

Análise de concreto autoadensável com inserção de resíduos de construção

Self-compacting concrete analysis with addition of construction waste

Análisis de hormigón autocompactante con inserción de residuos de construcción

Recebido: 11/09/2021 | Revisado: 16/09/2021 | Aceito: 20/09/2021 | Publicado: 21/09/2021

Daiane Thais Da Rocha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2174-0844>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
E-mail: daiautfpr@gmail.com

Evandro Marcos Kolling

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9452-6374>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
E-mail: kolling@utfpr.edu.br

Resumo

A pesquisa buscou verificar a viabilidade do uso de resíduos da construção civil, como contribuinte as características físicas e mecânicas do concreto autoadensável. Foram testados três tratamentos, frente ao desempenho do traço referência. Os traços com substituição de 35, 40 e 45% do agregado miúdo por resíduo de concreto com vistas à trabalhabilidade. A quantidade de aditivo foi determinada de forma experimental através dos testes no estado fresco. Os tratamentos foram submetidos a avaliação da resistência a segregação, habilidade passante, trabalhabilidade, absorção, resistência à compressão e módulo de elasticidade. Com os resultados obtidos no estado fresco é possível aferir que os traços com adição de resíduo mantiveram as características do concreto autoadensável sendo possível classificar sua utilização de acordo com os resultados exigidos em norma. Para os testes no estado endurecido os traços com adição de 35% e 45% de resíduo de concreto obtiveram resistências inferiores ao traço referência em 17% e 24% respectivamente, apenas o traço com 40% de adição superou o traço referência, aos 56 dias.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Resíduos de demolição; Ensaio mecânicos.

Abstract

The research sought to verify the feasibility of the use of civil construction waste as a contributor to the physical and mechanical characteristics of self-compacting concrete. Four treatments were tested facing the performance of the reference trait. Mixtures with replacement of 35, 40 and 45% of the fine aggregate by concrete residue to workability. The amount of additive was experimentally determined by testing in the fresh state. The treatments were submitted to evaluation of segregation endurance, passing ability, workability, absorption, compressive strength, and modulus of elasticity. With the obtained results in the fresh state, it is possible to infer that the mixes with the addition of residue maintained the characteristics of self-compacting concrete, being possible to classify its use according to the results required by the standard. For the tests in hardened form, the mixes with the addition of 35% and 45% of concrete residue achieved lower strengths than the reference mix by 17% and 24% respectively, only the mix with 40% addition exceeded the reference mix, at 56 days.

Keywords: Sustainability; Demolition waste; Mechanical test.

Resumen

La investigación trató de verificar la viabilidad de utilizar residuos de construcción civil como contribuyentes a las características físicas y mecánicas del hormigón autocompactante. Se probaron cuatro tratamientos frente al rendimiento del rasgo de referencia. Mezclas con sustitución del 35, 40 y 45% del árido fino por residuo de hormigón con vistas a la trabajabilidad. La cantidad de aditivo se determinó experimentalmente ensayando en estado fresco. Los tratamientos se sometieron a evaluación de resistencia a la segregación, capacidad de paso, trabajabilidad, absorción, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad. Con los resultados obtenidos en fresco, es posible deducir que las mezclas con la adición de residuo mantuvieron las características del hormigón autocompactante, siendo posible clasificar su uso según los resultados exigidos por la norma. Para los ensayos en estado endurecido, las mezclas con la adición de 35% y 45% de residuo de hormigón obtuvieron resistencias inferiores a la mezcla de referencia en 17% y 24% respectivamente, solo la mezcla con 40% de adición superó la mezcla de referencia, a los 56 días.

Palabras clave: Sostenibilidad; Residuos de demolición; Ensayos mecánicos.

1. Introdução

O concreto autoadensável (CAA) é uma tecnologia já bastante difundida no Brasil, mas teve sua origem no Japão na década de 1980. Surgiu da necessidade de obter estruturas mais duráveis, com economia e menor tempo de execução, utilizando a proporção otimizada dos componentes e sem a necessidade de adensamento mecânico do concreto (Gomes & Barros, 2009). Logo, tornou-se um importante instrumento para a construção civil devido a sua capacidade de preenchimento, habilidade de passar por obstáculos e resistência à segregação.

As principais características e vantagens do CAA em relação ao Concreto convencional são a capacidade de fluidez sem segregação e o preenchimento de todo o interior das formas sem auxílio de vibrador mecânico (Mesquita, Frota, Marques, Moreira & Coelho, 2009).

Para a produção do concreto autoadensável é possível utilizar os mesmos materiais usados no concreto convencional, mas em proporções distintas. O CAA geralmente apresenta maior teor de finos, agregados miúdos, aditivos superplastificantes e menor teor de agregados graúdos, (Coutinho, 2011).

