

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Gabriela Girardi Grass¹; Adriani Reichel Zilli²; Bóris Casanova Sokolovicz³; Cíntia Paola Kleinpaul⁴; Jeovana Marli Welter⁵; Maiara Jaqueline Wendland⁶;

¹Graduada em Engenharia Civil, Departamento das Engenharias e Ciência da Computação, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Santo Ângelo. E-mail: gabrielagirardigrass@gmail.com

²Graduanda em Engenharia Civil, Departamento das Engenharias e Ciência da Computação, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Santo Ângelo. E-mail: adrianizilli@hotmail.com

³Doutorando em Engenharia Civil, Departamento de Estruturas e Construção Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: boriseng@hotmail.com

⁴Graduanda em Engenharia Civil, Departamento das Engenharias e Ciência da Computação, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Santo Ângelo. E-mail: cintiap02@hotmail.com

⁵Graduanda em Engenharia Civil, Departamento das Engenharias e Ciência da Computação, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Santo Ângelo. E-mail: jeo.welter@hotmail.com

⁶Graduanda em Engenharia Civil, Departamento das Engenharias e Ciência da Computação, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Santo Ângelo. E-mail: maiarawendland@gmail.com

Resumo

A geração de resíduos provenientes da indústria de fundição e da produção de arroz presentes na região é de difícil descarte, podendo gerar problemas ambientais graves quando descartados em locais impróprios devido aos compostos presentes nestes materiais, que podem contaminar o solo e a água causando danos ao meio. Desta forma, torna-se necessária a busca por métodos para utilizá-los de maneira produtiva, minimizando os problemas causados pelos mesmos. Uma das formas de utilizar estes materiais consiste em adicionar resíduos de fundição e sílica ativa na confecção de concretos em substituição a areia natural normal e ao cimento Portland CP V-ARI. Foram realizados ensaios pilotos de trabalhabilidade, onde foram utilizadas substituições de cinza de casca de arroz em substituição ao cimento e a areia de fundição em relação a areia natural normal em limites superiores aos usuais. O objetivo dessa grande substituição foi verificar a viabilidade de agregar grandes volumes de resíduo ao concreto e verificar o desempenho do mesmo. Com isso, foram moldados os corpos de prova com o traço de referência na proporção (1: 2,18: 2,82) (cimento: areia: brita) e os traços com substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz (CCA) em teores de 10%, 15%, 20% e 25% e da areia natural por resíduo de fundição em teores de 20%, 30%, 40% e 50%, avaliando suas propriedades de resistência. Tendo um total de 9 corpos de prova para cada traço. Sendo que para o ensaio de resistência a compressão, foram rompidos aos 3, 28 e 91 dias. O objetivo desta substituição foi verificar a viabilidade de agregar grandes volumes de resíduos ao concreto e verificar o desempenho do mesmo. Para o traço de referência com fator água/cimento (a/c) 0,4, foi obtido uma resistência aos 91

dias de 61,37 MPa, fez-se uma comparação com os traços da areia verde TC10 AV20 (10% de cinza de casca de arroz e 20% de areia verde), com fator a/c 0,4, onde a resistência obtida foi de 60,26 MPa aos 91 dias e com o traço da areia de fundição fenólica TC25 AF50 (25% de cinza de casca de arroz e 50% de areia de fundição) de mesmo fator a/c, obteve-se uma resistência 68,69 MPa aos 91 dias. Após isso, comparou-se o traço de referência com fator (a/c) 0,5, onde foi obtido uma resistência aos 91 dias de 46,99 MPa, fez-se uma comparação com os traços da areia verde TC10 AV20, com fator a/c 0,5, onde a resistência obtida foi de 46,78 MPa aos 91 dias e com o traço da areia de fundição fenólica TC10 AF20 de mesmo fator a/c, obteve-se uma resistência 52,00 MPa aos 91 dias. Por último, fez-se a comparação do traço de referência com fator (a/c) 0,6, onde foi obtido uma resistência aos 91 dias de 39,01 MPa, fez-se uma comparação com os traços da areia verde TC10 AV20, com fator a/c 0,6, onde a resistência obtida foi de 43,10 MPa aos 91 dias e com o traço da areia de fundição fenólica TC20 AF40 de mesmo fator a/c, obteve-se uma resistência 47,01 MPa aos 91 dias. Portanto, como pode ser observado, os traços que utilizaram a substituição parcial de materiais por (CCA) e areia de fundição fenólica apresentaram maiores resistências, em todos os casos, superando inclusive a resistência do traço de referência adotado. Para os resultados obtidos neste relatório, verifica-se que os tamanhos dos grãos influenciaram diretamente a resistência a compressão. Como a (CCA) moída tem uma finura mais elevada e uma estrutura mais amorfa, com maior pozolanicidade e reatividade química, melhora-se o desempenho de concretos principalmente das propriedades mecânicas a partir da microestrutura mais homogênea e compacta.

Palavras-chave: *Resíduos de fundição – Tecnologia – Sustentabilidade*

1 Introdução

A exploração dos recursos naturais para atender a demanda da população atual, que ultrapassa 7 bilhões é muito elevada, gerando conseqüentemente, vários problemas, entre os quais está o aquecimento global, cuja principal causa é a alta concentração de gases que promovem o efeito estufa na atmosfera.

