

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM AGREGADOS RECICLADOS

Poliana Oliveira Nassulha (Engenheira Civil / UNASP) E-mail: poliana40_20@hotmail.com

Lucas da Silva Barboza (Professor Doutor / UNASP) E-mail: lucas.barboza@unasp.edu.br

Artur Lenz Sartorti (Professor Doutor / UNASP) E-mail: artur.sartorti@unasp.edu.br

Resumo: A construção civil está diretamente relacionada a grande quantidade de resíduos e entulhos depositados no meio ambiente. Com o intuito de dar um outro fim aos resíduos de construção civil, tem-se mostrado promissor a reciclagem desses materiais, sendo que uma das formas de reciclagem é a utilização como substituto do agregado natural. Nesse âmbito, o objetivo dessa pesquisa foi analisar a influência do agregado reciclado na resistência à compressão do concreto autoadensável (CAA). A metodologia utilizada para a fabricação do concreto autoadensável é apresentada por Gomes (2002), onde ele estabelece a dosagem e apresenta as três etapas do CAA: pasta, agregado (esqueleto granular) e concreto. Analisou-se então a resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade nas idades de 3, 7, 28, e 91 dias. Verificou-se que o CAA com agregados reciclados obteve 55% da resistência à compressão do CAA com agregados naturais, denominado concreto de referência, na idade de 91 dias. A queda de resistência do CAA com agregados reciclados está relacionada ao tipo de agregado utilizado na pesquisa, pois as características do agregado como dimensão, forma e granulometria podem causar alteração da relação água/cimento. Porém o CAA com agregados reciclados ainda pode ser aplicado em determinadas construções sem que ocorra prejuízos significantes na resistência à compressão, seguindo um critério rigoroso na escolha e separação dos agregados reciclados.

Palavras-chave: Concreto autoadensável, agregados reciclados, resistência à compressão.

ANALYSIS OF RESISTANCE TO THE COMPRESSION OF THE SELF-ESTABLISHED CONCRETE WITH RECYCLED AGGREGATES

Abstract: Construction is directly related to the large amount of waste and debris deposited in the environment. In order to give another end to the waste of construction, it has shown promise recycling of these materials, and one way of recycling is to use as a substitute for natural aggregate. In this context, the objective of this research was to analyze the influence of the recycled aggregate on the compressive strength of the autoandensable concrete (CAA). The methodology used for the manufacture of self-compacting concrete is by Gomes (2002), where it sets the dosage and shows the three stages of the CAA: binder, aggregate (granular skeleton) and concrete. Then analyzed compressive strength, diametral tensile strength to compressive, tensile strength and the bending elastic modulus at the ages of 3, 7, 28, and 91 days. It was verified that the CAA with recycled aggregates obtained 55% of the compressive strength of the CAA with natural aggregates, called reference concrete, at the age of 91 days. The drop resistance to SCC recycled aggregates is related to the type of aggregate used in research because the aggregate characteristics such as size, shape and particle size can cause alteration of the water/cement ratio. However recycled aggregates with CAA can also be applied in certain constructions without significant losses occur in resistance to compression, following a strict criterion in the selection and separation of recycled aggregates.

Keywords: Self-compacting concrete, recycled aggregates, compressive strength.

1. Introdução

Do Uma das grandes preocupações ambientais está relacionada ao elevado consumo dos recursos naturais e a degradação do meio ambiente. Um dos agentes causadores dessa degradação ambiental é a construção civil, gerando toneladas de entulhos e resíduos. A falta de qualidade no setor da construção civil dá origem a perdas de materiais e ao desperdício. Porém, existem também obras que não são feitas de acordo com os padrões de qualidade e que no decorrer de sua vida útil apresentam manifestações patológicas, o que demanda maior matéria prima e conseqüentemente geração de resíduos (LEITE, 2001).

Uma alternativa viável para a redução desses resíduos é a reciclagem, porém é preciso conhecer muito bem seu comportamento físico, químico e tecnológico. Os resíduos reciclados de construção civil podem ser utilizados de diversas maneiras, sendo uma delas como agregado reciclado na produção de novos concretos.

O agregado reciclado é proveniente de resíduos da construção civil (RCC) ou resíduos da construção e demolição (RCD), e é definido como todo resíduo gerado no processo de construção, demolição, escavação ou reforma (ABRECON, 2017). Apesar de existirem vários tipos de resíduos da construção civil, o que possui maior potencial de utilização, e que será utilizado na pesquisa, será o resíduo de concreto, pois suas propriedades são conhecidas e possui menor grau de contaminação (BUTTLER, 2003).