Como aos concretos tradicionais, o CAA tem areia em sua composição e conforme Silva, Buest e Campiteli (2005), a obtenção de areia natural para utilização em concreto vem se tornando cada vez mais difícil, devido ao esgotamento de jazidas e às restrições impostas pelos órgãos de fiscalização ambiental. Estes problemas são resultados de um longo período de exploração, o que tem tornado necessária a busca do material em locais cada vez mais distantes.

Como alternativa, tem-se nos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) a possibilidade de processá-los de modo a substituir, pelo menos em parte, alguns dos materiais convencionais da construção civil, entre eles a areia. Embora tem-se avançado na tecnologia de construção, e em legislações como a Resolução Nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os RCDs continuam sendo gerados em grandes volumes.

Os RCDs conceituam-se como todo resíduo proveniente de construções, reformas, demolições, podendo ser composto por concretos, argamassas, materiais cerâmicos, solos e gesso (Ulsen, Kahn, Angulo & John, 2010). Estes resíduos, devido ao grande volume gerado, têm provocado esgotamento dos locais de despejo e conseqüentemente descarregamento em locais impróprios, agravando danos ao meio ambiente e levando a problemas de saneamento por conta da contaminação ambiental.

Para minimizar tais problemas, Souza, Segantini, e Pereira, (2008) sustentam a incorporação destes materiais dentro da própria construção civil, como uma alternativa para tentar reduzir seus danos, visto que, além de valorizar estes materiais, contribui na preservação dos recursos naturais.

Embora os RCDs sejam vinculados a uma série de problemas, também são vistos como uma oportunidade econômica viável quando há a exploração racional de seus potenciais. Conforme Oliveira (2002), os materiais que apresentam maior potencial como matérias-primas são: areias, pedras-britadas, concretos e argamassas endurecidas, tijolos, cacos cerâmicos e madeiras.

Existem diversos trabalhos que comprovam a possibilidade de substituição de areia natural por outro agregado miúdo. Dentre estes, destacam-se os estudos realizados por Branco (2012), o qual utilizou Resíduo de concreto na composição; Klein (2008), que usou areia de britagem; Silva (2012) com agregado de telha cerâmica; ou ainda com resíduo do beneficiamento do mármore e granito, como estudado por Lisbôa (2004).

Com base nos estudos já realizados, buscou-se avaliar composições equivalentes, a fim de, a partir do levantamento e análise das propriedades do concreto autoadensável com substituição do agregado miúdo por resíduos de construção, verificar a viabilidade técnica do emprego do material alternativo, fornecido por uma empresa processadora de resíduos da região.

2. Metodologia

O trabalho foi conduzido no laboratório de matérias do Campus Toledo-PR da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Primeiramente foram caracterizados os materiais locais empregados e após comprovação da eficiência do traço referência, foram testados traços com adição areira de resíduos.

2.1 Materiais

Os materiais convencionais empregados na constituição dos traços foram o cimento CP V-ARI, duas areias (areia fina e média), brita zero, água potável e o superplastificante Tec Flow 7030.

Os resíduos utilizados para a formulação do traço foram fornecidos por uma empresa que coleta e processo materiais de construção, situada no município de Cascavel-PR. Para o presente estudo foi utilizado o resíduo composto apenas por concreto, tendo como diâmetro máximo 4,75mm.

Nos traços, inicialmente foram testadas a proporção de 1% de superplastificante, em relação à massa de cimento; contudo houve segregação, logo foi necessário dosar experimentalmente a quantidade de aditivo.

Todos os materiais foram caracterizados e validados com base nas Normas Brasileiras para materiais de construção.

2.2 Procedimentos

Assim como Branco (2012), foram definidos três traços com inserção de resíduo de concreto nas proporções de 35 (T35), 40(T40) e 45%(T45) em uma composição de CAA. Para os tratamentos T35 e T40 forma incorporadas as porcentagens de RC em substituição a areia fina e no tratamento T40 foi substituída toda a areia fina e mais 5% da areia média.

O traço referência foi desenvolvido pelo método Tutikian (2004), que consiste na dosagem para Concreto Convencional Vibrado (CCV) o qual é ajustado até se tornar um concreto autoadensável.

O traço de referência seguiu a composição básica de Branco (2012), conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Proporções encontradas para o traço referência.

	Traço 1:m	1:4
Parâmetros de Dosagem	Teor de argamassa (%)	60%
	Cimento (Kg/m ³)	452,00
	Areia Média Fina (Kg/m ³)	541,25
	Areia Fina (Kg/m ³)	361,25
	Brita (Kg/m ³)	900
	Água (kgm ³)	196,87
	Relação a/c (Kg/Kg)	0,43

Fonte: Branco (2012).