O efeito estufa é um fenômeno natural, onde uma parte da energia que incide sobre o planeta é absorvida pela superfície terrestre e pelos oceanos promovendo o seu aquecimento. A outra parte dessa energia incidente é refletida, onde a presença de gases na atmosfera absorve essa energia refletida tornando a terra habitável, pois se não fossem esses gases, a temperatura média do planeta seria em torno de 18 graus celsius negativos. Os principais gases do efeito estufa são o CO₂, o metano, e o óxido nitroso. Atualmente, a alta atividade industrial promove o incremento desses gases na atmosfera, aumentando a espessura da camada de gases, retendo o calor, que é uma radiação infravermelha, no planeta. Dessa maneira, ocorre uma elevação na temperatura do planeta, conhecido como aquecimento global.

Desta forma, é importante reduzir a exploração de matéria prima, reutilizar os recursos disponíveis e reduzir a emissão de poluentes, promovendo assim um menor impacto ambiental na produção de insumos. Nesse contexto, concebe-se como muito significativo o consumo de concreto, que é o segundo material mais largamente utilizado pelo homem, perdendo apenas para a água. Mehta (2014) estima o consumo anual de concreto seja de 19 bilhões de toneladas métricas/ano. As justificativas para o grande emprego estão na vantajosa relação custo/desempenho, nas propriedades que adquire quando utilizado em conjunto com o aço, facilidade de emprego, diversidade de formas e tamanhos possíveis.

O principal componente do concreto é o cimento Portland, sendo que o processo de produção do mesmo gera um impacto ambiental muito grande, contribuindo para o efeito estufa. Mehta (1999) relata que a fabricação do cimento contribui com aproximadamente 5% da quantidade de CO₂ emitidas anualmente na atmosfera. Nos dias de hoje, frente aos aspectos relacionados ao concreto, muitos pesquisadores buscam novas tecnologias e materiais para aliar a durabilidade e sustentabilidade. Nesse sentido, os usos de adições minerais (pozolanas e escórias de alto forno) em substituições parciais ao cimento no concreto têm sido uma alternativa viável, melhorando o desempenho do mesmo. Para Neville (1997), em diversas situações, o emprego das adições minerais no concreto justifica-se pelas vantagens técnicas, além das vantagens energética e ambiental. Dentre essas pozolanas está a cinza de casca de arroz, que é um resíduo agroindustrial gerado pela queima da casca do arroz, usada como fonte de energia no beneficiamento do grão e até venda para terceiros.

No Brasil a maior parte da cinza de casca de arroz não é utilizada tendo em vista a falta de interesse e investimento num produto de baixo custo que, segundo os conhecimentos atuais, necessita de moagem e peneiramento prévio para uso em concreto. Em casos isolados, quando a casca de arroz é utilizada para produzir energia em caldeiras de leito fluidizado, é produzida cinza de qualidade superior (alta reatividade) devido ao controle temperatura da queima e aeração, proporcionando uma sílica mais amorfa, ou seja, mais reativa. Após a combustão, a cinza deve ser moída e peneirada para ser empregada com adição mineral em concretos de cimento Portland. Entretanto, o expressivo investimento necessário para este beneficiamento não tem atraído atenção de grande parte das indústrias beneficiadoras de arroz, o que culmina, em grande parte dos casos, com a deposição da cinza de modo inadequado, lançada sem cuidados no meio ambiente, com potencialidade de poluição de solos ou mananciais aquíferos.

Em relação a areia de fundição, conforme a legislação brasileira, de acordo com a norma ABNT NBR 10004 (2004), a areia de fundição é classificada como um resíduo não perigoso. Porém, a mesma pode conter metais como ferro, alumínio, zinco, níquel e cromo, além de resinas fenólicas oriundas do processo de moldagem. Essas resinas podem conter materiais não inertes que afetam o meio ambiente.

Assim, considerando-se que a reutilização destes resíduos de fundição industrial sejam de grande valia para o meio ambiente, este trabalho tem como objetivo, promover a aplicação de novas tecnologias sustentáveis na construção civil através do aproveitamento de resíduos industriais.

2 Metodologia

Para a realização desta pesquisa, foram moldados corpos-de-prova de concreto, em formato cilíndrico e, realizado o ensaio de resistência à compressão axial dos mesmos. Também, executou-se a caracterização dos materiais utilizados na confecção dos protótipos, através de estudos pilotos, desenvolvidos no Laboratório de Solos do Curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Campus de Santo Ângelo.

2.1 Materiais Utilizados

2.1.1 Cimento

Foi utilizado o cimento CP V – ARI para a confecção dos corpos de prova. Estudos pilotos do ensaio de tempo de pega do cimento, definiram a trabalhabilidade do mesmo, ainda através destes estudos, o cimento foi submetido a uma análise química, por meio de difratômetro de raio-X, onde foi possível a identificação de seus componentes.

2.1.2 Brita

Foi utilizado a Brita 1, de origem basáltica, proveniente da região de Ijuí, RS. Segundo estudos pilotos para o ensaio de análise granulométrica, a dimensão máxima é de 19 mm e o módulo de finura de 4,30. Além do mais, os estudos apresentaram uma massa unitária solta de $1,58 \text{ kg/dm}^3$ e massa específica absoluta de $2,85 \text{ kg/dm}^3$.

