AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COMPÓSITO CIMENTÍCIO AVANÇADO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE FIBRAS DE VIDRO

CHRIST, Roberto[1], SCHAFER, Mauricio[2], QUININO, Uziel C. M. [3], TUTIKIAN, Bernardo F. [4]
[1] UNISINOS , ITT Performance – Eng. Civil, Mestrando, e-mail: rchrist@unisinos.br
[2] UNISINOS , ITT Performance – Eng. Civil, Mestrando, e-mail: mauschafer@unisinos.br
[3] UNISINOS, ITT Performance – Prof. MSc. Email: uziel.quinino@gmail.com
[4] UNISINOS , ITT Performance, - Prof. Doutor. e-mail: bftutikian@unisinos.br

RESUMO

Na medida em que os materiais de construção se evoluem para atender as demandas na construção civil, novas tecnologias são empregadas. Pesquisas direcionadas ao desenvolvimento de novos compósitos cimentícios a base de pós reativos – CPR - vem sendo investigado de modo mais intenso em diversos países, visando à minimização das potenciais manifestações patológicas que, eventualmente, surgem nos elementos com essa constituição.
Faz-se necessário, então, identificar as principais características desta matriz, com o intuito de aprimorá-la e, consequentemente, desenvolver um compósito mais eficiente, comparado às propriedades de materiais de construção convencionais. Sabe-se, que estes compósitos cimentícios apresentam massa específica maior, com baixa porosidade e absorção capilar reduzida. Tais aspectos colaboram para uma resistência à compressão acima de 180 MPa. Entretanto, como toda e qualquer matriz frágil formada a partir da união de agregados, aglomerantes e água, a tensão resistente à tração é muito baixa. Na tentativa de suprir essa deficiência, adicionar uma mistura hibrida de fibras – aço e polipropileno - possibilita um acrécimo significativo na resistência à tração, podendo atingir um patamar de aproximadamente 45 MPa. O compósito cimentícios desenvolvido neste estudo é constituído por partículas, cujo diâmetro é inferior a 0,6 mm. Além disso, para garantir a composição esperada do produto final, adotou-se o método de empacotamento de partículas, visto que é desejável o mínimo de vazios possível na mistura. Com base nestas considerações, o presente trabalho objetiva avaliar o desempenho mecânico, bem como analisar as condições de permeabilidade do compósito. Vale ressaltar que o composto é resultante da adição parcial de resíduo da produção de dutos com material polimérico e fibras de vidro.

PALAVRAS CHAVE: Compósito cimenticio de alto desempenho; Concretos de pós reativos; Concreto de ultra alto desempenho.

ABSTRACT

While the building materials are improved to feed the demands in construction, new technologies are utilized. Research directed to the development of new cementitious composites based on reactive powder - CPR - has been investigated more intensively in many countries, in order to minimize the potential of pathological manifestations that eventually arise in the elements with this constitution. It is necessary them, identify the main chacarteristics of this matrix, in order to improve it, and consequently to develop a more efficient composite compared to the properties of conventional building materials. It is known that these cementitious composites exhibit greater density, with low porosity and reduced capillary absorption. These features cooperate for compressive strength above 180 MPa. However, as any brittle matrix formed from the union of aggregates, binders and water, the resistant tensile stress is very low. In order to fill this deficienty, an hybrid blend of fibers- Steel and polypropylene- was added enabling a significant grown in tensile strength, reaching values of approximately 45 MPa. The cementitious composites developed in this study consists of particles whose diameter is less than 0.6 mm. Furthermore, to ensure the expected composition of the final product, were adopted the method of particle packing, whereas the minimum possible voids in the mixture is desirable. Based on these considerations, the present work aims to evaluate the mechanical performance, and analyze the conditions of permeability of the composite. It is noteworthy that the resulting compound is the partial sum of the residue from the production of products with polymeric material and glass fibers.

Keywords: Reactive powder concrete, ultra high performance concrete, high performance cementitious composites.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos o desenvolvimento de novos produtos a base de cimento vem sendo largamente estudado. As misturas que incorporam e até substituem parcialmente o cimento, estão sendo desenvolvidas e estudadas a fim de proporcionar ao material, por exemplo, elevadas resistência mecânica e durabilidade.

