

## AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADOS RECICLADOS PARA FINS ESTRUTURAIS

Luara Miranda Mauro e Eric Ribeiro da Silva

**Apoio: PIBIC Mackenzie**

### RESUMO

A construção civil causa um grande impacto ambiental, destacando-se o alto volume de resíduos produzidos e a grande quantidade de energia e recursos naturais consumidos, os quais tendem a se agravar com o passar dos anos devido ao aumento da população e, como consequência, ao crescimento das cidades. O concreto produzido com resíduos de construção e demolição pode ser uma alternativa viável para a diminuição da utilização de recursos naturais, como brita e areia, além de promover a reciclagem de resíduos frequentemente descartados de forma incorreta. Em 2021, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) disponibilizou a norma NBR 15116, que trata do uso de agregados reciclados em argamassas e concretos de cimento Portland. No presente estudo, foram moldados corpos de prova com a incorporação de agregados reciclados em 10% e 20%, além de corpos de prova sem a incorporação de agregado reciclado. Esses corpos de prova foram submetidos a ensaios de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão axial. Os resultados indicaram uma redução da resistência conforme aumentava a quantidade de agregados reciclados em sua composição, quando comparados ao traço de controle. Nos ensaios de resistência à tração na flexão, os concretos incorporados com uma porcentagem de agregados reciclados apresentaram melhores resultados do que o traço de controle.

**Palavras-chave:** Resíduo de Construção e Demolição. Agregado Reciclado. Concreto Reciclado.

The construction industry has a significant environmental impact, with a notable increase in the volume of waste generated and the substantial consumption of energy and natural resources. These effects are expected to exacerbate over the years due to population growth and, consequently, urban expansion. Concrete produced from construction and demolition waste emerges as a viable alternative to reduce the use of natural resources like gravel and sand, while also facilitating the recycling of improperly discarded waste. In 2021, the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) released standard NBR 15116, addressing the use of recycled aggregates in Portland cement mortars and concretes. In this study, test specimens were cast with the incorporation of recycled aggregates at 10% and 20%, alongside specimens without the inclusion of recycled aggregates. These specimens underwent tests for flexural tensile strength and axial compressive strength. The results indicated a reduction in strength as the percentage of recycled aggregates in the composition increased, compared to

the control mix. In the flexural tensile strength tests, concretes incorporating a percentage of recycled aggregates showed better results than the control mix.

**Keywords:** Construction and Demolition Waste. Recycled Aggregate. Recycled Concrete.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é frequentemente apontado como um dos principais causadores do impacto ambiental. Por isso, nos últimos anos, observa-se um crescente interesse em novas ideias e discussões sobre sustentabilidade nesse mercado.

Conforme explica Cardoso *et al.* (2021), há uma preocupação considerável em relação à indústria da construção civil e seu impacto no meio ambiente. Essa indústria consome uma quantidade significativa de recursos naturais não renováveis e gera uma grande quantidade de resíduos sólidos, conhecidos como Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos de 2020, divulgado pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE, 2020), foram coletadas 44,5 milhões de toneladas de RCD em 2019. Isso resultou em uma média de 213,5 kg de resíduos por habitante por ano, sendo que mais da metade desse montante foi coletada na região Sudeste (23,2 milhões de toneladas).

Diante desse cenário, como parte das medidas para mitigar os impactos ambientais, no Brasil, têm sido realizados estudos para avaliar a viabilidade de novas tecnologias sustentáveis para auxiliar o setor da construção civil. Entre essas medidas, destaca-se o uso de agregados reciclados em pavimentação, no preenchimento de valas e na produção de concretos sem função estrutural.

Em 2021, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da revisão da NBR 15116, estabeleceu diretrizes para a utilização de agregados reciclados na produção de concreto com função estrutural. Passando a definir requisitos para produção e aceitação dos agregados reciclados, assim como métodos de ensaio e orientações para o uso desse material.

O concreto é o material industrial mais amplamente utilizado, e suas matérias-primas (cimento e agregados) são não renováveis. Simplesmente substituir agregados de rochas britadas por agregados reciclados pode evitar o descarte de até 95 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em aterros, além de reduzir o consumo de materiais não renováveis (ÂNGULO e FIGUEIREDO, 2011).

Nesse contexto, a produção de agregados reciclados a partir de resíduos de construção livres de contaminação e com menor variação em suas características pode viabilizar a fabricação de concretos destinados a fins estruturais, incorporando uma parte de agregado reciclado em substituição ao agregado natural.