2.1.3 Areia Normal Natural

A Areia normal natural é um conjunto de partículas de rochas desagregadas, um material de origem mineral finamente dividido em grânulos ou granito, composto basicamente de dióxido de silício. Provindo do Rio Verde, localizado na cidade de Santa Maria, RS. Conforme estudos pilotos para o ensaio de análise granulométrica, o agregado miúdo apresentou dimensão máxima de 1,20 mm e módulo de finura de 2,64. Em relação aos demais ensaios de caracterização do agregado miúdo, realizados através dos estudos, apresentaram massa unitária solta de $1,58 \text{ kg/dm}^3$ e massa específica absoluta de $2,58 \text{ g/m}^3$.

2.1.4 Areia de Fundição Verde

A areia de fundição verde é um resíduo proveniente da indústria de fundição, da Metalúrgica Candeia da cidade de Santa Rosa, RS. É a areia de coloração mais escura e contaminada com resíduos metálicos. Conforme estudos pilotos para o ensaio de análise granulométrica, o agregado miúdo apresentou dimensão máxima de 1,20 mm e módulo de finura de 1,65. Também, os estudos para os demais ensaios de caracterização do agregado, apresentaram massa unitária solta de $1,08 \text{ kg/dm}^3$ e massa específica absoluta de $2,18 \text{ g/m}^3$.

2.1.5 Areia de Fundição Fenólica

A areia de fundição fenólica é um resíduo proveniente da indústria de fundição, da Metalúrgica Candeia da cidade de Santa Rosa, RS. É a areia de coloração mais clara em relação a areia verde, e contaminada com resíduos metálicos. Segundo estudos pilotos para o ensaio de análise granulométrica, o agregado miúdo apresentou dimensão máxima de 0,60 mm e módulo de finura de 2,36. Ainda sobre os estudos, os mesmos apresentaram massa unitária solta de $1,38 \text{ kg/dm}^3$ e massa específica absoluta de $2,60 \text{ g/m}^3$.

2.1.6 Cinza de Casca de Arroz

A cinza da casca do arroz é um resíduo agroindustrial proveniente da queima do mesmo, cuja energia se destina geralmente aos processos de secagem e beneficiamento dos grãos. É uma microssílica, cuja base é finamente moída e tem coloração de cinza preto. Provinda da Ekosil, da cidade de São Borja e Itaqui, RS. A sílica ativa foi submetida a estudos pilotos de uma análise química, através do difratômetro de raio-X, onde foi possível a identificação de seus componentes.

2.1.7 Aditivo

Foi utilizado o aditivo superplastificante (GLENIUM 51), com o objetivo de alcançar as consistências desejadas do concreto. Estas consistências foram fixadas nos valores de 70 ± 20 mm, especificada para o concreto fresco. As consistências foram determinadas pelo abatimento do tronco de cone segundo a norma NBR NM 67 (1998).

2.1.8 Água

Para a moldagem dos protótipos utilizou-se água proveniente da rede de abastecimento da Universidade.

2.2 Moldagem dos Corpos de Prova

A dosagem foi realizada de acordo com o método proposto por Helene e Terzian (1993). Os procedimentos para a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone foram determinados através da NBR NM 67 (1998).

A partir da caracterização dos materiais constituintes do concreto foi possível calcular o traço de referência para moldagem do mesmo. O cimento utilizado foi o CPV-ARI, atingindo altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. Estabeleceu-se o abatimento do tronco de cone de 70 mm, sendo que este abatimento depende da forma, textura, tamanho máximo e granulometria dos agregados.

Em um segundo momento, para o processo de moldagem dos protótipos, os moldes foram revestidos com uma fina camada de óleo, sendo que os mesmos possuem formato cilíndrico, com as dimensões de (10 x 20 cm). A confecção do concreto foi realizada com o auxílio de uma betoneira de queda livre. Após moldar os protótipos, os mesmos foram vibrados com um vibrador de imersão. Os protótipos foram desmoldados vinte e quatro horas depois, os mesmos foram identificados e, encaminhados para o processo de cura úmida, sendo que, eram retirados da câmara úmida conforme os dias de rompimento. A moldagem e cura seguem a norma NBR 5738 (2008).

Com isso, foram moldados os corpos de prova com o traço de referência na proporção (1: 2,18: 2,82) (cimento: areia: brita) e os traços com substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz (CCA) em teores de 10%, 15%, 20% e 25% e da areia natural por resíduo de fundição em teores de 20%, 30%, 40% e 50%, avaliando suas propriedades de resistência. Tendo um total de 9 corpos de prova para cada traço.

2.3 Ensaio de Rompimento

O rompimento dos protótipos ocorreu aos 3, 28 e 91 dias, através do ensaio de resistência à compressão axial, sendo que, para cada ensaio foram rompidos 3 corpos-de-prova. O rompimento é realizado através do ensaio de compressão axial, baseado na determinação da máxima carga de ruptura suportada pelo corpo de prova. A figura 1 mostra a realização do ensaio, onde o corpo de prova sofre a compressão com auxílio da prensa, seguindo a norma NBR 5739 (2007).

Figura 1: Prensa hidráulica.



