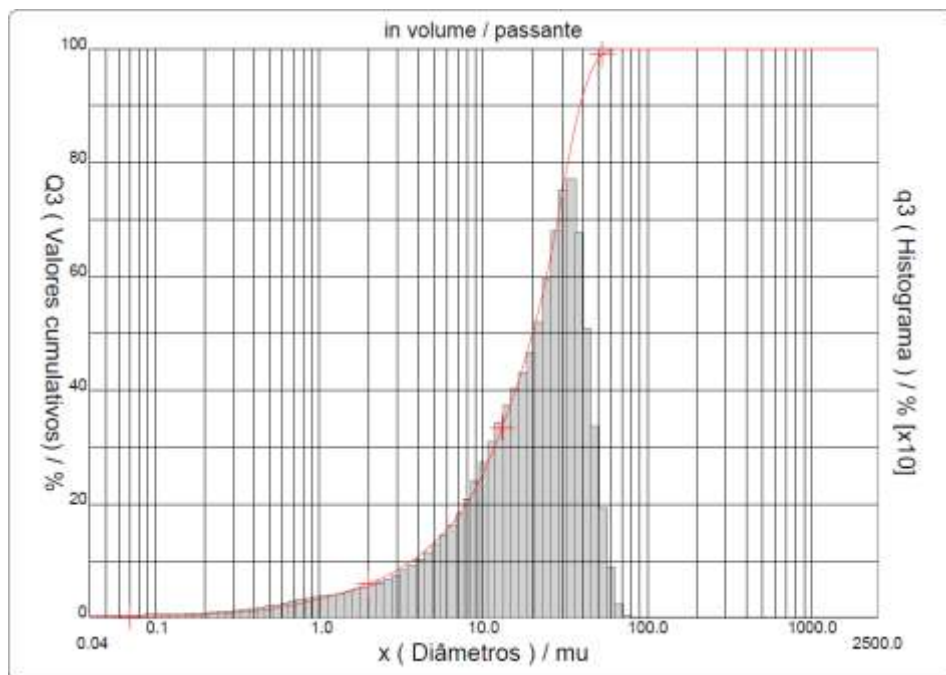


Fig. 1. Granulometria a laser do cimento branco

2.2. Sílica Ativa

A Sílica ativa utilizada nessa pesquisa é proveniente da empresa Adsil, sendo uma sílica ativa líquida, com um teor de SiO₃ de aproximadamente 95% com uma massa específica de 1,38g/cm³ com diâmetro das partículas entre 10nm a 1µm.

2.3. Água

A água utilizada na produção do CPR é proveniente da rede de distribuição da empresa de saneamento básico local, sendo composta inteiramente por gelo triturado manualmente.

2.4. Areia Industrial

A areia utilizada foi fornecida pela empresa Mineração Jundu. Possui 0,28 mm de diâmetro médio dos grãos. Apresenta massa unitária de 1,45 kg/dm³ e massa específica de 2,64 kg/dm³.

A Tabela 2 apresenta a análise granulométrica da areia, a Tabela 3 apresenta a análise química da areia, bem como a Fig. 2 apresenta a granulometria a laser da areia industrial. Ambas tabelas foram adaptadas de informações da Mineração Jundu.

Tabela 2. Granulometria da areia industrial

Peneira (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
0,825	0,0	0,0
0,600	0,4	0,4
0,425	7,5	7,9
0,300	29,1	37,0
0,212	35,5	72,5
0,150	20,4	92,9
0,106	6,6	99,5
0,075	0,4	99,9
0,053	0,1	100,0
Fundo	0,0	100,0

Tabela 3. Granulometria da areia industrial

%Fe ₂ O ₃	%Al ₂ O ₃	%TiO ₂	%MnO ₂	%ZrO ₂	%Perda ao fogo	%SiO ₂	pH
0,25	0,12	0,055	0,001	0,013	0,14	99,42	6,7