Assim, o presente estudo propõe a produção e avaliação de concretos para fins estruturais com substituição de parte do agregado natural por agregado reciclado produzido

a partir da britagem de corpos de prova rompidos utilizados no controle tecnológico de concretos.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Resíduos de Construção e Demolição**

A construção civil causa um impacto ambiental significativo, e essa tendência de crescimento persiste ao longo dos anos, impulsionada pelo aumento populacional e, por consequência, pelo desenvolvimento urbano, resultando na geração de uma grande quantidade de resíduos sólidos (JOHN, citado por Leite, 2001).

Durante o processo construtivo são gerados muitos resíduos que, em muitos casos, recebem uma destinação inadequada e acabam gerando problemas como, por exemplo, o esgotamento de aterros sanitários. Esses resíduos representam mais de 50% do volume depositado em aterros e podem contaminar as águas subterrâneas com a penetração de metais tóxicos no solo, além do desperdício de materiais recicláveis (ARAUJO *et al.*, 2016).

Dados da ABRELPE, mostram que a produção per capita de resíduos de construção e demolição por habitante aumentou de 174 kg em 2010 (ABRELPE, 2010) para 213,5 kg em 2020 (ABRELPE, 2020).

Resíduos de construção e demolição englobam fragmentos de concretos, argamassas, cerâmicas e outros materiais secundários como madeira, aço e vidro provenientes da destruição de estruturas e construções, sendo a construção civil a principal fonte desse material (ANGULO e FIGUEIREDO, 2011).

Após a Segunda Guerra Mundial, muitos países tiveram que ser reconstruídos e, devido à alta demanda por materiais de construção, surgiram necessidades de utilizar alternativas, iniciando assim a reciclagem de resíduos de construção e demolição (SOUSA, 2011).

Até os dias atuais, os países europeus encaram a reutilização do RCD de maneira rigorosa, sempre buscando minimizar seus impactos sociais, ambientais e econômicos. Dados relevantes apontam que na União Europeia a taxa de reciclagem de RCD chega a cerca de 70%, ultrapassando os 80% na Bélgica e Holanda (Freitas, 2018). Na Alemanha, em 2002, mais de 85% das 240,8 milhões de toneladas geradas foram reaproveitadas.

Os resíduos de concreto se destacam por seu potencial elevado na produção de agregados de alta qualidade, devido à sua baixa porosidade e maior resistência. A reutilização desse material é crucial para a construção civil, considerando que o concreto é o material industrial mais utilizado e suas matérias-primas (cimento e agregados) são não renováveis. Uma simples substituição de agregados de rocha britada por agregado reciclado pode evitar

o descarte de até 95 milhões de toneladas de RCD em aterros, além de reduzir o consumo de materiais não renováveis (ANGULO e FIGUEIREDO, 2011).

No entanto, conforme explicado por Fontes *et al.* (2021), a construção civil desempenha um papel vital na economia brasileira, contribuindo significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) do país. Esse setor é responsável pela geração de empregos, renda, construção de infraestrutura e possibilita o acesso à moradia.

### **2.1.1 CONAMA**

Somente a partir de 2002, considerando os impactos ambientais e as medidas adotadas por vários governos ao redor do mundo, o Brasil implementou políticas públicas para gerenciar os resíduos da construção civil. Essas políticas visam garantir uma destinação final adequada para esses resíduos e estabelecem que os geradores (pessoas físicas e jurídicas) devem priorizar a não geração de resíduos. Em segundo plano, devem buscar a redução, reutilização, reciclagem e a destinação final adequada (BRASIL, 2002).

Devido sua grande variação, esses resíduos possuem as seguintes classes baseadas em suas composições:

Classe A - estão resíduos que podem ser reciclados ou reutilizados, como é o caso dos agregados e são provenientes de construção e demolição ou até mesmo reparo e reformas.

Classe B - estão materiais recicláveis que tem outra destinação como plástico, metal, vidros entre outros.

Classe C - são resíduos que não apresentam economias viáveis para sua reciclagem e recuperação além de não ter sido desenvolvidas tecnologias o suficiente para sua utilização como é o caso do gesso.

Classe D - encontra-se os resíduos que podem causar danos à saúde humana, animal e ao meio ambiente que é o caso das tintas, solventes, vernizes entre outros, além dos materiais da Classe A, B e C que estiverem contaminados.

## **2.2. Composição dos agregados**

No Brasil, ainda enfrentamos grandes desafios no uso de agregados reciclados em larga escala, pois é fundamental que os agregados reciclados atendam a altos padrões de qualidade. