

# RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO EM FUNÇÃO DO TEOR DE SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO CONVENCIONAL PELO RECICLADO

Reapresentação do Congresso Online De Engenharia Estrutural., 1<sup>a</sup> edição, de 12/08/2020 a 28/08/2021  
ISBN dos Anais: 978-65-86861-36-5

GUERRA; Thiago <sup>1</sup>, SILVA; Eduardo Dalla Costa <sup>2</sup>, TORRES; Douglas Guedes Batista <sup>3</sup>

## RESUMO

**Resumo:** Partindo da problemática envolvendo o equivocado descarte dos resíduos da construção e demolição (RDC), uma das principais soluções que visa mitigar os danos causados consiste no uso destes na confecção de concretos. Deste modo, torna-se necessário a investigação acerca das influências destes agregados para com as propriedades do concreto. Sendo que o presente estudo consiste em se comparar características como a resistência à compressão axial e a trabalhabilidade entre o concreto convencional e o executado através dos agregados miúdos reciclados (AMR). A partir do material fornecido pela empresa Future, localizada em Cascavel, PR foram elaborados três traços diferidos pela porcentagem de substituição do agregado miúdo convencional (AMC) pelo reciclado (0, 20 e 60%). Assim sendo, o aumento da trabalhabilidade e redução da resistência à compressão foram observados a partir de um maior grau de substituição.

**Palavras-chave:** Agregados Miúdos Reciclados (AMR). Compressão Axial. Trabalhabilidade.

## 1.

## Introdução

Em mais de 90% do território Paranaense, se observa o descarte equivocado dos resíduos da construção e demolição (RCD) (VARGAS, 2018). O mesmo autor ainda afirma que a escassez de fiscalização dos órgãos reguladores e competentes, bem como a falta de instrução para os trabalhadores do setor podem ser descritos como as principais causas do problema. Em território nacional, as resoluções nº 307/02 e nº 448/12 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), destacam sobre a obrigatoriedade da reciclagem ou correta reutilização como agregado dos resíduos pertencentes à classe A (cerâmicas e materiais cimentícios). Assim sendo, uma possível solução para o reuso de tais rejeitos em um ciclo ecologicamente correto e economicamente vantajoso consiste na reincorporação destes como agregados na confecção de argamassas concretos.

## 2.

## Objetivos

Percebe-se a direta interferência dos agregados nas características do concreto, uma vez que constituem grande parcela do volume total da solução (ALHADAS, 2008). Por serem constituídos desde resíduos cimentícios até materiais cerâmicos, os RCD apresentam uma heterogeneidade que dificulta a verificação quanto a sua resistência específica. Por conta da maior porosidade e consequente maior hidroscopia do agregado reciclado em comparação ao convencional, recomenda-se a execução de um pré-umedecimento dos RCD. Feito que também contribui para um melhor o controle da fração água/cimento (a/c) da mistura (EVANGELISTA, 2007). Desta forma, o presente estudo tem como objetivo a análise experimental das influências do agregado miúdo reciclado em diferentes concentrações no que diz respeito à resistência à compressão axial e a trabalhabilidade. Justifica-se também uma comparação com outros trabalhos presentes na literatura da temática. Através do teste do abatimento de tronco de cone (*slump-test*), verificou-se, segundo Leite

<sup>1</sup> Centro Universitário Univel, thiago.guerra@univel.br

<sup>2</sup> Centro Universitário Univel, eduardodcsilva@outlook.com

<sup>3</sup> Centro Universitário Univel, douglas.torres@univel.br

(2001), um aumento de cerca de 17% da trabalhabilidade da massa mediante a substituição de 50% do AMC pelo AMR. A autora ainda justifica tal efeito pelo aumento do total de finos presentes na mistura. Já se tratando da resistência à compressão, Lovato (2007) encontrou os seguintes resultados: 25 Mpa para o concreto de referência, 23,8 Mpa para 25% de substituição do AMC pelo AMR, 22,6 para 50% e 21,4 Mpa para 75%. Deste modo, o autor destaca uma redução de 4,8, 9,6 e 14,4% para concretos com 25, 50 e 75% de substituição, respectivamente.