Este desenvolvimento de novos concretos faz surgir uma nova "ciência do concreto", que passa a analisar a micro e nanoestrutura do material e assim obter respostas muitas vezes não identificadas do concreto. Estes concretos estão sendo chamados, no meio acadêmico de concretos de alto desempenho. O surgimento deste novo material ocorreu por volta do ano de 1990 e foi desenvolvido por Meht & Aïtcin, este tipo de concreto apresenta um comportamento durante a sua fase de utilização, patamar superior frente ao concreto convencional (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011).

Entre os objetivos do desenvolvimento destes materiais podem ser citados: redução da seção das peças sem que seja afetada a capacidade portante de carga, acréscimo na expectativa de durabilidade do material, entre outros.

Para obtenção destes materiais, conta-se geralmente com a utilização de agregados que possibilitem compactações ótimas, tem-se a redução do consumo de água viabilizada pela utilização de aditivos super ou hiperplastificantes, aliados geralmente a aplicação de pressão no estado fresco e por vezes com a cura em condições elevadas de temperatura, reduzindo os vazios e garantindo características como resistências mecânicas elevadas, resistências à ataques de fontes externas e baixa permeabilidade, características estas abordadas por Richard e Cheyrezy (1995). O material gerado possui características muito satisfatórias de resistência à compressão e resistência à tração, pode ser ampliada com a utilização de fibras.

Como ponto negativo da dosagem e da utilização destes materiais, tem-se a crítica ao elevado consumo de cimento, o que acarreta num acréscimo do preço de produção do material, afetando ainda, segundo Cremonini *et al* (2001) *apud* Mehta (1999), na menor absorção das deformações do material, tendendo desta forma a fissuração, devido às retrações térmicas e químicas e do módulo de elasticidade.

Os pesquisadores do mundo inteiro têm como grande desafio tornar a reciclagem de materiais no mínimo, auto-sustentável, onde sob este ponto de vista pode-se observar que nem sempre a reciclagem de um dado material é lucrativo e ou viável tecnicamente devido a baixa durabilidade do material com a incorporação destes resíduos (PINTO, 2002).

A utilização de materiais compósitos poliméricos tem crescido continuamente desde que a tecnologia foi introduzida no século XX, na década de 60. Sendo utilizado em produtos como banheiras, reservatório de agua potável, partes automotivas entre outros (UNSER, 1996).

A geração de resíduos de material polimérico tem a contribuição de fatores como à falta de treinamento do operador, especialmente em processos de produção manuais, manuseio e utilização inadequada das matérias-primas, projeto inadequado do molde e eventuais reparos na peça pronta gerando assim um resíduo na fase de acabamento (PINTO, 2002).

A saber-se que a construção civil gera grandes volumes de resíduos, é de grande interesse que o setor possa minimizar esta geração com a utilização de resíduos como matérias primas, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho mecânico do compósito cimentício com o emprego de um resíduo oriundo da indústria de produção de dutos que são produzidos com

resina epóxi e fibras de vidro, onde estes são destinados à condução de variados do petróleo, em formato de partículas de pó.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

2.1.1. Cimento

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o cimento Portland de alta resistência inicial, CP V-ARI. Devido a sua elevada resistência inicial o que proporciona uma rápida geração de hidróxido de cálcio, antecipando a reação da sílica ativa e cinza volante, presentes na mistura. A Figura 1 apresenta a distribuição granulométrica do cimento utilizado, onde para a obtenção deste resultado foi utilizado a granulometria à lazer.

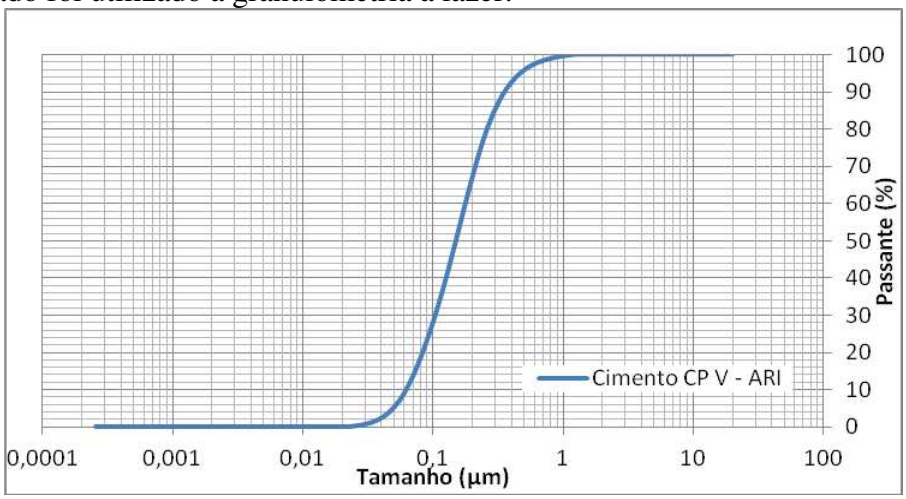

Figura 1 - Distribuição granulométrica do cimento.