O emprego das mesmas proporções e composições Branco (2012), tem sua justificativa nos resultados positivos obtidos pelo autor, e assim, permitir comprovar, comparar e diferenciar o estudo em questão, frente o uso de um material produzido em outra região. Para tal, a quantidade de água acrescentada em cada traço seguiu a mesma proporção da pesquisa base, contudo, a quantidade de aditivo necessária foi inferior sendo dosado de forma experimental, começando com 0,5% da massa de cimento e sendo acrescido de 0,05% a cada teste, até se obter os valores necessários nos testes para o estado fresco conforme a NBR 15823:2017.

Após passar pelos testes do estado fresco, foram moldados seis corpos de prova para cada idade, sendo de 7, 14, 28 e 56 dias, somando 96 corpos de prova e mais seis corpos para o módulo de elasticidade aos 28 dias, totalizando 120 corpos de prova.

Os traços com inserção de RC foram comparados ao traço referência, tanto nos testes de estado fresco quanto no estado endurecido.

Cabe ressaltar que os resíduos gerados na construção civil em geral apresentam qualidades inferiores aos dos agregados naturais, sendo sua densidade também menor, porém, com uma maior absorção de água em relação aos agregados provenientes da natureza. Assim sendo, faz-se necessário o estudo de dosagem para garantir a qualidade do produto gerado Liny.h et al. (2004 como citado em Branco, 2012).

2.3 Testes e Ensaios

Para o estado fresco o CAA tem suas características avaliadas/validades com base em uma série de testes que foram realizados, atendendo a norma NBR 15823:2010 (vigente a época de realização do estudo) e avaliada frente a norma vigente NBR 15823:2017 e NBR 15823:2017-2. Para o caso foram escolhidos os testes Slump flow, Funnel-V 5min e L-Box, pois estes se apresentam como altamente recomendáveis quanto à fluidez, coesão e habilidade passante.

Segundo Rambo (2009), o slump flow teste é uma união dos métodos utilizados para determinar a consistência do concreto comum. O Funnel-V, de acordo com Gomes e Barros (2009) é utilizado para medir a segregação e a capacidade do material fluir através do estreitamento de uma seção, apenas sob a ação de seu peso, simulando assim situações em que o concreto precise passar por lugares pequenos.

Já o L-Box é o ensaio no qual é medida a fluidez do concreto, bem como sua capacidade de transpor obstáculos que estejam em seu percurso.

Para a realização dos testes foram fabricados os equipamentos apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Funil-V, *Slump flow* e Caixa L, confeccionados para realização dos testes.



Fonte: Autores.

Para o estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à compressão, regido e conduzido conforme NBR 5739:2007; módulo de elasticidade, realizado conforme procedimento descrito na NBR 8522; absorção, seguindo as etapas preconizadas pela NBR 9778:2005.

Para tal os corpos de prova foram moldados e mantidos imersos em água até o dia do ensaio de rompimento, conforme Figura 2.

Figura 2 – Cura dos corpos de prova.



Fonte: Autores.

Os ensaios de resistência mecânica foram realizados utilizando máquina universal de ensaios, como pode ser visualizado da Figura 3.

Figura 3 - Corpo de prova submetido a ensaio mecânico em máquina universal.



Fonte: Autores.

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização do Resíduo de Construção

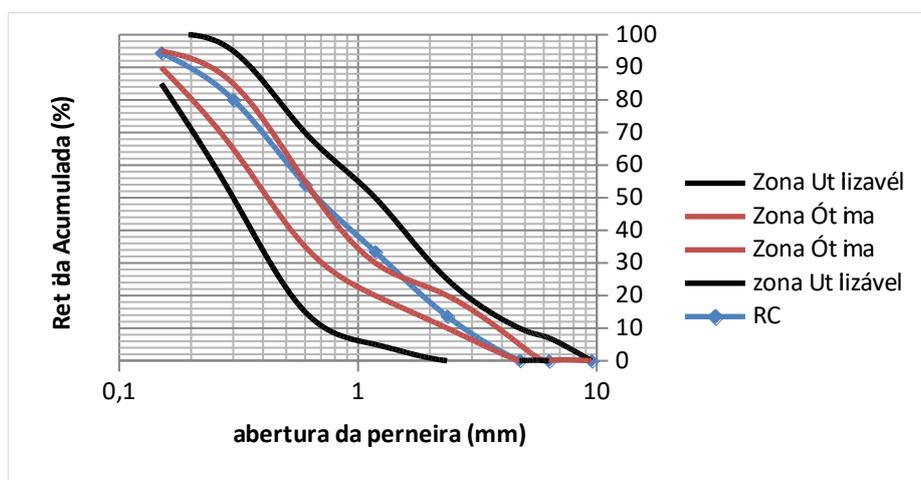
Os dados encontrados e discutidos resultam das características do resíduo de concreto empregado na composição dos tratamentos e apresentados na Tabela 2 e Figura 4.