### 3.

## Metodologia

**3.1. Materiais e Equipamentos Utilizados** Para a realização do presente estudo foram necessários alguns materiais, a saber: areia reciclada proveniente da britagem de RCD, areia de rio lavada com granulação média (agregado natural), brita 1 ( $9,5 < d < 19$  mm) de origem basáltica, Cimento Portland CP II F-40, água potável e cal hidratada (aplicada na câmara de cura). Já em questão dos equipamentos e utensílios, podem ser listados da seguinte maneira: recipientes laboratoriais diversos, balança de precisão SOLOTEST (+/-1g), betoneira MOTOMIL Mb 150l, formas metálicas cilíndricas de 20x10cm para moldar os CPs, desmoldante oriundo da destilação fracionada do petróleo, prensa hidráulica QUANTEQ modelo CH 019 S 004 com capacidade de 100 tf, cone para o *slump test*, pratos de neoprene (dureza 70 shore e 13 mm de espessura). Além destes, destacamos o uso dos equipamentos de segurança, como jalecos, luvas, máscaras, óculos de proteção, entre outros necessários. **3.2. Controle dos Processos de Confecção dos CPs** Após 24h de cura prévia, os 15 CP's moldados para cada traço (45 no total), foram desformados e submetidos à cura submersa em água potável com cal hidratada em saturação. Além disso, como forma de padronização, algumas diretrizes foram adotadas, sendo estas: uniformidade do tempo de mistura e ordem de inserção dos componentes na betoneira; molde dos CP's pelo mesmo pesquisador em um único laboratório e a uma mesma temperatura ambiente. **3.3. Coleta e Preparo dos Agregados Reciclados** O agregado miúdo reciclado (Figura 1) foi doado pela empresa *FUTURE Reciclagem Inteligente* e coletado na sede da empresa, situada na cidade de Cascavel – PR. Tal produto tem como característica uma granulometria uniforme, sendo constituído de diferentes matérias-primas, como cerâmicas e materiais cimentícios.



Fonte: Do autor

Antes de serem utilizados, os agregados reciclados foram secos em estufa por 24h à 105°C de modo a garantir a mesma condição do material reciclado em relação aos naturais (sendo 0% de umidade prévia). Entretanto, logo antes da confecção do concreto, para se evitar a alteração na quantidade de água por conta da maior absorção por parte do agregado reciclado, foi executado um pré-umedecimento neste com uma quantidade de água equivalente a 90% da absorção total do mesmo, assim como recomendado por Angulo (2011). **3.4. Elaboração do traço do concreto** Primeiramente uma resistência a compressão axial ( $F_{ck}$ ) de 40 MPa foi estipulada para o traço base. Por causa das possibilidades de variações ocorridas na fabricação e manipulação do concreto, foi adotado um desvio padrão de dosagem ( $S_d$ ) de 4 Mpa, justificado pelo ambiente laboratorial e extrema cautela

<sup>1</sup> Centro Universitário Univel, thiago.guerra@univel.br

<sup>2</sup> Centro Universitário Univel, eduardodcsilva@outlook.com

<sup>3</sup> Centro Universitário Univel, douglas.torres@univel.br

empregada. Como forma de precaução, uma maior resistência ansiada ( $F_{cj}$ ) foi encontrada através da equação 1, segundo a NBR 12655:2006.

$$F_{cj}=F_{ck}+1,65*S_d$$

(1) Com um  $F_{cj}$  de 46,6 MPa e se valendo do método ABCP (1968) de dosagem, o seguinte traço foi definido: 1:2,2:3,6, com um fator a/c de 0,61 e um abatimento de tronco de cone fixado entre 9 e 10 cm. Assim sendo, três traços foram elaborados, diferidos pelos teores de incorporação de material reciclado (0, 20 e 60%). Por fim, a diferença entre a massa específica do agregado convencional e a do reciclado exigiram uma correção da massa deste segundo. Para tanto, utilizou-se da equação 2, onde se tem: massa do agregado convencional , massa do agregado reciclado , massa específica do agregado convencional e massa específica do agregado reciclado .  $Mar=(Mac/\gamma_{ac})^*\gamma_{ar}$

(2)

### 3.5. Ensaio de trabalhabilidade

Regulamentado pela NBR NM 67:1998, o ensaio de abatimento do tronco de cone, conhecido como *Slump Test*, indica a trabalhabilidade do concretos logo após a homogeneização dos componentes na betoneira.

**3.6. Ensaio de Resistência à Compressão Axial**  
Seguindo a regulamentação da NBR 5739:2007, os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados para 7, 28 e 160 dias de cura para cada traço, sendo 5 CP's por idade. A prensa foi programada com uma velocidade padronizada de 0,45 (+/- 0,15) MPa/s. Sendo que o fato dos corpos de prova não terem sido retificados previamente justifica uso dos discos de neoprene uma vez que evitaria o fissuramento dos CP's por conta de alguma irregularidade resultante da moldagem.

**3.7. Análise Estatística dos Dados Coletados** Para garantir a confiabilidade dos dados, estes foram submetidos ao delineamento estatístico inteiramente casualizado, com base na possibilidade de ocorrência do erro de aceitar ou rejeitar a hipótese nula, sendo definidos como erros do tipo I e II, respectivamente. Assim sendo, ao se utilizar o teste de Tukey ao nível de 5% de significância, buscou-se resguardar estatisticamente a probabilidade de acerto em 95% das avaliações da hipótese nula (GOMES, 2000). Deste modo, foram estabelecidas correlações entre os dados para a determinação das variações ocasionadas pelas substituições do agregado miúdo convencional pelo reciclado.