2.1.2. Sílica

A sílica utilizada nesta pesquisa é de casca de arroz, proveniente da queima de biomassa em forno de leito fluidizado. Sua massa específica é de 2,13 g/cm³. A sua distribuição granulométrica está apresentada na Figura 2.

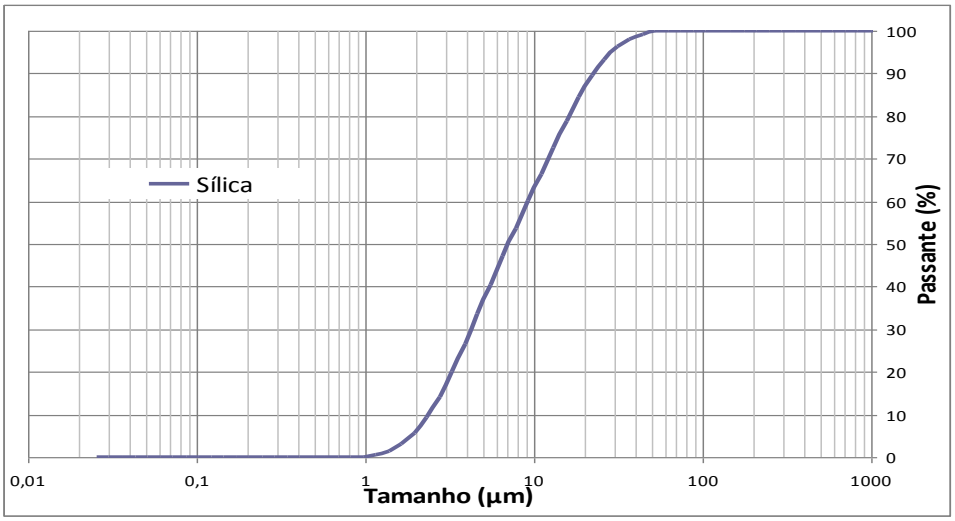

Figura 2 - Distribuição granulométrica da sílica.

2.1.3. Cinza Volante

A cinza volante utilizada nesta pesquisa tem origem na unidade geradora de vapor de uma empresa fabricante de papel, localizada no estado do Rio Grande do Sul – Brasil. A distribuição granulométrica do material esta apresentada na Figura 3.

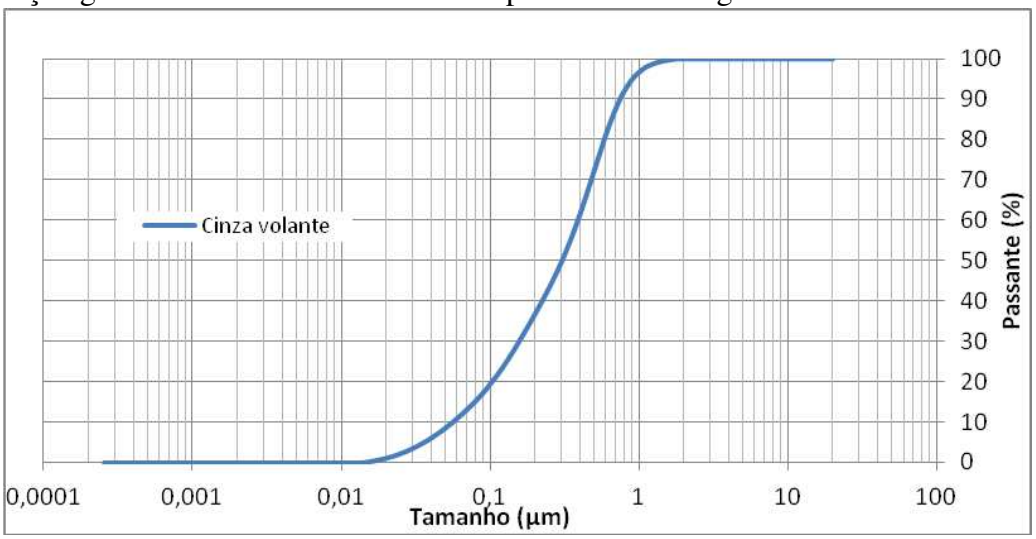

Figura 3 - Distribuição granulométrica da cinza volante.