Tabela 2 - Características do resíduo de concreto empregado nos tratamentos.

Massa Específica(g/cm ³)-NBR NM 52 -2003	1,22
Massa Unitária Seca(g/cm ³)-NBR NM 45: 2006	1,62
Teor de Materiais Pulverulentos(%)-NBR NM 46:2003	13,27
Modulo de Finura- NBR NM 248: 2003	2,75

Fonte: Autores.

Figura 4 - Distribuição granulométrica do resíduo de concreto empregado nos tratamentos.



Fonte: Autores.

Com base nos valores da Tabela 2 e Figura 4, é possível inferir que o resíduo fornecido e empregado no estudo apresenta alta porcentagem de materiais pulverulentos, se comparado a areia fina, para o qual foi substituto parcial e integral de acordo com o tratamento. Essa característica pode interferir na quantidade de água ou aditivo necessária para que o CAA passe pelos testes de estado fresco, no entanto, o módulo de finura do material não prejudica o desempenho do produto, podendo inclusive facilitar as operações de bombeamento. Barros (2008), afirma que o excesso de agregados miúdos com módulo de finura menor que 2,6mm torna a misturas muito pesada, o que prejudicaria a bombeabilidade devido à alta coesão e fricção produzidas no tubo de bombeamento.

3.2 Composição dos Traços

Diferente da composição do traço referência de Branco (2012), em que o plastificante foi limitado a 1%, a quantidade de finos e/ou as condições ambientais quando do preparo do tratamento provocou segregação do material na mesma porcentagem de plastificante, como pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5 - Resultado do *slump flow* para o traço referência com 1% de aditivo plastificante.



Fonte: Autores.

Este comportamento também foi observado por Silva (2019), quando da análise de CAA com substituição de cimento por finos de cerâmica vermelha, mas somente em proporções superiores a 20%.

A fim de garantir sua aprovação nos testes de estado fresco, optou-se no desenvolvimento dos traços, variar a quantidade de aditivo ao invés da água. O fato se justifica pela conseguinte tendência de perda de resistência com o acréscimo de água.

Para comprovar a necessidade de se variar a quantidade de aditivo ao invés da quantidade de água, foram confeccionados seis corpos de prova com 40% de adição de RC, mantendo o valor de aditivo encontrado para o TR. Como resultado para tal traço foram necessários 1,405 L a mais de água o que baixou drasticamente a resistência.

A Tabela 3 apresenta a dosagem de cada material utilizado na composição dos traços produzidos.

Tabela 3 - Composição dos traços, referência e tratamentos.

Traço	Cimento (Kg)	Ar.Fina (Kg)	Ar.Média (Kg)	Rc (Kg)	Brita (Kg)	Água (L)	Aditivo (g)
TR	7,22	5,78	8,66	0,00	14,44	3,15	46,93
T35	7,22	0,72	8,66	5,06	14,44	3,24	50,54
T40	7,22	0,00	8,66	5,78	14,44	3,25	61,37
T45	7,22	0,00	7,94	6,50	14,44	3,26	64,98

Fonte: Autores.

3.3 Testes de Estado Fresco

Por meio do emprego dos equipamentos confeccionados foram realizados os testes, sendo os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados obtidos para os testes de estado fresco, em cada tratamento.

Traço	Funil-V (s)	Caixa L			Slump flow (mm)
		RB H2/H1	T20 (s)	T40 (s)	
TR	6,37	0,833	0,48	0,78	630
T35	8,10	0,875	0,41	1,61	590
T40	6,68	0,857	0,80	0,90	720
T45	8,60	0,875	0,48	1,13	600

Fonte: Autores.

Estes resultados classificam todos os traços produzidos nas mesmas categorias sendo SF1, VF1 e PL2 de acordo com a NBR15823:2017. Com exceção do traço T40 o qual se classifica como SF2 no teste de espalhamento.

Os resultados obtidos no slump flow, Funil V e Caixa L, foram semelhantes aos valores obtidos por Araujo Barbosa, e Dos Santos, (2003), sendo que o teste de Caixa L obteve relação próxima ao de Coppola (2000).