2.4 Desenho Experimental

Em relação aos resultados obtidos nos rompimentos dos protótipos, para o fator água/cimento 0,4, o traço de referência apresentou resistência aos 91 dias de 61,37 MPa. O traço da areia verde que apresentou resultado mais significativo foi TC10 AV20 (10% de cinza de casca de arroz e 20% de areia verde), com resistência de 60,26 MPa aos 91 dias. Para a areia de fundição fenólica, o traço que mais se destacou foi TC25 AF50 (25% de cinza de casca de arroz e 50% de areia de fundição), com uma resistência 68,69 MPa aos 91 dias. Após isso, com fator água/cimento 0,5, o traço de referência apresentou resistência de 46,99 MPa aos 91 dias. O traço da areia verde que se sobressaiu foi TC10 AV20 apresentando uma resistência de 46,78 MPa aos 91 dias. Para a areia de fundição fenólica, o traço que se destacou foi o TC10 AF20 com resistência de 52,00 MPa aos 91 dias. Por último, para o fator água/cimento 0,6, o traço de referência atingiu uma resistência de 39,01 MPa aos 91 dias. O traço da areia verde que mais se destacou foi TC10 AV20, onde a resistência obtida foi de 43,10 MPa aos 91 dias. Já para a areia de fundição fenólica, o traço que se sobressaiu foi TC20 AF40, o qual apresentou uma resistência de 47,01 MPa aos 91 dias.

2.5 Análise Estatística

Os corpos-de-prova foram rompidos através de uma prensa hidráulica, sendo que, os valores das resistências atingidas, são demonstrados pelo software no computador.

3 Resultados e Discussões

A tabela 1 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, com os traços referências para as 3 relações a/ag.

Tabela 1 - Resultados de resistência a compressão axial, com os traços referências para as 3 relações a/ag.

ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILÍNDRICOS DE CONCRETO E/OU ARGAMASSA							
Traço	Fator a/c	Moldagem	Aditivo (g)	Slump	Ensaio	Idade	Resistência MPa
		Data			Data		
TR	0,4	25/01/2016	85,36	5	28/01/2016	3	43,62
TR	0,4	25/01/2016	85,36	5	22/02/2016	28	57,70
TR	0,4	25/01/2016	85,36	5	25/03/2016	91	61,37
TR	0,5	22/01/2016	0	6,5	25/01/2016	3	30,11
TR	0,5	22/01/2016	0	6,5	19/02/2016	28	41,90
TR	0,5	22/01/2016	0	6,5	22/03/2016	91	46,99
TR	0,6	26/01/2016	0	20	29/01/2016	3	26,82
TR	0,6	26/01/2016	0	20	23/02/2016	28	36,77
TR	0,6	26/01/2016	0	20	26/03/2016	91	39,01

A tabela 2 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC10 AV20 para as 3 relações a/ag.

Tabela 2 - Resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC10 AV20 para as 3 relações a/ag.

ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILÍNDRICOS DE CONCRETO E/OU ARGAMASSA							
Traço	Fator a/c	Moldagem	Aditivo (g)	Slump	Ensaio	Idade	Resistência MPa
		Data			Data		
TC10 AV20	0,4	29/01/2016	270,53	5,8	01/02/2016	3	35,72
TC10 AV20	0,4	29/01/2016	270,53	5,8	01/02/2016	28	51,57
TC10 AV20	0,4	29/01/2016	270,53	5,8	01/01/2016	91	60,26
TC10 AV20	0,5	26/01/2016	109,2	6,5	29/01/2016	3	24,45
TC10 AV20	0,5	26/01/2016	109,2	6,5	23/02/2016	28	41,64
TC10 AV20	0,5	26/01/2016	109,2	6,5	26/03/2016	91	46,78
TC10 AV20	0,6	26/01/2016	0	5	29/01/2016	3	22,48
TC10 AV20	0,6	26/01/2016	0	5	23/02/2016	28	36,91
TC10 AV20	0,6	26/01/2016	0	5	26/03/2016	91	43,10

A tabela 3 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC15 AV30 para as 3 relações a/ag.

Tabela 3 - Resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC15 AV30 para as 3 relações a/ag.

ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILÍNDRICOS DE CONCRETO E/OU ARGAMASSA							
Traço	Fator a/c	Moldagem	Aditivo (g)	Slump	Ensaio	Idade	Resistência MPa
		Data			Data		
TC15 AV30	0,4	02/02/2016	390,44	6	05/02/2016	3	31,28
TC15 AV30	0,4	02/02/2016	390,44	6	01/03/2016	28	34,57
TC15 AV30	0,4	02/02/2016	390,44	6	03/05/2016	91	51,36

TC15 AV30	0,5	02/02/2016	225	7	05/02/2016	3	25,55
TC15 AV30	0,5	02/02/2016	225	7	01/03/2016	28	42,34
TC15 AV30	0,5	02/02/2016	225	7	03/05/2016	91	44,79
TC15 AV30	0,6	01/02/2016	104,24	5	04/02/2016	3	19,72
TC15 AV30	0,6	01/02/2016	104,24	5	29/02/2016	28	32,73
TC15 AV30	0,6	01/02/2016	104,24	5	02/05/2016	91	38,33

A tabela 4 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC20 AV40 para as 3 relações a/ag.

Tabela 4 - Resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC20 AV40 para as 3 relações a/ag.

ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILÍNDRICOS DE CONCRETO E/OU ARGAMASSA							
Traço	Fator a/c	Moldagem	Aditivo (g)	Slump	Ensaio	Idade	Resistência MPa
		Data			Data		
TC20 AV40	0,4	15/02/2016	684,36	5,8	18/02/2016	3	14,61
TC20 AV40	0,4	15/02/2016	684,36	5,8	14/03/2016	28	29,39
TC20 AV40	0,4	15/02/2016	684,36	5,8	16/05/2016	91	35,31
TC20 AV40	0,5	15/02/2016	365,45	5	18/02/2016	3	21,49
TC20 AV40	0,5	15/02/2016	365,45	5	14/03/2016	28	35,50
TC20 AV40	0,5	15/02/2016	365,45	5	16/05/2016	91	42,08
TC20 AV40	0,6	02/02/2016	242,7	6	05/02/2016	3	17,10
TC20 AV40	0,6	02/02/2016	242,7	6	01/03/2016	28	30,01
TC20 AV40	0,6	02/02/2016	242,7	6	03/05/2016	91	33,70

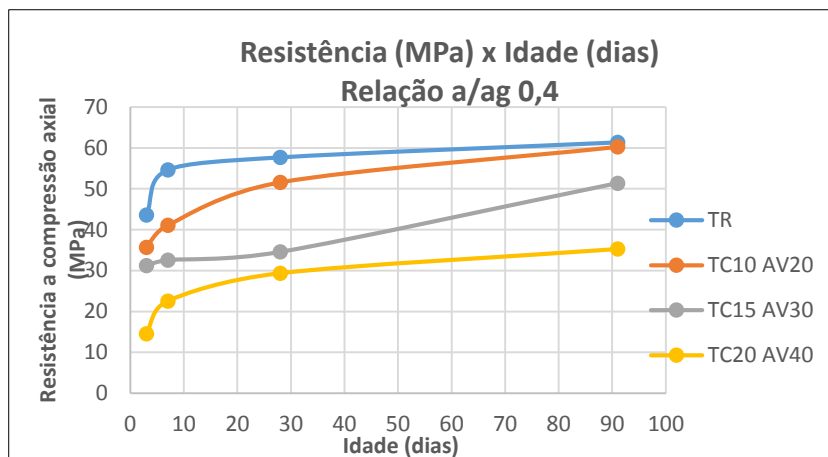
A tabela 5 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC25 AV50 para as 3 relações a/ag.

Tabela 5 - Resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC25 AV50 para as 3 relações a/ag.

ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILÍNDRICOS DE CONCRETO E/OU ARGAMASSA							
Traço	Fator a/c	Moldagem	Aditivo (g)	Slump	Ensaio	Idade	Resistência MPa
		Data			Data		
TC25 AV50	0,5	12/04/2016	290	7	15/04/2016	3	17,44
TC25 AV50	0,5	12/04/2016	290	7	10/05/2016	28	28,51
TC25 AV50	0,5	12/04/2016	290	7	13/07/2016	91	32,89
TC25 AV50	0,6	12/04/2016	347,6	5	15/04/2016	3	17,28
TC25 AV50	0,6	12/04/2016	347,6	5	10/05/2016	28	29,21

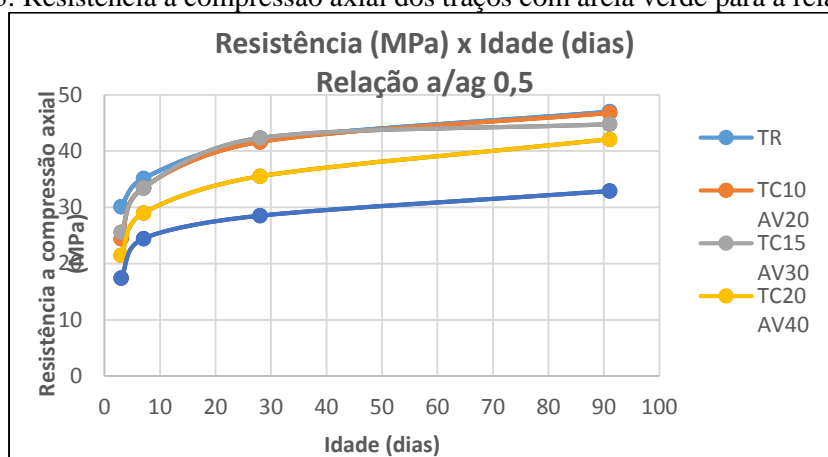
A figura 2 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, da comparação do traço de referência com os traços da areia verde, para o fator a/ag 0,4.

Figura 2: Resistência a compressão axial dos traços com areia verde para a relação a/ag 0,4.



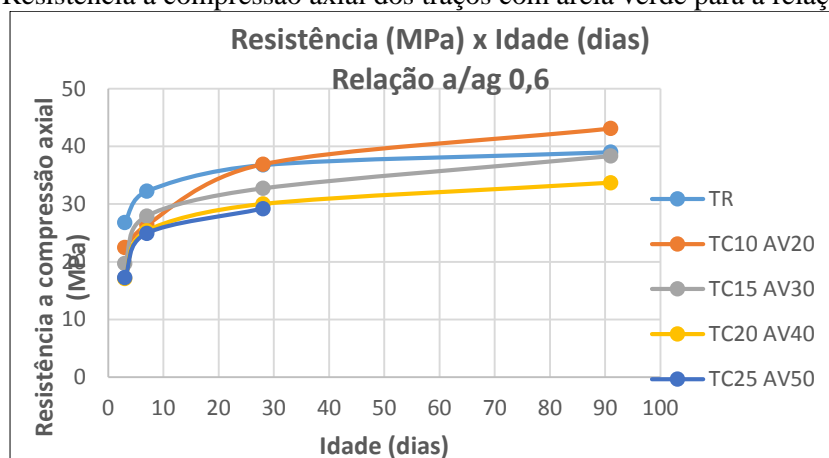
A figura 3 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, da comparação do traço de referência com os traços da areia verde, para o fator a/ag 0,5.

Figura 3: Resistência a compressão axial dos traços com areia verde para a relação a/ag 0,5.



A figura 4 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, da comparação do traço de referência com os traços da areia verde, para o fator a/ag 0,6.

Figura 4: Resistência a compressão axial dos traços com areia verde para a relação a/ag 0,6.



A tabela 6 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC10 AF20 para as 3 relações a/ag.

Tabela 6 - Resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC10 AF20 para as 3 relações a/ag.

ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILÍNDRICOS DE CONCRETO E/OU ARGAMASSA							
Traço	Fator a/c	Moldagem	Aditivo (g)	Slump	Ensaio	Idade	Resistência MPa
		Data			Data		
TC10 AF20	0,4	19/02/2016	72,92	6	22/02/2016	3	48,80
TC10 AF20	0,4	19/02/2016	72,92	6	18/03/2016	28	67,42
TC10 AF20	0,4	19/02/2016	72,92	6	20/05/2016	91	67,65
TC10 AF20	0,5	19/02/2016	27,43	6,5	22/02/2016	3	32,76
TC10 AF20	0,5	19/02/2016	27,43	6,5	18/03/2016	28	45,27
TC10 AF20	0,5	19/02/2016	27,43	6,5	20/05/2016	91	52,00
TC10 AF20	0,6	19/02/2016	0	18	22/02/2016	3	22,94
TC10 AF20	0,6	19/02/2016	0	18	18/03/2016	28	33,63
TC10 AF20	0,6	19/02/2016	0	18	20/05/2016	91	37,78

A tabela 7 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC15 AF30 para as 3 relações a/ag.

Tabela 7 - Resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC15 AF30 para as 3 relações a/ag.

ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILÍNDRICOS DE CONCRETO E/OU ARGAMASSA							
Traço	Fator a/c	Moldagem	Aditivo (g)	Slump	Ensaio	Idade	Resistência MPa
		Data			Data		
TC15 AF30	0,4	23/02/2016	101,63	6	26/02/2016	3	46,84
TC15 AF30	0,4	23/02/2016	101,63	6	22/03/2016	28	38,59
TC15 AF30	0,4	23/02/2016	101,63	6	24/05/2016	91	67,90
TC15 AF30	0,5	22/02/2016	27,24	7	25/02/2016	3	29,21
TC15 AF30	0,5	22/02/2016	27,24	7	21/03/2016	28	42,04
TC15 AF30	0,5	22/02/2016	27,24	7	23/05/2016	91	45,98
TC15 AF30	0,6	22/02/2016	0	17	25/02/2016	3	22,88

TC15 AF30	0,6	22/02/2016	0	17	21/03/2016	28	37,63
TC15 AF30	0,6	22/02/2016	0	17	23/05/2016	91	37,42

A tabela 8 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC20 AF40 para as 3 relações a/ag.

Tabela 8 - Resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC20 AF40 para as 3 relações a/ag.

ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILÍNDRICOS DE CONCRETO E/OU ARGAMASSA							
Traço	Fator a/c	Moldagem	Aditivo (g)	Slump	Ensaio	Idade	Resistência MPa
		Data			Data		
TC20 AF40	0,4	26/02/2016	135,37	7	29/02/2016	3	45,42
TC20 AF40	0,4	26/02/2016	135,37	7	24/03/2016	28	65,46
TC20 AF40	0,4	26/02/2016	135,37	7	30/05/2016	91	64,67
TC20 AF40	0,5	23/02/2016	33,73	7	26/02/2016	3	27,04
TC20 AF40	0,5	23/02/2016	33,73	7	22/03/2016	28	38,59
TC20 AF40	0,5	23/02/2016	33,73	7	24/05/2016	91	42,27
TC20 AF40	0,6	23/02/2016	0	9	26/02/2016	3	19,18
TC20 AF40	0,6	23/02/2016	0	9	22/03/2016	28	30,76
TC20 AF40	0,6	23/02/2016	0	9	24/05/2016	91	47,01

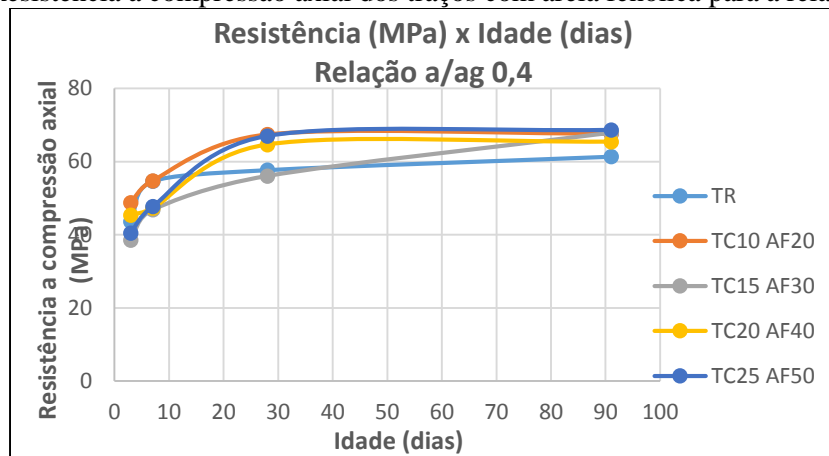
A tabela 9 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC25 AF50 para as 3 relações a/ag.