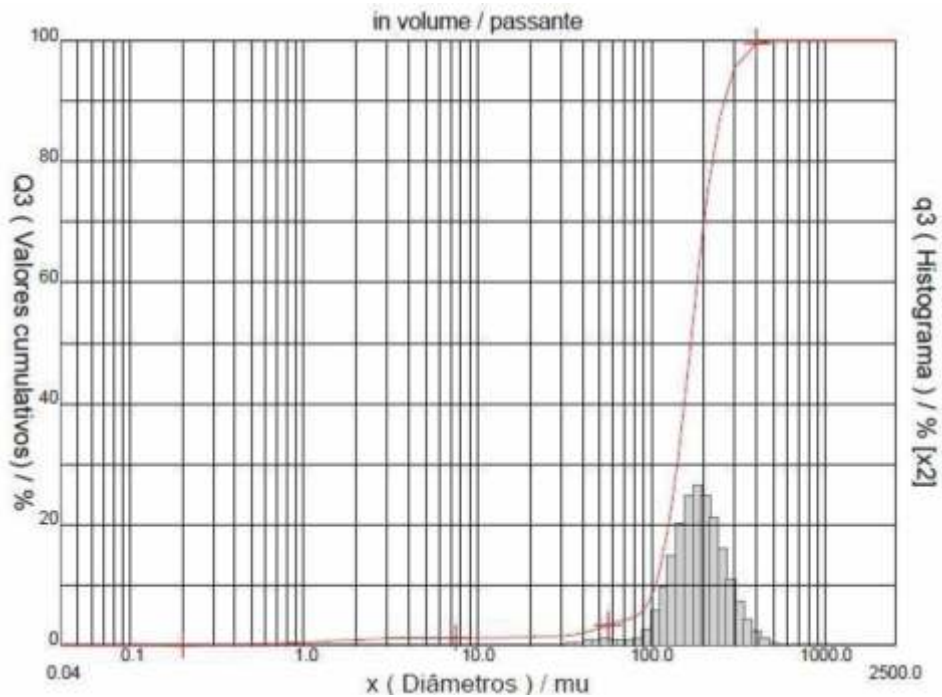


Fig. 2. Granulometria a laser da areia industrial

2.5. *Pó de Quartzo*

O pó de quartzo a ser utilizado também é proveniente da Mineração Jundu, que o comercializa com o nome Sílica Moída. A análise granulométrica está presente na Tabela 4 e a Tabela 5 apresenta a análise química do pó de quartzo.

Tabela 4. Análise granulométrica do pó de quartzo

Peneiras ASTM E-11	Abertura (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
100	0,150	0,00	0,00
140	0,106	0,06	0,06
200	0,075	0,045	0,51
325	0,045	7,00	7,51
<325	<0,045	92,49	100,00

Fonte: Mineração Jundu

Tabela 5: Análise química do pó de quartzo

%Fe ₂ O ₃	%Al ₂ O ₃	%TiO ₂	%P.F.	%SiO ₂
0,025	0,057	0,02	0,11	99,73

Fonte: Mineração Jundu

O diâmetro médio do material foi obtido através do ensaio de granulometria a laser, sendo seu valor 15,33 μm e sua distribuição demonstrada na Fig. 3.