A classificação da NBR 15823:2017, com relação à classe de espalhamento, permitiria aos traços produzidos, classificados como SF1, utilização em:

*“Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armaduras e embutidos, cuja a concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.
Concreto autoadensável bombeado.
Estruturas que exigem uma curta distância de deslocamento horizontal do concreto autoadensável.”
(NBR15823:2017)*

O traço T40 classificado como SF2, conforme a NBR 15823:2017, pode ser aplicado em:

“Adequada para a maioria das aplicações correntes.” (NBR15823:2017)

Já a classe de viscosidade na qual os traços estudados se encontram indica que estes seriam, segundo a norma vigente, adequados ao uso:

*“Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e segregação
Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.” (NBR15823:2017)*

Com relação a habilidade passante, a classificação obtida indica que a norma considera para todos os traços a aplicação:

*“Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamento entre 60mm e 80mm.”
(NBR15823:2017)*

Cabe ressaltar que as indicações de uso descritas nas normas referenciadas são para concreto convencional e condicionadas as características físicas do material, de modo que, a recomendação do CAA com resíduos exigem demais estudos.

3.4 Testes para o Estado Endurecido

3.4.1 Resistência Mecânica

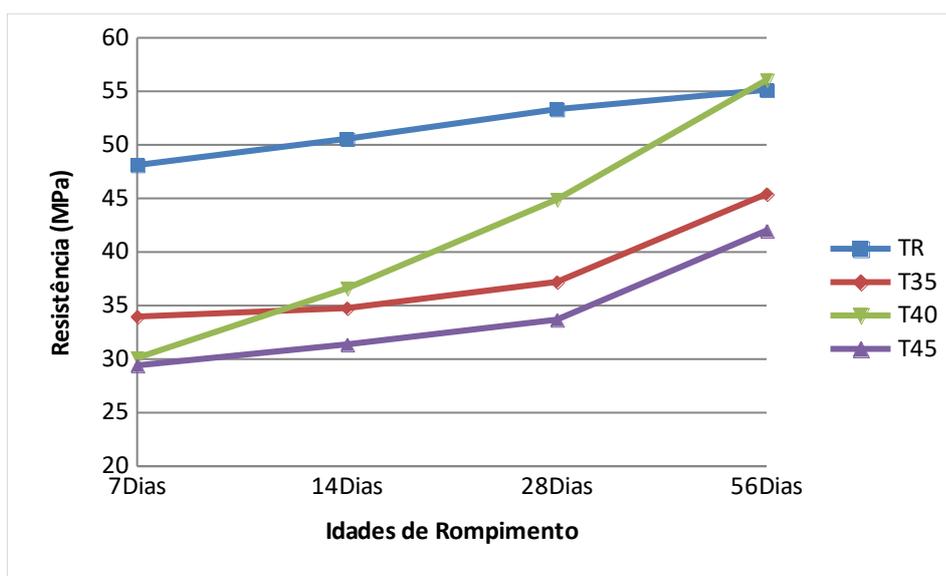
Após os corpos de prova atingirem os respectivos períodos de cura foram ensaios a compressão, sendo a resistência média de cada tratamento apresentada na Tabela 5. Na Figura 6 é possível verificar o comportamento da resistência à compressão nos diferentes períodos de cura.

Tabela 5 - Resistência à compressão dos tratamentos nos diferentes períodos de cura.

Tratamento	Sete dias (Mpa)	14 dias (Mpa)	28 dias (Mpa)	56 dias (Mpa)
TR	48,12	50,56	53,33	55,14
T35	33,97	34,76	37,20	45,42
T40	30,11	36,61	44,90	56,06
T45	29,41	31,37	33,68	42,00

Fonte: Autores.

Figura 6 - Crescimento da resistência à compressão.



Fonte: Autores.

Como pode ser observado na Tabela 5 e Figura 6, o traço referência apresenta maior média de resistência a compressão em comparação aos demais tratamentos em todos os períodos de cura, salvo aos 56 dias, quando foi superado pelo traço TR40. Os autores Freitas, Freitas, Rodrigues e Barboza (2020) em trabalho de objetivo comum, porém com adição de resíduo de polimento de pisos cerâmicos em proporções similares, superaram o tratamento referência, em ambos os tratamentos, já a partir dos 28 dias de cura.

O resultado aqui alcançado, sugere que a inserção de RC, na proporção de 40%, proporcionou um melhor empacotamento dos componentes obtendo assim uma massa com menos vazios. Mcgeary (1961 como citado em Barbosa, 2008), define o fenômeno do empacotamento de partículas como a proporção e o tamanho adequados dos materiais utilizados na composição do traço, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores.

As curvas de crescimento representadas na Figura 6 apresentam uma variação de 13% na resistência do traço referência, 25% para o T35, 46% para T40 e 30% para T45. Essa variação foi superior à obtida por Branco (2012) onde o traço médio de granulometria fina e com 40% obteve 14%, perfazendo a maior variação.

Cabe ressaltar que a variação observada nos traços pode ter sido provocada pela temperatura ambiente nos dias de confecção dos traços, a qual teve grande amplitude térmica, variando de 30 a 1°C. O traço T40 foi confeccionado no dia de menor temperatura.