A composição que forma o agregado reciclado é variável e heterogênea, possui alta porosidade, menor densidade, e seus componentes são menos resistentes (GOMES et al., 2015). A alta porosidade faz com que esse agregado absorva uma parte da água da mistura e como resultado pode haver perda de consistência e trabalhabilidade (TENÓRIO, 2007). Nesse mesmo contexto, Leite (2001) afirma que do mesmo modo como o agregado reciclado absorve a água da mistura, ele também pode perder água para a mesma, caso esteja saturado. De acordo com Tenório (2007) a massa específica sofre variabilidade em decorrência da variação da porosidade, desse modo elas estão diretamente ligadas.

Outras propriedades do agregado reciclado como granulometria, teor de finos e materiais pulverulentos dependem do equipamento utilizado no momento de britagem, origem e granulometria do resíduo (ÂNGULO, 2005).

Pesquisadores são desafiados a desenvolver novas tecnologias que atendam a necessidade de otimizar sistemas estruturais, sendo uma delas a produção de concreto com agregados reciclados. E para se ter maior controle de qualidade durante a execução, busca pela economia e redução dos impactos ambientais tem-se desenvolvido em meio a construção civil a utilização do concreto autoadensável (CAA).

O concreto autoadensável (CAA) define-se por sua habilidade em passar por obstáculos e preencher espaços sem a necessidade de adensamento mecânico, ou seja, seu adensamento é feito por meio de seu próprio peso, garantindo o preenchimento uniforme e com baixo teor de vazios (CAVALCANTI, 2006). Shindoh e Matsuoka (2003) ainda afirmam que o CAA pode preencher áreas fortemente reforçadas sem necessidade de aplicação de vibração.

De acordo com Almeida Filho (2006) o CAA apresenta algumas propriedades principais no estado fresco que podem ser classificadas como: resistência à segregação, fluidez elevada, capacidade de preenchimento entre armaduras e trabalhabilidade. Essas

propriedades são analisadas com maior frequência por sua facilidade de aplicação na obra, se comparadas às propriedades no estado endurecido de acordo com Cavalcanti (2006). Porém, de acordo com a literatura técnica, isso não é um problema, pois as propriedades do CAA comparadas ao concreto convencional no estado endurecido não apresentam diferenças relevantes.

A fluidez é a característica mais importante do CAA, pois ela está diretamente relacionada com a resistência e durabilidade do concreto, sendo essa determinada pela capacidade de preenchimento das formas (ALMEIDA FILHO, 2006), uma vez que tal capacidade está associada com a fluidez. O CAA é capaz de preencher espaços com alta taxa de armadura, tal propriedade é determinada pela capacidade de escoar sem que ocorra bloqueio do fluxo por meio de formas complexas e possíveis obstáculos (GOMES e BARROS, 2009). Segundo Gomes e Barros (2009), a propriedade do CAA de resistir a segregação é a capacidade de impedir a separação do agregado graúdo dos demais elementos do concreto, sendo que a segregação pode ocorrer durante seu transporte e lançamento.

Os concretos confeccionados com agregados reciclados sofrem influência da porosidade do agregado. Eles apresentam menor consistência pois possuem maior teor de finos, forma lamelar ou angular dos grãos, textura superficial rugosa e maior porosidade como já apresentado anteriormente (TENÓRIO, 2007).

Através do estudo de Leite (2001), foi determinado que o concreto convencional com agregado reciclado possui abatimentos mais baixos e variáveis se comparado ao concreto convencional. O concreto com agregado reciclado apresentou também menor disposição a segregação e por causa da grande absorção dos agregados reciclados, consequentemente menor exsudação.

Tenório (2007) apresenta alguns fatores que podem ser levados em consideração para minimizar os efeitos negativos do concreto com agregado reciclado, sendo alguns deles: pré-molhagem ao se iniciar a mistura ou aumento da quantidade de água no traço, aumento do consumo de cimento, utilizar adições como o fíler por exemplo, utilizar ou aumentar o uso de superplastificantes, e por fim utilizar agregados graúdos menos porosos, ou seja, mais densos e com menor absorção de água.

O concreto com agregado reciclado apresenta menor resistência à compressão comparado ao concreto com agregado natural, e alguns fatores importantes para essa determinação são: relação a/c (Lei de Abrams), teor de substituição do agregado graúdo, idade, a interação teor de substituição do agregado graúdo x relação a/c, a interação idade x relação a/c, e a relação teor de substituição do agregado graúdo x idade x relação a/c (LEITE, 2001).

Dentro desse contexto é viável a utilização do concreto autoadensável em substituição integral do agregado natural pelo agregado reciclado?