Tabela 9 - Resultados de resistência a compressão axial, com os traços TC25 AF50 para as 3 relações a/ag.

ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILÍNDRICOS DE CONCRETO E/OU ARGAMASSA							
Traço	Fator a/c	Moldagem	Aditivo (g)	Slump	Ensaio	Idade	Resistência MPa
		Data			Data		
TC25 AF50	0,4	05/04/2016	164,81	7	08/04/2016	3	40,50
TC25 AF50	0,4	05/04/2016	164,81	7	03/05/2016	28	67,03
TC25 AF50	0,4	05/04/2016	164,81	7	05/07/2016	91	68,69
TC25 AF50	0,5	04/04/2016	40,00	5	07/04/2016	3	23,48
TC25 AF50	0,5	04/04/2016	40,00	5	02/05/2016	28	38,57
TC25 AF50	0,5	04/04/2016	40,00	5	04/07/2016	91	45,30
TC25 AF50	0,6	26/02/2016	0	5	29/02/2016	3	21,66
TC25 AF50	0,6	26/02/2016	0	5	24/03/2016	28	39,40
TC25 AF50	0,6	26/02/2016	0	5	30/05/2016	91	40,69

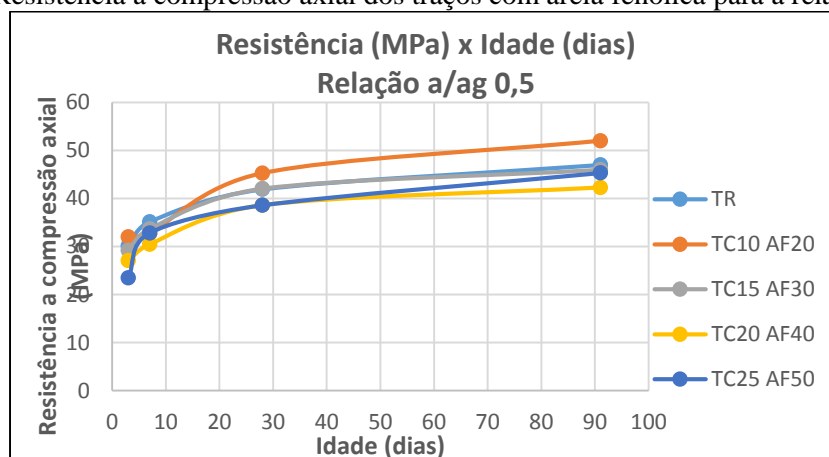
A figura 5 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, da comparação do traço de referência com os traços da areia fenólica, para o fator a/ag 0,4.

Figura 5: Resistência a compressão axial dos traços com areia fenólica para a relação a/ag 0,4.



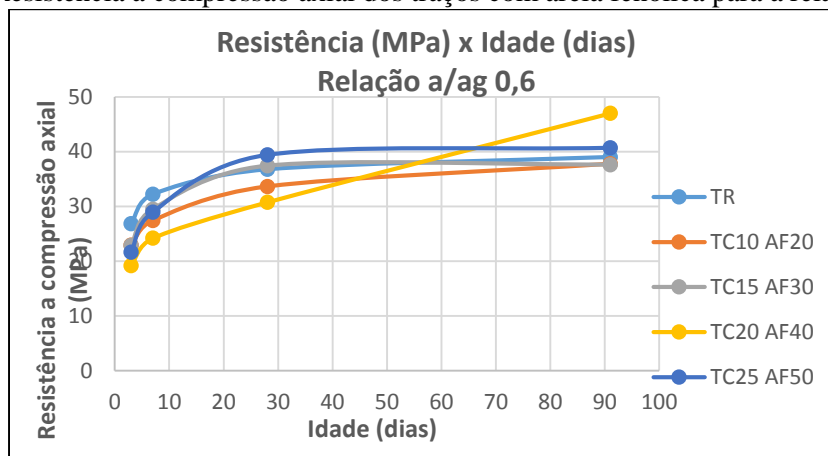
A figura 6 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, da comparação do traço de referência com os traços da areia fenólica, para o fator a/ag 0,5.

Figura 6: Resistência a compressão axial dos traços com areia fenólica para a relação a/ag 0,5.



A figura 7 apresenta os resultados de resistência a compressão axial, da comparação do traço de referência com os traços da areia fenólica, para o fator a/ag 0,6.

Figura 7: Resistência a compressão axial dos traços com areia fenólica para a relação a/ag 0,6.