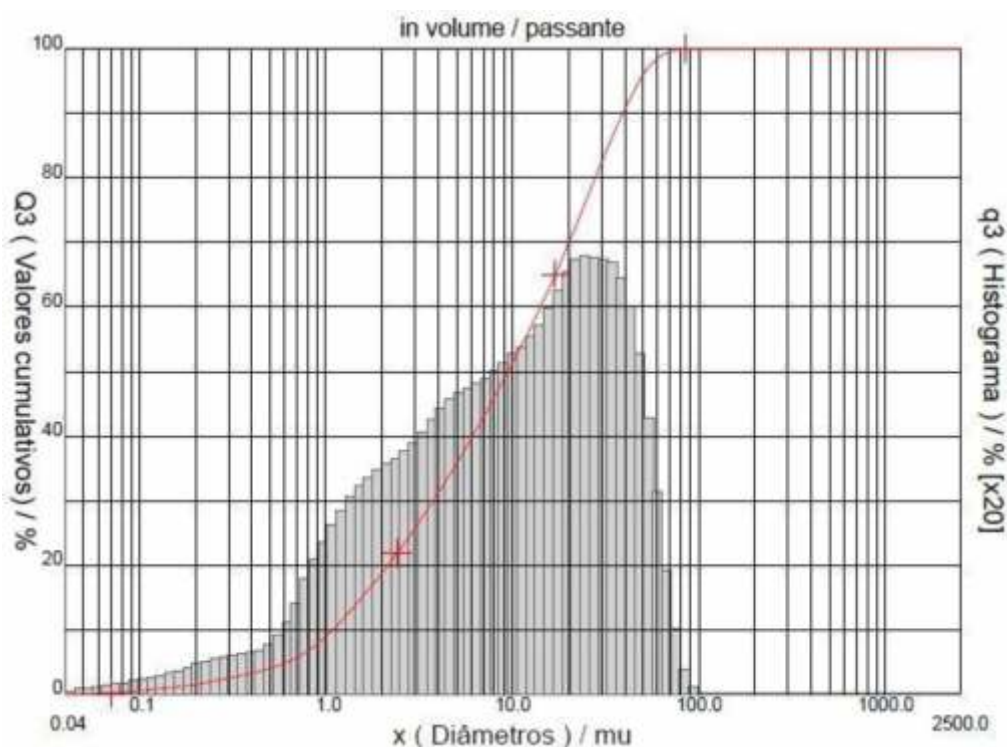


Fig. 3. Granulometria a laser pó de quartzo

2.6. Superplastificante

O produto empregado nessa pesquisa foi um superplastificante cujo nome comercial é TecFlow 8000, o mesmo é fabricado pela empresa Rheotec Aditivos de Concreto da marca GRACE. O manual do produto especifica que é um superplastificante de terceira geração feito com base em uma cadeia de éter carboxílico modificado. Sua massa específica está entre 1,080 g/cm^3 , e teor de sólidos de 49%.

2.7. Nanosílica

O material utilizado foi a Silicon ns high 200 que se trata de um aditivo líquido superplastificante à base de policarboxilato modificado com nanosílica estabilizada. A nanosílica estabilizada dispersa homogeneamente no concreto fresco gera uma rede de produtos de reação similares aos do cimento Portland, mas com propriedades físico-mecânicas e químicas melhoradas.

2.8. Dosagem do Concreto de Pós Reativos (CPR)

O traço utilizado na presente pesquisa foi desenvolvido através de uma adaptação do traço desenvolvido por Richard e Cheyrezy em seu trabalho referência sobre o CPR e suas propriedades. Segue na Tabela 6 os materiais e suas quantidades.

Tabela 6. Tabela Adaptada de Traço Richard e Cheyrezy (1995).

	CPR200				CPR800	
	Sem Fibra		Com fibra		Agregados de Silica	Agregados de Aço
Cimento Portland	1	1	1	1	1	1
Sílica Ativa	0,25	0,23	0,25	0,23	0,23	0,23
Areia 150-600	1,1	1,1	1,1	1,1	0,5	-
Pó de Quartzo =10µm	-	0,39	0,016	0,39	0,39	0,39
Superplastificante (Poliacrilato)	0,016	0,019	0,175	0,019	0,019	0,019
Fibra de aço L=12mm	-	-	-	0,175	-	-
Fibra de aço L=3mm	-	-	-	-	0,63	0,63
Agregado de aço<800 µm	-	-	-	-	-	1,49
Água	0,15	0,17	0,17	0,19	0,19	0,19
Pressão de Compactação	-	-	-	-	50MPa	50MPa
Temperatura de Tratamento Térmico	20°C	90°C	20°C	90°C	250-400°C	250-400°C

Fonte: Richard e Cheyrezy (1995).

A dosagem resultante e utilizada no presente trabalho segue na Tabela 7 onde são apresentados todos os materiais descritos no item anterior.

Tabela 7. Traço de CPR utilizado

Materiais	Traço 0%	Traço 1%	Traço 2%	Traço 3%	Traço 4%
Cimento Branco	1	1	1	1	1
Sílica Líquida	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195
Areia Industrial	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Pó de Quartzo	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Fibra Metálica	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Nanosílica	0	0,01	0,02	0,03	0,04
Superplastificante	0,04	0,03	0,02	0,01	0
Água	0,0875	0,0875	0,0875	0,0875	0,0875

2.9. Moldagem dos Corpos de Prova

Para o presente trabalho foram confeccionados corpos de prova 5x10 (cm) para o ensaio de resistência a compressão axial, e corpos de prova prismáticos 4x4x16 (cm) para o ensaio de resistência à tração de argamassa. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados aos 7, 14 e 28 dias, sendo o ensaio de tração na flexão realizado aos 28 dias de cura.