2.1.4. Areias

Para a realização deste trabalho foram utilizadas dois tipos de areia, uma fina normalmente utilizada no mercado para acabamento final em rebocos e outra utilizada para fundição de peças metálicas, ambas encontradas na região da grande Porto Alegre.
Foi realizado o ensaio de granulometria nas duas areias, utilizando o método prescrito pela norma ABNT NBR NM 248 (2003), onde o resultado esta apresentado na Figura 4.

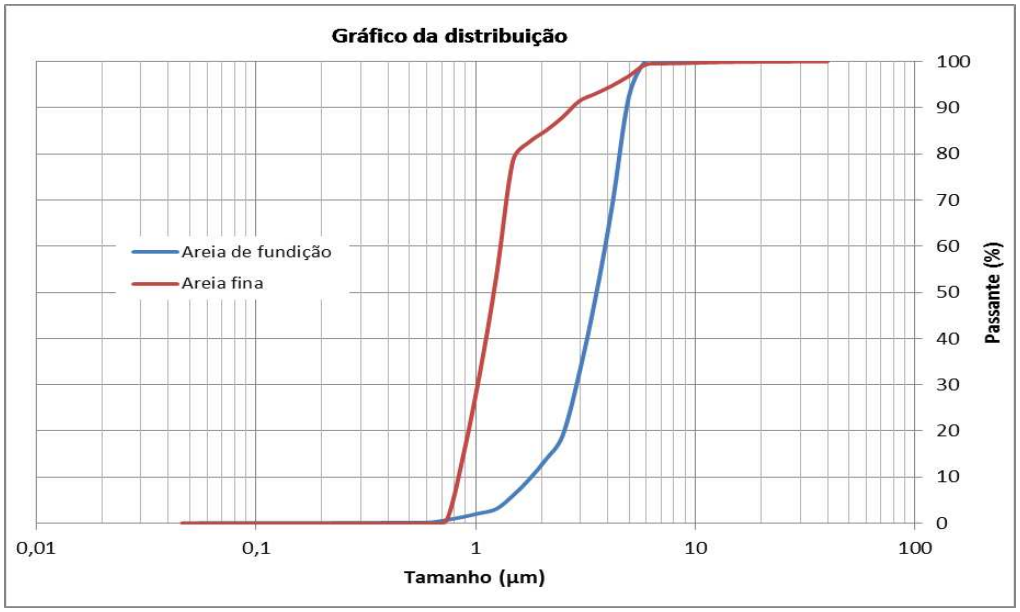

Figura 4 – Distribuição granulométrica das areias.

2.1.5. Aditivo

Para a realização deste trabalho foi utilizado um superplastificante a base de policarboxilatos. O aditivo é constituído por polímeros de éter carboxílico modificado, apresenta um teor de sólidos de 52%, uma coloração amarelo turvo com odor característico, peso especifico de 1,1 g/cm^3, pH de 5,5 e é totalmente solúvel em água.

2.2 Traço

Através da distribuição granulométrica de cada material, foi determinado o traço com auxílio de um programa computacional EMMA Miz Analyzer que utiliza o método de empacotamento referido. A proporção com o menor índice de vazios, ou seja, com o melhor empacotamento foi o traço utilizado neste trabalho. Na Tabela 1 está descrito o traço utilizado e quantidades dos materiais.

Tabela 1 – Traço unitário e quantitativo.

Materiais	Traço Unitário	Quantidade Total Utilizada (Kg)
Cimento CPV - ARI	1,00	12,11
Cinza Volante	1,06	12,90
Silica Ativa	0,79	9,56
Areia Fina	1,07	12,95
Areia	1,03	12,47

2.3 Métodos

Com o intuito de verificar o desempenho mecânico do resíduo quando inserido ao CPR, foi produzidas três dosagens, uma como referência, e as demais com 5 e 10% de resíduo sobre a quantidade de cimento em massa. Os ensaios realizados foram de resistência à compressão axial de acordo com ABNT NBR 5739 (2007), e de resistência à tração por compressão diametral segundo ABNT NBR 7222 (2011), cada ensaio em três idades e para cada idade foram confeccionados três corpos de prova, totalizando 54 corpos de prova de dimensões 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura.