Nesta pesquisa se analisou a resistência à compressão do concreto autoadensável com agregado reciclado em idades de 3, 7, 28 e 91 dias. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de compressão axial, tração por compressão na diametral, tração na flexão e módulo de elasticidade. Espera-se que a resistência mecânica seja próxima ao do concreto autoadensável com agregado natural.

2. Metodologia Experimental

Apresenta-se nesse item a metodologia utilizada para o desenvolvimento do CAA com agregados reciclados. Os ensaios foram realizados no laboratório de estruturas e

materiais do UNASP.

Segundo Barboza (2016) os mesmos materiais que são utilizados para a produção do concreto convencional podem ser empregados também na produção do CAA, sendo que as maiores diferenças entre os dois são o emprego de “finos” e aditivos dispersantes de grande eficiência utilizados no CAA.

2.1 Materiais utilizados

Foi utilizado cimento CP II Z 32, por ser muito empregado na região em que foi desenvolvida a pesquisa, sílica ativa que tem como função a de gerar o refinamento dos poros por meio da ação pozzolânica e de empacotamento nos níveis abaixo da granulometria do cimento, sendo sua massa específica de 2,22 g/cm³. Também foi utilizado fíler proveniente do calcário, compacto e de granulação fina de cor branca, conhecido também como pó de calcário, e aditivo superplastificante para proporcionar ao concreto boa trabalhabilidade e coesão sem que ocorra segregação dos agregados. O superplastificante exibiu pH (25°C) = 4,30 e massa específica de 1,06 kg/m³.

Utilizou-se para esta pesquisa areia proveniente da região de Campinas-SP, de origem quartzosa. As normas utilizadas para a caracterização do agregado miúdo, que está apresentada na Tabela 1, foram: composição granulométrica, dimensão máxima característica e módulo de finura (ABNT NBR NM 248:2003), classificação granulométrica (ABNT NBR 7211:2009); massa unitária no estado solto e estado compactado seco e índice de vazios (ABNT NBR NM 45:2009); massa específica (ABNT NBR NM 52:2009).

Os agregados reciclados foram fornecidos pela empresa Novo Rumo Areia e Pedra tendo origem dos resíduos de construção e demolição denominados também de resíduo “cinza”, da região de Guarulhos-SP. Em meio aos agregados foi possível observar a presença de outros materiais como: pedaços de plásticos, fibras de aço, pedaços de madeira e papel. Foi necessário então retirar esses materiais para que a resistência mecânica do concreto não fosse prejudicada. O material reciclado continha várias granulometrias, por isso fez-se a separação dos mesmos através de peneiras, caracterizando-o como brita 0.

O agregado foi caracterizado de acordo com as normas: composição granulométrica, dimensão máxima característica e módulo de finura (ABNT NBR NM 248:2003); classificação granulométrica (ABNT NBR 7211:2009); massa unitária no estado solto e estado compactado seco e índice de vazios (ABNT NBR NM 45:2009); massa específica (ABNT NBR NM 53:2009); Determinação da composição granulométrica (ANBT NBR NM 248:2003).

Tabela 1 – Caracterização física dos agregados miúdos

Parâmetro	Agregado miúdo	Agregado graúdo reciclado	Agregado graúdo natural
DMC (mm)	4,80	12,50	9,50
Módulo de finura	4,17	5,90	5,92
Classificação	Grossa	4,75/12,5	4,75/12,5
Massa específica seca (g/cm ³)	2,54	1,79	2,74
Massa específica sat. Sup. seca (g/cm ³)	2,55	2,29	2,79
Massa unitária (g/cm ³)	1,50	1,22	1,45
Índice de vazios (%)	41,14	50,67	49,01

2.2 Dosagem do concreto

Para esta pesquisa foram elaborados um concreto autoadensável com agregados reciclados e um concreto autoadensável de referência. A dosagem utilizada para a composição do CAA foi embasada na pesquisa de Gomes (2002), a qual aponta que o CAA pode ser dividido em três etapas: pasta, agregado (esqueleto granular) e concreto.

2.2.1 Etapa pasta

De acordo com a observação de Gomes (2002), o CAA necessita de alta fluidez com baixa taxa de segregação dos agregados, o que demanda uma otimização de material de pasta e agregado.

Essa etapa envolve a aplicação de dosagens de superplastificantes e de fíleres para garantir a fluidez e a coesão entre as partículas. As características dos materiais a serem empregados são importantes, pois o ponto de saturação vai depender do tipo de cimento, da relação água/cimento, do tipo de superplastificante, do tipo de adição mineral e de sua dosagem, e da sequência da mistura dos materiais (GOMES, 2002).

Gomes (2002) afirma que a dosagem é definida pelo ponto de saturação ou pelo ponto ótimo de dosagem. O procedimento de ensaio da fluidez da pasta é importante para se determinar se ela possui fluidez suficiente, e quanto maior a fluidez da pasta a sua perda de fluidez por um tempo superior a 30 minutos é desprezada.