Cecconello e Tutikian (2012), afirmam que a temperatura é um dos fatores de influência no ganho de resistência do concreto. Ikematsu e Laguna (2020) acrescentam que durante o inverno, é relativamente frequente o retardamento de pega do concreto e as consequentes quedas das resistências nas idades iniciais. Para Laguna e Ikematsu (2011) ao se trabalhar com temperaturas abaixo de 15°C gera-se o efeito chamado “baixo nível de calor de hidratação” o que gera um retardamento das resistências iniciais.

Os resultados aqui encontrados são inferiores aos obtidos por Branco (2012), mesmo tendo as mesmas proporções. Esse fato deve-se a um efeito mencionado por Cavalcanti (2006), o qual é causado pela adição de aditivo. O autor afirma que a incorporação de superplastificante em pastas, argamassas ou concretos provoca alterações nas propriedades e características da mistura, como a hidratação, aumento da porosidade, morfologia dos hidratos, evolução da resistência, fluidez, tempo de pega, retração, segregação e exsudação, dentre outras. Tais características podem ser influenciadas de forma positiva ou negativa na mistura.

Os resultados e discussões são amparados pela análise de significância dos dados, frente a ensaio estatístico ANOVA, para planejamento fatorial 2⁴ com 6 repetições, apresentado pela Tabela 6.

Tabela 6 - Anova, 5% nível de significância.

Effect	Univariate Tests of Significance for Ensaio de Compressão (CONCRETOS.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	P
Intercept	164875,7	1	164875,7	233886,25	0,000000
Tratamento	4237,5	3	1412,5	200,35	0,000000
Dias de Cura	2745,5	3	915,2	129,81	0,000000
Tratamento * Dias de Cura	734,4	9	81,6	11,57	0,000000
Error	564	80	7,1		

Fonte: Autores.

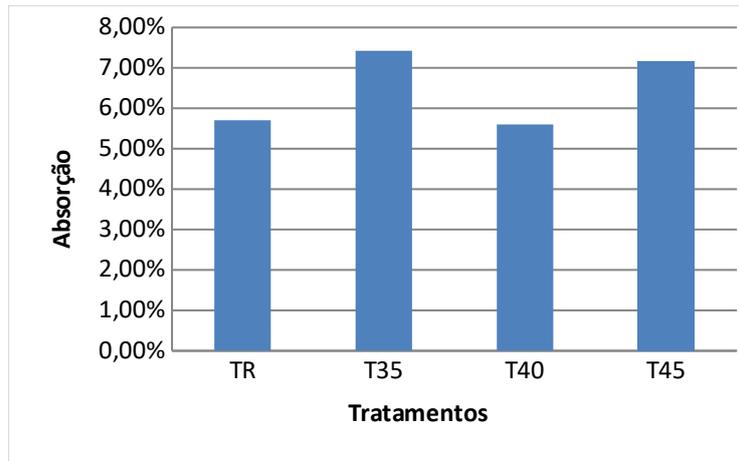
De acordo com a Tabela 6 é possível verificar que o planejamento fatorial 2⁴ com seis repetições foi significativo. Indicando que o tempo de cura depende também do teor de resíduo incorporado no concreto. Os dados experimentais são explicados pelo modelo com R² = 0,932.

3.4.2 Absorção

Os resultados do teste de absorção concordam com o resultado de resistência e reforçam a hipótese de melhor empacotamento das partículas no tratamento de 40% de RC, pois sugere um menor índice de vazios, o que aumentaria a massa específica e melhoraria a resistência.

A Figura 7, apresenta a taxa de absorção obtida a partir da relação entre as massas dos corpos-de-prova saturados e secos para cada um dos tratamentos.

Figura 7 - Taxa de absorção calculada para cada tratamento.



Fonte: Autores.

Para o traço referência a absorção foi de 5,7%, já para os traços com 35% e 45% de resíduos os valores encontrados foram de 7,42% e 7,17% respectivamente, sendo o T40 o traço que obteve a menor porcentagem, de 5,6%.

Os resultados do teste de absorção concordam com o resultado de resistência e reforçam a hipótese de melhor empacotamento das partículas no tratamento de 40% de RC, pois sugere um menor índice de vazios, o que aumentaria a massa específica e melhoraria a resistência.