A mistura foi realizada em uma betoneira de eixo vertical com capacidade de 560 litros. A moldagem e cura dos corpos de prova foi baseada na ABNT NBR 5738 (2008), sendo que na moldagem foi realizada em uma única camada e adensada mecanicamente. Após 24 horas os corpos de prova foram desmoldados e levados a uma sala de cura complementar conforme a norma referida. Quando completado o sétimo dia todos os corpos de prova foram retificados a fim de desprezar qualquer influencia da idade a ser faceados. Os ensaios foram realizados aos 7, 14 e 28 dias.

3. RESULTADOS

Os resultados da resistência à compressão axial dos corpos de provas confeccionados, para as diferentes idades estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultado do ensaio de resistência à compressão axial.

Identificação		Idade (dias)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Área (mm²)	Carga (KN)	Tensão de Ruptura (MPa)
Referência	CP 01	7	194,5	101,3	8059	461,8	57,3
	CP 02	7	195,7	101,8	8139	278,7	34,2
	CP 03	7	193,3	102,30	8219	367,7	44,7
	CP 04	14	191,6	101,80	8139	692,4	85,1
	CP 05	14	188,6	101,60	8107	646,5	79,7
	CP 06	14	195	102,00	8171	655,1	80,2
	CP 07	28	192,8	102,00	8171	735,2	90,0
	CP 08	28	189,3	101,50	8091	794,7	98,2
	CP 09	28	194,2	101,00	8012	571,4	71,3
5% de Adição	CP 10	7	192,4	101,30	8059	453,6	56,3
	CP 11	7	194,9	101,80	8139	243,1	29,9
	CP 12	7	194,9	101,80	8139	442,9	54,4
	CP 13	14	194,9	101,90	8155	590,5	72,4
	CP 14	14	194,5	101,60	8107	459,4	56,7
	CP 15	14	193,6	101,80	8139	467,1	57,4
	CP 16	28	191,4	101,60	8107	692,6	85,4
	CP 17	28	193,4	101,30	8059	641,4	79,6
	CP 18	28	194,4	101,30	8059	804,1	99,8
10% de Adição	CP 19	7	194,9	101,80	8139	425,6	52,3
	CP 20	7	197,9	101,80	8139	399,8	49,1

CP 21	7	197,2	101,30	8059	416,9	51,7
CP 22	14	197,5	101,90	8155	540	66,2
CP 23	14	197,3	102,10	8187	613,7	75,0
CP 24	14	197,8	101,80	8139	612,6	75,3
CP 25	28	195,9	101,40	8075	660,3	81,8
CP 26	28	196,7	101,30	8059	676,7	84,0
CP 27	28	195,2	101,00	8012	748,6	93,4

Para ambos os teores de adição do resíduo, houve um crescimento da resistência ao longo do tempo. Os resultados apresentaram grande variação entre os corpos de prova da mesma moldagem, esta variação pode ter sido ocasionada pelo elevado numero de poros internos encontrados nos corpos de prova após ruptura dos mesmos.

A partir dos valores absolutos para cada teor de adição e para cada idade podemos comprovar que há um crescimento da resistência ao longo do tempo para todas as adições. Porém os corpos-de-prova com adição do resíduo apresentaram uma redução na resistência à compressão. A Figura 5 apresenta os gráficos da evolução das resistências à compressão em função do tempo.

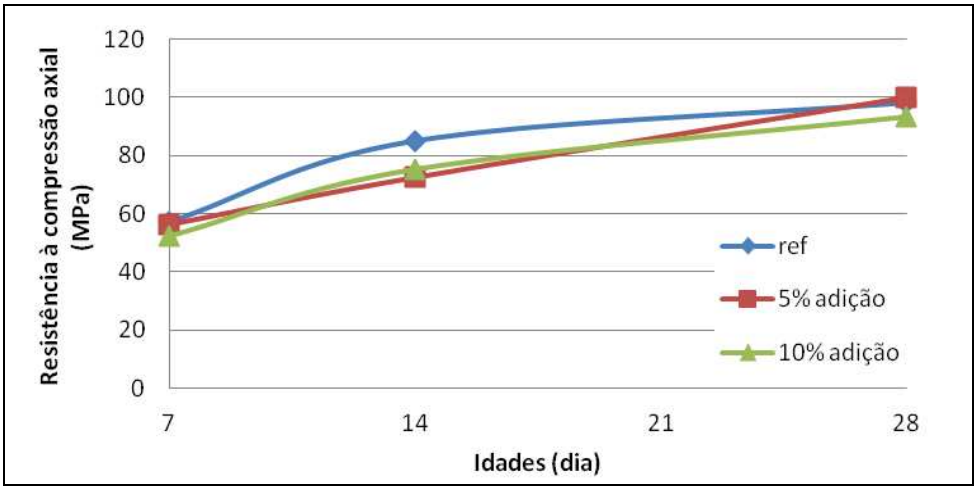

Figura 5 – Resistências à compressão.