Para avaliar a fluidez da mistura é utilizado o ensaio de funil Marsh, sendo ele considerado um método simples e prático que tem por vantagem o uso de aparato de fácil manuseio para sustentação do funil, pequena quantidade de material e procedimento de fácil repetição.

O que compõe a pasta é a quantidade de cimento e das relações dos demais componentes da pasta em função do cimento, sendo: água (a/c), superplastificante (sp/c), pozolanas (sf/c), sílica ativa, e fíler (f/c) (GOMES e BARROS, 2009).

Os ensaios das pastas com o cone de Marsh e o mini-slump permitem obter as respectivas relações de sp/c e f/c, que geram pastas para atendimento ao concreto com alta fluidez, sem segregação e com uma moderada coesão, sem prejudicar a fluidez deste (GOMES e BARROS, 2009).

2.2.2 Etapa agregado

Obtêm-se o esqueleto granular através da medida da densidade de misturas de agregados secos não compactados e escolhendo-se a mistura com a maior densidade e menor teor de vazios. Esses dois fatores são determinados de acordo com a NM 45:2006 (ABNT, 2009) (GOMES e BARROS, 2009).

A determinação do teor ótimo de agregados leva em consideração a relação AF/AT (Agregados finos/Agregados total) que é igual a 47,5% (SU et al., 2001). Para a determinação do teor de vazios utiliza-se as Equações 1, 2 e 3 apresentadas a seguir:

$$\rho_u = \frac{\omega_t}{V_t} \quad (1)$$

$$V_{solid} = \frac{\omega_s}{\rho_{sd}} + \frac{\omega_g}{\rho_{gd}} \quad (2)$$

Dessa forma o conteúdo de vazios é obtido através de:

$$V_{\%} = 100 * \left(\frac{V_t - V_{solid}}{V_t} \right) \quad (3)$$

Sendo:

ω_t = peso total da mistura; V_t = volume total da mistura; ω_s e ω_a = peso (kg); ρ_{sd} = densidades secas para agregado miúdo; ρ_{ad} = densidades secas para agregado graúdo; V_{solid} = volume de sólido do esqueleto granular

2.2.3 Etapa concreto

Depois de feita a determinação dos teores de aditivos e adições e também a composição do esqueleto granular, o próximo passo é a determinação da composição das dosagens do CAA.

Para a obtenção de 1m³ de CAA utiliza-se a Equação 4:

Volume da argamassa:

$$V_s + V_p = 1 \quad (4)$$

Como o valor de V_s corresponde a 40% do volume total de argamassa, o volume de pasta (V_p) é igual a 60%, logo:

$$\omega_{sd} = 0,4 * \rho_{sd} \text{ e } \omega_p = 0,6 * \rho_p \quad (5)$$

$$\omega_{sd} = 0,4 * \rho_{sd} \text{ e } \omega_p = 0,6 * \rho_p \quad (6)$$

$$\omega_p = \omega_c + \omega_f + \omega_w + \omega_{sp} \quad (7)$$

$$\omega_w = \left(\frac{a}{c} \right) * \omega_c \quad (8)$$

$$\omega_f = \left(\frac{\frac{sa}{c} + \frac{f}{c}}{100} \right) * \omega_c \quad (9)$$

$$\omega_{sp} = \left(\frac{\frac{sa}{c}}{100} \right) * \omega_c \quad (10)$$

$$\omega_c = 0,6 * \left(\frac{\rho_p}{1 + \frac{a}{c} + 0,01 * \left(\frac{sa}{c} + \frac{f}{c} \right) + 0,01 * \frac{sp}{c}} \right) \quad (11)$$

Para os agregados tem-se:

$$\omega_g = \frac{(1 - V_p)}{\frac{AF/AG}{\rho_{sd}} + \frac{1}{\rho_{ad}}} \quad (12)$$

$$\omega_s = \frac{\left(\frac{AF}{AG} \right) * (1 - V_p)}{\frac{AF/AG}{\rho_{sd}} + \frac{1}{\rho_{ad}}} \quad (13)$$

Sendo:

ω_{sd} = massa da areia seca por m³ (kg); ω_p = massa de pasta por m³ (kg); ω_w = massa de água por m³ (kg); ω_f = massa de Fíler por m³ (kg); ω_{sp} = massa de superplastificante (kg); ω_c = massa de cimento por m³ (kg); ω_a = massa de brita por m³ (kg); a/c = relação água/cimento; sa/c = relação sílica ativa/cimento; f/c = relação Fíler/cimento; sp/c = relação superplastificante/cimento; AF/AG = relação areia/brita; ρ_p = massa unitária da pasta (kg/l); ρ_{sd} = massa específica da areia seca (kg); ρ_{ad} = massa específica da brita seca (kg).