4 Conclusão

Para os resultados obtidos no rompimento dos protótipos, verificou-se que os tamanhos dos grãos influenciaram diretamente a resistência a compressão. Como a cinza da casca de arroz (CCA) moída tem uma finura mais elevada e uma estrutura mais amorfa, com maior pozzolanicidade e reatividade química, melhora-se o desempenho de concretos principalmente das propriedades mecânicas a partir de microestrutura mais homogênea e compacta.

Segundo Frizzo (2001), os concretos com adições minerais beneficiam-se das reações pozzolânicas em longo prazo, necessitando idades mais elevadas, por isso as maiores resistências foram obtidas aos 91 dias.

Em relação aos resultados obtidos nas moldagens dos corpos de prova, o traço de referência com fator água/cimento 0,4, apresentou uma resistência aos 91 dias de 61,37 MPa. Diante disso, fez-se uma comparação com o traço da areia verde, sendo que, o traço que apresentou resultado mais significativo foi TC10 AV20 (10% de cinza de casca de arroz e 20% de areia verde), com fator a/c 0,4 onde a resistência obtida foi de 60,26 MPa aos 91 dias. É notável que as resistências foram bem próximas. Em seguida, comparou-se o traço de referência com o traço da areia de fundição fenólica de mesmo fator água/cimento, sendo que, o traço que mais se destacou foi TC25 AF50 (25% de cinza de casca de arroz e 50% de areia de fundição), obteve-se uma resistência 68,69 MPa aos 91 dias. Constatou-se uma maior resistência comparada a resistência do traço de referência, em consequência de a areia de fundição fenólica apresentar um módulo de finura próximo ao da areia normal natural o que causa um menor consumo de água. Após isso, fez-se a comparação do traço de referência com fator água/cimento 0,5, cujo o mesmo apresentou uma resistência de 46,99 MPa aos 91 dias, com o traço da areia verde, sendo que, o traço que se sobressaiu foi TC10 AV20 apresentando uma resistência de 46,78 MPa aos 91 dias. Obteve-se um resultado satisfatório, apesar da areia verde acarretar um aumento no consumo de água. Depois disso, comparou-se o traço de referência com o traço da areia de fundição fenólica de mesmo fator água/cimento, a melhor resistência foi apresentada pelo traço TC10 AF20 com resistência de 52,00 MPa aos 91 dias. Por último, foi comparado o traço de referência com fator água/cimento 0,6 com resistência de 39,01 MPa aos 91 dias, com o traço da areia verde. O traço que apresentou um melhor resultado

foi TC10 AV20, onde a resistência obtida foi de 43,10 MPa aos 91 dias. Seguidamente, comparou-se o traço de referência com o traço da areia de fundição fenólica de mesmo fator água/cimento, sendo que, o traço que mais se destacou foi TC20 AF40, o qual apresentou uma resistência de 47,01 MPa aos 91 dias.

Conforme Isaia (1995), teores próximos de 20% de (CCA) é o teor ideal de substituição por cimento. Este comportamento está relacionado com o efeito de nucleação, ou seja, liberação de água realizada pelas partículas pozzolânicas o que ocasiona defloculação dos grãos de cimento e melhor aproveitamento deste nas reações de hidratação, além das próprias reações pozzolânicas que produzem C-S-H secundário. De acordo com Isaia *et. al* (2003), está maior defloculação aumenta a superfície específica do cimento em contato com a água, sendo reforçada pelo potencial eletro-cinético (potencial zeta) entre as partículas. Estes mecanismos propiciam maior quantidade de pontos de nucleação para iniciar as reações de hidratação, e o resultado final seria uma maior quantidade de produtos hidratados e, por conseguinte, um maior consumo de hidróxido de cálcio, devido a maior atividade pozzolânica e, finalmente, o ganho de força unitária (por unidade de massa de Portland cimento na mistura) ou o aumento de outras variáveis relacionadas com a durabilidade. A ação física aumenta a reatividade química, e o desempenho global do concreto é aumentada.

Portanto, como pode ser observado, os traços que utilizaram a substituição parcial de materiais por (CCA) e areia de fundição fenólica apresentaram maiores resistências, em todos os casos, superando inclusive a resistência do traço de referência adotado.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

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

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

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

FRIZZO, Benildo Tocchetto. **Influência do Teor e da Finura de Pozolanas na Permeabilidade ao oxigênio e na Absorção Capilar do Concreto**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

HELENE, P. TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do concreto**. São Paulo, 1993. Ed. Pini.

ISAIA, G. C. **Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho**: um estudo da durabilidade com vistas à corrosão da armadura. 1995. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G.; MORAES, R. Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high- performance concrete. **Cement and Concrete**

Composites, v. 25, p. 69-76, 2003.

MEHTA, P. K. In: **Proceedings of II Intern.** Conference on High-performance Concrete and..., Gramado, RS, 1999.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** Ibracon. Natal, RN, 2014.

NEVILLE, A. **Propriedades do concreto.** São Paulo: Pini, 1995 e 1997

Links:

<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz/saiba-mais>

Acesso em 25/06/2016 as 14:03hs.

<http://www.mma.gov.br/clima/ciencia-da-mudanca-do-clima/efeito-estufa-e-aquecimento-global>

Acesso em 25/06/2016 as 15:40hs.

<http://ambienteecologia.blogspot.com.br/2011/06/efeito-de-estufa.html>

Acesso em 25/06/2016 as 16:06hs.