Para todos os traços foi realizado o mesmo processo de moldagem, que consistiu em realizar uma pré-homogeneização de todos os materiais secos e em seguida adicionar o gelo, a sílica líquida, o superplastificante e a nanosílica. Os mesmos foram misturados manualmente por cerca de 3 minutos, e após verificar o aspecto visual, foram levados até a argamassadeira planetária por

aproximadamente 15 minutos. Quando a mistura atingiu a trabalhabilidade desejada foram adicionadas as fibras metálicas.

Após o término da moldagem todos os corpos de prova foram vedados e colocados dentro da cura úmida, onde permaneceram por 24 horas. Em seguida os mesmos foram desmoldados e imersos em água até a data prevista para ruptura.

3. Resultados e Discussões

Seguem nas Tabelas 8, 9, 10, 11 e 12 os valores de resistência a compressão axial segundo a norma NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos [4]; e os valores de resistência à tração na flexão de acordo com a norma NBR 7222:2011 – Concreto e Argamassa – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos-de-Prova Cilíndricos [5].

Foi possível perceber uma pequena variação nos resultados de resistência à compressão, fato já esperado, uma vez que devido à nanosílica estabilizada apresentar diâmetro muito inferior aos demais materiais, a mesma apresenta maior contribuição na resistência à tração que à compressão.

No que tange a resistência a tração se verificou pequena variação devido ao grande volume de fibras utilizado, de forma que a nanosílica teve pouca influência nos resultados apresentados. Porém os valores obtidos no presente trabalho foram inferiores aos registrados na literatura, e a explicação para isto está na não utilização da cura térmica devido ao diâmetro e comprimento elevado das fibras para utilização em concreto de pós reativos. O uso de cura em temperaturas elevadas aliado ao uso das fibras poderia causar fissuração interna pois o coeficiente térmico dos materiais é diferente.

Tabela 8. Resistência à compressão e à tração para o traço com 0% de substituição

Idades	Traço 0%			
	Resistência à compressão		Resistência à tração na flexão	
	MPa	KN	KN	MPa
7 dias	93,89	184,3526	-	-
14 dias	124,97	245,378	-	-
28 dias	137,495	269,9708	9,5333	22,38

Tabela 9. Resistência à compressão e à tração na flexão para o traço com 1%

Traço 1%				
Idades	Resistência à compressão		Resistência à tração na flexão	
	MPa	KN	KN	MPa
7 dias	94,985	186,5026	-	-
14 dias	120,53	236,6601	-	-
28 dias	135,08	265,229	8,4666	20,8359

Tabela 10. Resistência à compressão e à tração na flexão para o traço com 2%

Traço 2%				
Idades	Resistência à compressão		Resistência à tração na flexão	
	MPa	KN	KN	MPa
7 dias	101,04	198,3916	-	-
14 dias	121,125	237,8284	-	-
28 dias	135,05	265,1701	11,02	25,8281

Tabela 11. Resistência à compressão e à tração na flexão para o traço com 3%

Traço 3%				
Idades	Resistência à compressão		Resistência à tração na flexão	
	MPa	KN	MPa	MPa
7 dias	96,04	188,5741	-	-
14 dias	123,495	242,4819	-	-
28 dias	139,305	273,5247	10,92	25,59375

Tabela 12. Resistência à compressão e à tração na flexão para o traço com 4%

Traço 4%				
Idades	Resistência à compressão		Resistência à tração na flexão	
	MPa	KN	KN	MPa
7 dias	93,58	183,74	-	-
14 dias	122,11	239,76	-	-
28 dias	131,275	257,76	9,42	22,07