2.3 Massa específica

A norma utilizada para a determinação da massa específica do concreto no estado fresco foi a NBR 9833:2009 (ABNT, 2009). Foi utilizado um recipiente metálico de 10 dm³, no qual foi preenchido com concreto, posteriormente sendo regularizada a superfície do concreto para a medida da massa, e através da relação entre a massa do concreto contida no recipiente e o volume desse recipiente obteve-se a massa do concreto no estado fresco.

2.4 Procedimentos dos ensaios

Todos os ensaios foram moldados e adensados de acordo com a NBR 5738:2016 (ABNT, 2016) e realizou-se os ensaios de resistência à compressão (ABNT NBR 5739: 2018), módulo de elasticidade (ABNT NBR 8522: 2008), resistência à tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222: 2011) e resistência à tração na flexão (ABNT NBR 12142: 2010).

3 Análises de resultados

3.1 Empacotamento dos agregados

O processo de empacotamento consistiu em fazer a mistura entre agregado graúdo e areia grossa. Iniciando-se com 100% de agregado graúdo e acrescentando agregado miúdo até atingir 50%. O valor adotado como proporção ideal foi o que apresentou maior massa unitária e menor índices de vazios.

Baseado nos dados obtidos, pode-se dizer que a melhor proporção de materiais para a mistura de agregados reciclados e areia grossa é de 50%, com massa unitária de 1,5 kg/dm³ e 43,625% de vazios. E para o outro caso a melhor proporção corresponde a 60% de agregado graúdo natural e 40% de areia grossa, com massa unitária de 1,905 kg/dm³ e 29,53% de vazios. Sendo que o valor correspondente aos vazios será preenchido com pasta de cimento. A Figura 1 apresenta a composição do esqueleto granular e suas relações AF/AG (relação agregados finos/agregados graúdos) e AF/AT (relação agregados finos/agregados total).

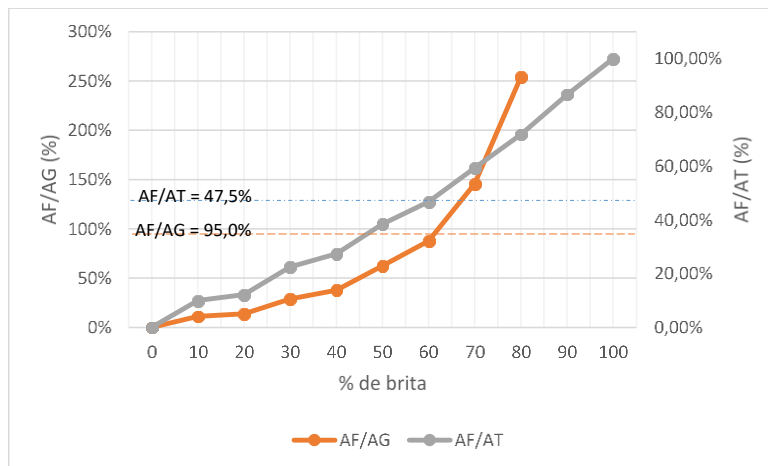


Figura 1 – Composição do esqueleto granular do agregado reciclado com suas relações AF/AG e AF/AT

3.2 Dosagem do concreto

A nomenclatura utilizada para os dois tipos de concreto será: concreto autoadensável de referência (CAAR) e concreto autoadensável com agregados reciclados (CAAAR).

Foram utilizadas as seguintes porcentagens para as adições minerais: 10% de sílica ativa e 40% de fíler calcário. A relação a/c ficou estabelecida em 0,4 e a proporção entre agregados graúdos e miúdos foi de 50% de acordo com o ensaio de empacotamento apresentado na Figura 1. O aditivo utilizado foi o ADVATM Cast 525, na proporção de 2%.

A dosagem utilizada para os dois tipos de concreto está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição do CAAR e CAAAR

Materiais	CAAR	CAAAR
Cimento (kg/m ³)	412,36	412,36
Agregado Miúdo (kg/m ³)	670,33	716,64
Agregado Graúdo (kg/m ³)	1005,49	716,64
Sílica Ativa (kg/m ³)	41,24	41,24
Fíler Calcário (kg/m ³)	164,94	164,94
Superplastificante (kg/m ³)	8,25	8,25
Água (kg/m ³)	164,94	164,94

3.3 Concreto no estado fresco

Para medir a capacidade de passagem entre armaduras, ausência de segregação e capacidade de preenchimento, foram utilizados alguns ensaios como: Funil V, Caixa L e espalhamento (Slump-flow test).