## 1.

## Resultados

**4.1. Trabalhabilidade do concreto em seu estado fresco** Os ensaios realizados através do tronco de cone resultaram nos seguintes dados: 9,5 cm para o concreto com 0 e 20% de substituição e 16 cm para o de 60%. Deste modo, pode-se perceber a direta proporcionalidade entre o abatimento do concreto e o teor de susbtituição do agregado miúdo convencional pelo reciclado. Seguindo a mesma linha de raciocíneo de Leite (2001), o maior teor de finos adicionado na mistura por causa da distinta curva granulométrica do agregado reciclado pode ser uma explicação para o ocorrido. Entretanto, pode-se analisar também a possibilidade de inserção de água pelo pré umidecimento do AMR, uma vez que o concreto com 60% de substituição teve um abatimento maior que os demais por conta da maior massa de agregado reciclado incorporado. **4.2. Resistência à compressão axial** As médias das resistências entre os 5 CP's ensaiados para cada traço nas diferentes idades podem ser observados na Tabela 1. De acordo com o teste de Tukey, afirma-se que as médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si. **Tabela 1** – Resistência à compressão axial em MPa para os diferentes traços nas três idades ensaiadas

Tratamento	7 dias	28 dias	160 dias
Aa	22,74±2,57	44,60±2,77	47,32±2,96
Ab	20,19,25±3,52	33,07±3,35	Bb
Bb	37,87±0,84	60,15,95±1,45	Ba
Ba	27,68±0,74	Cb	31,06±1,03
Cc			

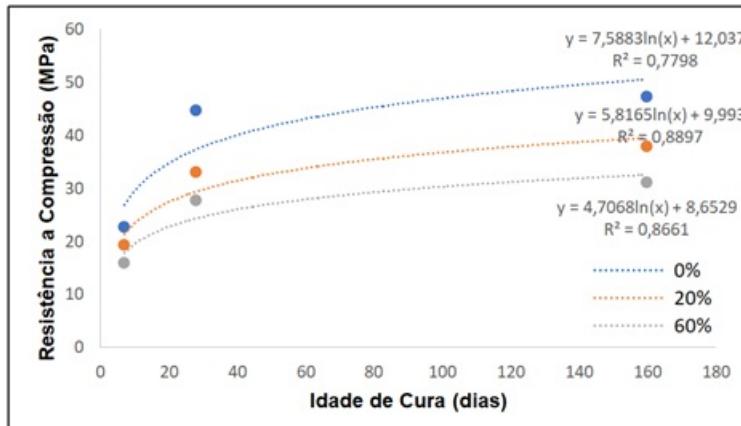
**Fonte:** Do autor  
Assim sendo, podemos perceber que ao longo do tempo de cura, os resultados de cada traço foram se distânciando. Uma vez que aos 7 dias uma maior proximidade

<sup>1</sup> Centro Universitário Univel, thiago.guerra@univel.br

<sup>2</sup> Centro Universitário Univel, eduardodcsilva@outlook.com

<sup>3</sup> Centro Universitário Univel, douglas.torres@univel.br

foi observada e já nas idades superiores, nenhum dos três apresentou similaridade. Pode-se entender tal fenômeno pela redução da eficácia da cura ocasionada pela presença dos agregados reciclados. Em contrapartida, se analisando em linhas, permite-se notar uma ênfase na diferenciação entre as idades de 7 e 28 dias. Fato que pode ser compreendido pela maior eficiência da cura úmida em se garantir o desenvolvimento da resistência do concreto durante o primeiro mês. Com a finalidade de se obter uma melhor qualidade do acerto dos dados, foi feita uma interpolação das médias das resistências, através de um ajuste polinomial, como pode ser observado na Figura 2.



**Fonte:** Do autor

A partir da Figura 2 têm-se as curvas para cada traço, das resistências a compressão axial variando de acordo com a idade de cura. Deste modo, em consonância com Lovato (2007), observa-se que quanto maior for a substituição do AMC pelo AMR, menor será a resistência observada. Tomando como base o concreto de referência aos 28 dias de cura, foi observada uma redução de 25,85% no traço com 20% de substituição, por outro lado, no traço com 60% houve uma perda de 37,94% dessa propriedade.

## 1 Considerações Finais

Enfatiza-se a incorporação de água no pré-umedecimento e a adição de finos na solução como possíveis explicações para o aumento da trabalhabilidade do concreto conforme maior incorporação do AMR. Já em questão da redução da resistência à compressão axial conforme acréscimo do teor de substituição, uma perda mais abrupta foi verificada nas primeiras faixas de substituição do AMC pelo AMR e após os 20% esta se deu de maneira mais suave. Portanto, apesar da comprovação da influência nas propriedades por parte do AMR, este se demonstrou passível de ser empregado como agregado para a confecção do concreto. Entretanto salienta-se que previamente a utilização, análises devem ser realizadas com o intuito de contabilizar e controlar as variáveis presentes em cada situação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agregados Miúdos Reciclados (AMR). Compressão Axial. Trabalhabilidade.

<sup>1</sup> Centro Universitário Univel, thiago.guerra@univel.br  
<sup>2</sup> Centro Universitário Univel, eduardodcsilva@outlook.com  
<sup>3</sup> Centro Universitário Univel, douglas.torres@univel.br