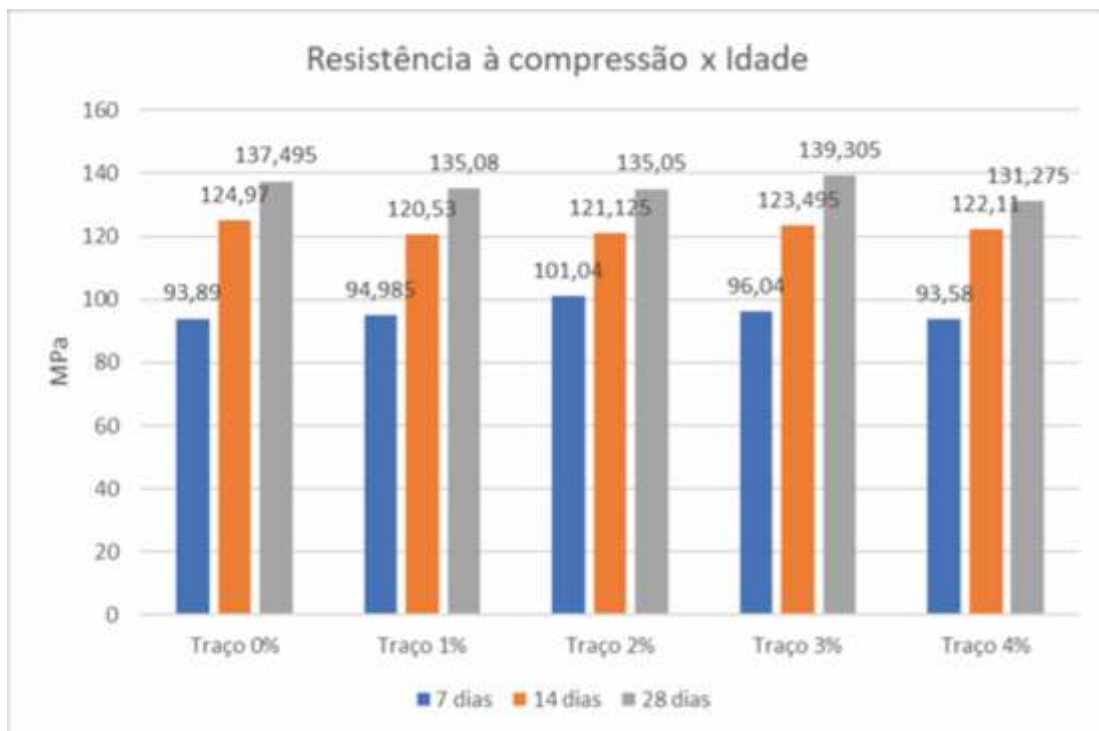


Fig. 4. Comparativo entre as resistências à compressão de acordo o teor de nanosílica utilizado.



Fig. 5. Comparativo entre os valores de resistência à tração na flexão de acordo com o teor de nanosílica utilizado.

4. Conclusões

A abrangência e a constante necessidade de ações advindas da área da engenharia civil fazem com que a arte de construir passe por constante processo de evolução e revisão, seja em âmbito de cálculos, metodologias construtivas como também nos materiais de construção utilizados, sendo estes, na maioria das vezes, o campo de maior evolução com o passar dos anos.

Assim, o CPR veio com o objetivo de superar os materiais de ultra alto desempenho existentes no mercado, e com o incremento de fibras, aumentar a tenacidade, a ductilidade, resistência e durabilidade. Juntamente com as boas propriedades da nanosílica, o presente trabalho propôs verificar a influência da nanosílica sobre a resistência a tração e a compressão de concretos de pós reativos.

Logo, confirmou-se a elevada resistência à tração e à compressão que este revolucionário compósito possui, além de demonstrar a aplicabilidade da nanosílica estabilizada como aditivo químico com o intuito de melhorar ainda mais as propriedades do concreto.

O CPR vem se mostrando ao longo da última década como a evolução em termos de resistência à compressão e durabilidade, porém pouco se sabe ainda sobre a cinética das reações que ocorrem devido a uma relação água/cimento tão baixa, e tão pouco sobre qual o potencial real deste material e como utilizá-lo para deixar de ser algo de estudo apenas acadêmico para ser utilizado de maneira mais ampla pela indústria.

Referências

- [2] De Lahard, F e Sedran, T. Cement and Concrete Research, Vol. 24, No. 6, pp. 997-1009, 1994
- [3] Richard, P.,Cheyrezy, M, Composition of Reactive Powder Concretes. Cement and Concrete Research. V. 25, n. 7. P.1501-1511.
- [4] Aitin,P.C. Concreto de Alto Desempenho. São Paulo: Pini, 2000.
- [5] ABNT NBR 5739: concreto – ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [6] ABNT NBR 7222: argamassa e concreto – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.