A betoneira utilizada para a mistura foi o modelo por gravidade com capacidade para 400 l, e o procedimento seguiu a sequência apresentados por Gomes (2002) e Almeida Filho (2006): Adiciona-se o agregado graúdo mais ¾ da água total e mistura-se por 30 s; Acrescenta-se o cimento, a sílica ativa e o pó de calcário com o superplastificante e o restante da água e mistura-se 120 s; E por fim coloca-se o agregado miúdo e mistura-se por mais 120 s.

Pode ser realizado ajustes se necessário para que o concreto apresente a trabalhabilidade esperada. Após isso a mistura foi submetida aos ensaios de estado fresco citados anteriormente, e é apresentado na Figura 2.



Figura 2 – Ensaio de caracterização do concreto no estado fresco, sendo da esquerda para a direita Caixa L, Funil V e Slump-flow test

O procedimento adotado para a realização do ensaio foi de acordo com a NBR 15823-4:2017 (ABNT, 2017). Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização do concreto no estado fresco

Propriedade	Limites NBR 15823:2017	CAAR	CAAAR
Massa específica (g/cm ³)	-	2,43	2,20
Slump-flow (mm)	600 a 800	815,00	790,00
T ₅₀₀ (s)	> 2	02"99	02"07
Funil V (s)	9 a 25	9"11	9"14
Caixa L, H ₂ /H ₁	≥ 0,80	0,81	0,94
Caixa L, t ₂₀ (s)	-	1" 20	1" 12
Caixa L, t ₄₀ (s)	-	2" 08	2" 09

Os ensaios apresentaram fluidez elevada, mas também apresentaram grande coesão sem sinal de segregação.

Posteriormente foram moldados 36 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) e 8 corpos de prismáticos, dividindo em 3 corpos de prova cilíndricos e 2 prismáticos para cada ensaio por idade. Após 24 horas os corpos de provas foram desmoldados e submetidos a cura submersa em água saturada com cal até as idades dos ensaios.

3.4 Resistência à compressão axial

A Tabela 3 e a Figura 3 apresentam os resultados de resistência à compressão do concreto nas idades estudadas.

Tabela 3 – Resistência à compressão do CAA com Agregados Reciclados em MPa

Ensaio de resistência à compressão N° CP's	CAAAR				CAAR			
	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
Média (MPa)	20,75	28,88	39,92	46,53	28,87	43,85	54,89	83,59
Desvio padrão (MPa)	0,49	0,62	2,00	1,44	6,69	1,32	0,98	0,58
CV (%)	2,36	2,15	5,01	3,09	23,17	3,02	1,78	0,69

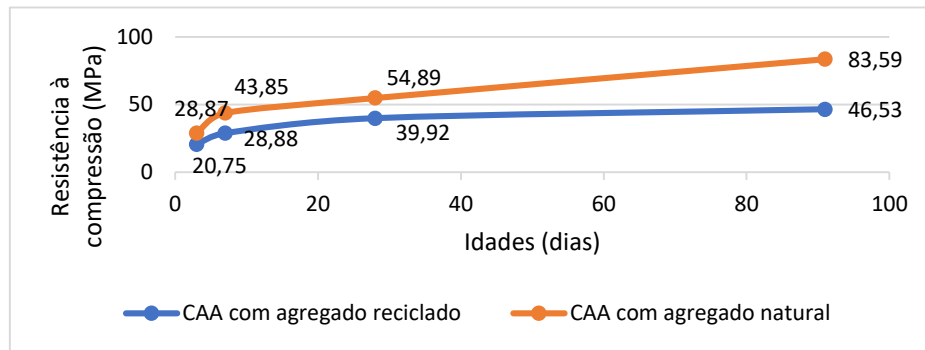


Figura 3 – Resultados de resistência à compressão dos concretos em análise

Os corpos de prova de CAA com agregados reciclados apresentaram resistências baixas em relação ao concreto de referência em todas as idades. Isso pode estar relacionado ao tipo de agregado utilizado para a pesquisa. Normalmente a resistência do agregado não é um fator preponderante na determinação da resistência do concreto, pois é muito mais resistente do que a zona de transição na interface do concreto e sua matrix (METHA e MONTEIRO, 1994).

Porém com a utilização do agregado reciclado, há necessidade de verificar as suas características como dimensão, forma, textura superficial e granulometria. Essas características podem causar alteração da relação água/cimento e conseqüentemente influenciar a resistência mecânica do concreto. Outro fator a se considerar é a composição mineralógica do agregado reciclado, sendo que nesse caso o agregado utilizado é derivado de concreto, ele possui em sua composição agregados naturais e pasta de cimento.