É possível perceber que a resistência à compressão do corpo-de-prova com 5% de adição obteve a maior resistência aos vinte e oito dias, porém muito pequena.

Os resultados da resistência à tração por compressão diametral para cada idade estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral.

Identificação		Idade (dias)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Carga (KN)	Resistência à Tração diametral (MPa)
Referência	CP 01	7	193,2	102	120,9	3,91
	CP 02	7	194,8	102	126,5	4,05
	CP 03	7	195	101,50	73,8	2,37
	CP 04	14	195,5	101,90	176,7	5,65
	CP 05	14	192,5	102,00	142,3	4,61

	CP 06	14	197,7	102,00	133,9	4,23
	CP 07	28	194,2	101,50	85,5	2,76
	CP 08	28	194,7	101,70	120,5	3,87
	CP 09	28	193,3	101,50	105,4	3,42
5% de Adição	CP 10	7	190	102,00	135	4,43
	CP 11	7	195,1	102,00	143,7	4,60
	CP 12	7	193,8	101,50	112,7	3,65
	CP 13	14	194,6	102,00	160,80	5,16
	CP 14	14	193,8	102,20	144,50	4,64
	CP 15	14	190,7	102,00	74,80	2,45
	CP 16	28	194,4	102,30	126,7	4,06
	CP 17	28	194,3	101,40	71,6	2,31
	CP 18	28	194,2	101,60	89,3	2,88
10% de Adição	CP 19	7	196,1	101,80	92	2,93
	CP 20	7	198,3	101,80	86,2	2,72
	CP 21	7	196	101,50	120,8	3,87
	CP 22	14	198,1	102,00	104,9	3,31
	CP 23	14	197,8	101,90	108,8	3,44
	CP 24	14	197,6	102,10	130,3	4,11
	CP 25	28	196,3	101,20	101	3,24
	CP 26	28	197,5	100,80	104,7	3,35
	CP 27	28	193	101,60	106,1	3,44

Os resultados da resistência à tração por compressão diametral encontrados foram muito baixo para um compósito cimentícios avançado. A baixa resistência pode estar relacionado com o elevado ar aprisionado existentes nos corpos-de-prova, este ar aprisionado pode ser gerado pelo elevado teor de aditivo superplastificante introduzido na mistura. A mistura é constituída principalmente por materiais ultra finos, onde para que haja uma boa trabalhabilidade é necessário a utilização de elevados terrores de aditivo superplastificante.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados e nas análises apresentadas neste presente trabalho com a utilização dos materiais supracitados, constatou-se que:

- A adição do resíduo proveniente do acabamento realizado em dutos confeccionados com resina epóxi e fibras de vidro, não trás benefícios quanto à resistência mecânica de compósito cimentícios avançado;
- O resultados da resistência mecânica obtidas neste trabalho com estes materiais empregados não apresentaram valores característicos de concretos de alto desempenho;
- A composição dos compósitos cimentícios avançados apresentam em sua composição o pó de quartzo como elemento essencial, neste trabalho este constituinte foi substituído por areia fina, onde o compósito não apresentou desempenho satisfatório.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: **Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

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

MEHTA, P.K. Concrete technology for sustainable development. Concrete International. V. 21, n.11, 1999. p. 47-53.

PINTO, K. N. C.. **Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica: poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro.** Dissertação de mestrado – IPEN, São Paulo, 81pag. 2002.

RICHARD, P.; CHEYREZY, M. Composition of reactive powder concretes. **Cement and Concrete Research**, out. 1995. v. 25, n. 7, p. 1501–1511. . Acesso em: 3 ago. 2013.

TUTIKIAN, B. F.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. Concreto de Auto e Ultra-Alto Desempenho. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. G.C. Isaia. 1. ed. São Paulo, IBRACON, 2011. 2v.

UNSER, J. F. **Advanced composites recycling**. Sampe Journal, v. 32, n. 5, p. 52-57, 1996.