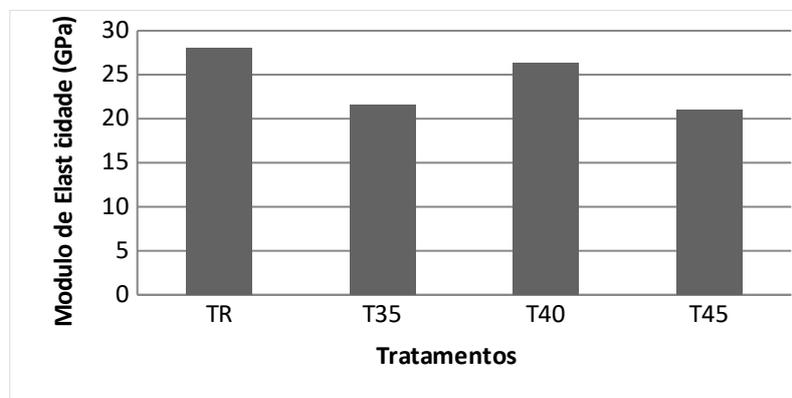
Sentena e Kazmierczak (2010), também concluíram que quanto menor a resistência à compressão do concreto reciclado, maior é a porosidade do resíduo e maior é a absorção dos concretos com resíduos.

Sato (1998), afirma que a taxa de penetração de água é muito importante por estar relacionada à taxa de transporte de agentes agressivos os quais são absorvidos devido à permeabilidade do concreto, pois somente através da umidade é que os agentes são transportados para o interior do concreto podendo levar a corrosão da armadura. Sendo assim, os traços estudados se mostraram com uma absorção excessiva o que prejudicaria sua utilização.

3.4.3 Módulo de Elasticidade

Os valores de módulo de elasticidade obtidos para cada tratamento são apresentados pela Figura 8.

Figura 8 - Módulos de Elasticidades de cada tratamento.



Fonte: Autores.

Conforme Figura 8, o traço que obteve maior valor para o módulo de elasticidade foi o TR, o qual não possui adição de RC, com 28,03 Gpa, seguido pelo traço com 40% de substituição da areia fina o T40 com 26,38 GPa, já os valores obtidos para os traços de 35 e 40%, foram muito próximos com 21,63 e 20,98 Gpa, respectivamente.

Mehta e Monteiro (1994), afirmam que os resultados de módulo de elasticidade estão diretamente ligados a porosidade do agregado e ao tamanho, forma e textura das partículas. Assim sendo, os resultados obtidos corroboram com estas afirmações, tendo em vista que segundo Leite (2001), o RC possui como características a alta porosidade e diferenças de forma e textura superficial o que prejudica os resultados quando comparados ao TR.

Schulz e Hendricks (1992), encontraram diferenças significativas no resultado do módulo de elasticidade quando da comparação entre concreto com agregado reciclado e o convencional. Segundo os autores, concretos com RC podem apresentar valores de 43% a 50% menores que os convencionais.

Mendes (2015), também concluiu que o CAA apresenta valores de módulo de elasticidade menores que do concreto convencional, fato este que é explicado por Santos Cabral, Monteiro e Helene, (2013), segundo estes autores, em geral, quanto maior a quantidade de agregados graúdos com alto módulo de elasticidade em uma mistura de concreto, maior será o módulo de elasticidade do concreto. Logo, quando há uma diminuição no volume de agregados para aumentar a quantidade de pasta, como ocorre no CAA, perde-se elasticidade.

Os traços estudados apresentaram resultados inferiores ao do TR de 5,89% a 25,14% menores.

4. Considerações Finais

Os resultados obtidos, quando das análises de estado fresco, classificam os tratamentos em SF1, VF1 e PL2 de acordo com a NBR15823:2010. Frente ao estado endurecido o traço com melhor resistência à compressão em todas as idades foi o traço referência com exceção aos 56 dias onde foi superado pelo traço com 40% de adição o qual obteve 56,06 MPa. O módulo de elasticidade encontrado para o tratamento referência foi de 28,03 Gpa, ficando os resultados dos tratamentos T45, 40 e 35% entre 5,89% a 25,14% menores que o valor referência.

Através destes resultados é possível aferir que o resíduo de concreto não prejudica o comportamento do concreto autoadensável no estado fresco. Pode ainda melhorar o desempenho mecânico do mesmo quando utilizado na proporção correta. Contudo, o concreto autoadensável se mostrou sensível à adição do aditivo e o fator temperatura ambiente nos dias de confecção dos corpos de prova, principalmente, quando do traço T40, podem ter influenciado os resultados, sugerindo replicações e/ou maiores estudos para a comprovação dos resultados.

Referências

- ABNT (2003). NBR. NM 248. *Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- ABNT (2003). NBR. NM 52. *Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- ABNT (2003). NBR. NM 46. *Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- ABNT (2006). NBR. NM 45. *Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2007). NBR 5739. *Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- ABNT (2008). NBR. 8522. *Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- ABNT (2009). NBR. 9778. *Argamassa e concreto endurecidos – absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- ABNT (2010). NBR. 15823: Concreto auto-adensável. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (ABNT).
- ABNT (2017). NBR. 15823. *Concreto auto-adensável* (vigente). Associação Brasileira de Normas Técnicas. (ABNT).