Seu uso ainda pode ser aplicado em determinadas construções com critério rigoroso na escolha dos agregados reciclados. Dentre os resultados a idade que obteve maior perda de resistência com a substituição do agregado natural pelo reciclado foi a de 91 dias, alcançando apenas 55% da resistência do concreto de referência.

3.5 Módulo de elasticidade estático

Barboza (2016) apresenta a importância da verificação do módulo de elasticidade já que ele está relacionado com as deformações estruturais tanto imediatas como as de longo prazo.

Os resultados do módulo de elasticidade do CAA com agregados reciclados e do CAA de referência estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Módulo de elasticidade do CAA com Agregados Reciclados

Módulo de elasticidade	CAAAR				CAAR	
	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	28 dias	91 dias
Nº CP's	3	3	3	3	3	3
Média (GPa)	22,76	23,26	44,45	36,90	46,38	53,08
Desvio padrão (GPa)	0	3,17	12,66	2,17	1,71	0,24
CV (%)	0	13,63	28,48	5,88	3,68	0,46

O módulo de elasticidade sofre maior influência das características elásticas dos agregados. No CAA com agregados reciclados pode haver módulo de elasticidade menor, já que os agregados reciclados apresentam maior índice de vazios. Para a idade de 3 dias foram perdidos dois corpos de prova no momento da realização do ensaio, mas

isso não afetou a análise para as outras idades.

O CAA com agregados reciclados apresentou 95,8% da resistência do concreto de referência aos 28 dias e 69,5% aos 91 dias. Verifica-se que houve uma variação entre as idades de 28 e 91 dias, onde a idade de 28 dias apresentou resultado maior do que a de 91 dias. Essa variação pode ser explicada também pela falta de uniformidade do agregado reciclado, ou seja, ele é composto por variadas características mineralógicas.

3.6 Resistência à tração por compressão diametral

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados de resistência à tração por compressão diametral do CAA com agregados reciclados e o CAA de referência. Sendo os mesmos dados apresentados também na Figura 4.

Tabela 5 – Resistência à tração por compressão diametral do CAA com Agregados Reciclados em MPa

Ensaio tração diametral	CAAAR				CAAR			
	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
Nº CP's	3	3	3	3	3	3	3	3
Média (MPa)	2,17	2,77	3,70	3,90	4,54	4,45	7,26	7,45
Desvio padrão (MPa)	0,25	0,17	0,31	0,25	0,15	0,09	0,21	0,02
CV (%)	11,52	6,14	8,34	6,41	3,22	2,01	2,86	0,33

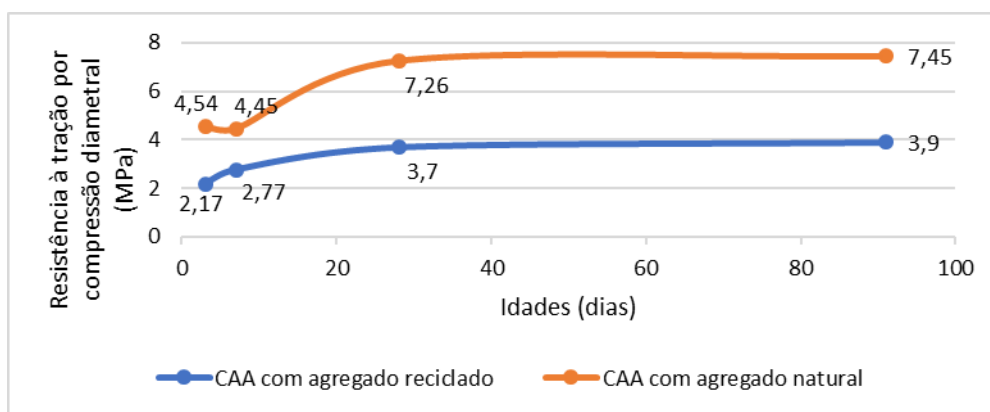


Figura 4 – Resultados de resistência à tração por compressão diametral dos concretos em análise

Nesse ensaio os corpos de prova do CAA com agregados reciclados apresentaram diferenças bem significativas em relação ao concreto de referência, pois sua resistência corresponde a 50% do concreto de referência em praticamente todas as idades.

3.7 Resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão foi desenvolvido de acordo com a NBR 12142:2010 (ABNT, 2010). Os resultados encontrados para o CAA com agregados reciclados e o CAA de referência estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 – Resistência à tração na flexão do CAA com Agregados Reciclados em MPa

Ensaio de resistência à tração na flexão	CAAAR				CAAR	
	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	28 dias	91 dias
Nº CP's	3	3	3	3	3	3
Média (MPa)	2,69	3,34	4,44	4,56	7,81	7,90
Desvio padrão (MPa)	0,17	0,34	0,06	0,18	0,084	0,078
CV (%)	6,32	10,18	1,35	3,94	1,08	0,99

Nota-se que o CAA com agregados reciclados alcançou 56,8% da resistência do CAA de referência aos 28 dias e 57,7% aos 91 dias.

4 Considerações finais

A reciclagem de resíduos tem se tornado uma alternativa viável de controlar ou minimizar uma parte do problema relacionado a sustentabilidade. E a preocupação com o meio ambiente tem feito com que sejam descobertas outras alternativas que substituam a matéria prima encontrada na natureza e ao mesmo tempo reutilize aquilo que a degradaria.

Um dos setores que tem se mostrado promissor na utilização de materiais reciclados, chamados de resíduos, é o setor da construção civil. Aos poucos tem-se expandido o conhecimento a respeito do comportamento dos resíduos gerados pela construção e demolição na produção de concretos. Há carência de estudos mais específicos relacionados ao tema, desde a separação desses resíduos até a pesquisas mais aprofundadas sobre o comportamento desse material na produção de novos concretos.

Com o objetivo de expandir o conhecimento nessa área, esta pesquisa analisou a influência da substituição total dos agregados graúdos naturais por agregados reciclados nas propriedades mecânicas do concreto autoadensável. Para isso utilizou-se o método de dosagem desenvolvido por Gomes (2002).

Observou-se que a resistência à compressão do concreto é influenciada pela porosidade dos agregados e dos outros materiais que o compõe. Sendo assim a relação a/c e o teor de agregado graúdo reciclado são os fatores que mais influenciam na determinação da resistência.

O CAA com agregados reciclados obteve perdas de resistência menores ou iguais a 50% em todos os ensaios realizados comparado ao concreto de referência.

Com base nos resultados obtidos e na literatura complementar foi possível verificar a viabilidade da substituição do agregado natural pelo agregado reciclado sem que ocorra prejuízos significantes das resistências à compressão. É importante ressaltar que para os valores do CAA com Agregados Reciclados não serem significativamente diferentes do concreto de referência, a seleção dos agregados reciclados é de fundamental importância.

Referências

ABRECON, *Associação Brasileira para reciclagem de resíduos da construção civil e demolição*. Manual de qualidade ABRECON. São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/pro-grama-qualidade/manual-qualidade/>>. Acesso em: 11 set. 2017.

ALMEIDA FILHO, F. M. de. *Contribuição ao estudo da aderência entre barras de aço e concretos auto adensáveis*. São Carlos, 2006. 310f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 2006.

ÂNGULO, S. C. *Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos*. São Paulo, 2005. 236f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica – USP. São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR 15823**: Concreto autoadensável. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NBR 7222**: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão

diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 12142**: *Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 8522**: *Concreto: determinação do módulo estático de elasticidade à compressão*. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 9833**: *Concreto fresco: determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico*. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53**: *Agregado graúdo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR NM 248**: *Agregados: determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR NM 52**: *Agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR NM 45**: *agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 7211**: *agregados para concreto: especificação*. Rio de Janeiro, 2009.

BARBOZA, L. da S. *Estudo sobre o impacto da redução do consumo de cimento no comportamento mecânico do concreto autoadensável*. São Carlos, 2016. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

BUTTLER, A. M. *Concretos com agregados graúdos reciclados de concreto – influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados*. São Carlos, 2003. 220f. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 2003.

CAVALCANTI, D. J. de H. *Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais*. Maceió, 2006. 141f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Maceió, 2006.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. de. *Métodos de dosagem de concreto auto adensável*. São Paulo: PINI, 2009.

GOMES, P. C. C.; ALENCAR, T. F. F. de; SILVA, N. V. da; MORAES, K. A. de M.; ÂNGULO, S. C. *Obtenção de concretos leves utilizando agregados reciclados*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 31-46, jul./set. 2015.

GOMES, P. C. C. *Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete*. Barcelona, 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2002.

LEITE, M. B. *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. Porto Alegre, 2001. 290f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: IBRACON, 2014.

SHINDOH, T.; MATSUOKA, Y. *Development of Combination-Type Self-Compacting Concrete and Evaluation Test Methods*. Journal of Advanced Concrete Technology, v. 1, n. 1, p.26-36, abr. 2003.

SU, N.; HSU, K.; CHAI, H. *A simple Mix Design Method for Self-Compacting Concrete*. Cement and Concrete Research, n. 31, p. 1799-1807, 2001.

TENÓRIO, J. J. L. *Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais*. Maceió, 2007. 157f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2007.