- ABNT (2017). NBR 15823-2. *Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- Araújo, J. L.; Barbosa, N. P.; Dos Santos, S. B. (2003, agosto). Concreto auto-adensável com materiais locais no nordeste brasileiro. In *45º Congresso Brasileiro de Concreto*. Vitória, Espírito Santo.
- Barbosa, M. P. (2008). *Concreto fresco: influência do empacotamento de partículas e outros fatores. Introdução à ciência dos materiais aplicados à engenharia civil*. Ilha Solteira: UNESP.
- Branco, R. P. (2012). *Utilização de resíduos de concreto em concreto auto-adensável*. (Dissertação de mestrado). Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.
- Barros, P. G. d. S. (2008). *Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto autoadensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.
- Cavalcanti, D. J. H. (2006). *Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.
- Cecconello V., & Tutikian B. (2012). A influência das baixas temperaturas na evolução das resistências do concreto. *Revista Ibracon*, 5(1), 68-83.
- Coutinho, B. S. (2011). *Propriedades e comportamento estrutural do concreto auto-adensável*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Coppola, L. (2000). Self-compacting concrete. *Revista Concrete Technology*, 42-47.
- Freitas, A., Freitas, A., Rodrigues, D. M., & Barboza, L. S., (2020). Concreto Autoadensável com baixo consumo de cimento com adição de resíduo de polidora cerâmica. *Revista Tecnológica*, 29(2), 613-632. doi.org/10.4025/revtecnol.v29i2.52767
- Gomes, P. C.; Barros, A. R. (2009). *Métodos de Dosagem do Concreto Auto Adensável*. Pini.
- Klein, N. S. (2008). *Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto auto-adensável*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- Laguna, L. A. & Ikematsu P. (2011). Influência térmica na desforma do concreto. *Revista Prisma*, (37), 31-35.
- Leite, M. B. (2001). *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. (Tese de doutorado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Feral do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Lisbôa, E. M. (2004). *Obtenção do concreto auto-adensável utilizando o resíduo de serragem de mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. (1994). *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. Pini.
- Mendes, C. J. (2015). *Concreto Autoadensável Utilizando Cinza de Casca de Arroz: Estudo das Propriedades Mecânicas*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira.
- Mesquita, E., Frota, C., Marques, A., Moreira, K., & Coelho, F. (2009, outubro). Avaliação das propriedades reológicas da pasta auto adensável com incorporação de resíduo de serragem de rochas ornamentais. In *Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará*, Fortaleza, Brasil.
- Oliveira, M. J. E. (2002). *Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem*. (Tese de doutorado). Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Rambo, D. A. (2009). *Estudo da trabalhabilidade do concreto autoadensável*. (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul. Ijuí.
- Ikematsu P. & Laguna, L. A. (2020, 22 de novembro). *A influência da temperatura na desforma do concreto*. Recuperado de <https://docplayer.com.br/67982918-Tecnica-a-influencia-da-temperatura-na-desforma-do-concreto-consultoria.html>
- Santos, A. M., Cabral, L. M. C., Monteiro, E. B., & Helene P. R. L. (2013, outubro). Análise do Módulo de Elasticidade Estático e Dinâmico para Diferentes dosagens de Concreto. In *55º Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON*. Gramado, Brasil.
- Sato, N. M. N. (1998). *Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos*. (Tese de doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Sentena, J. A. A., & Kazmierczak, C. S. (2010, março). Absorção de água por capilaridade em concretos com agregados reciclados de concreto. In *XI Salão de Iniciação Científica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos*, Porto Alegre, Brasil.
- Silva, N. G., Buest, G., & Campiteli, V. C. (2005, abril). Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas. In *VI Simpósio Brasileiro de Argamassas, I International Symposium on Mortars Technology*. Florianópolis, Brasil.
- Silva, W. G. (2012). *Avaliação de concreto auto-adensável com agregado reciclado de telha cerâmica*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Silva, W. G. (2019). *Concreto alto densável com substituição parcial de cimento por finos menores que 75µm de resíduos de telha cerâmica vermelha: aspectos reológicos e físicos*. (Tese de doutorado). Programa de Pós graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.

Souza, M. I. B., Segantini, A. A. S., & Pereira, J. A. (2008). Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(2), 205–212.

Schulz, R. R., & Hendricks, C. F. (1992, dezembro). Recycling of masonry rubble. In *Reecycling of Demolished Concrete and Masonry*, Rilem Technical Committee, London, Inglaterra.

Tutikian, B. E. (2004). *Métodos de dosagem para concretos auto-adensáveis*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, Brasil.

Ulsen, C., Kahn, H., Angulo, S. C., & John, V. M. (2010). Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do Estado de São Paulo. *Revista Escola de Minas*, 63(2), 339-346.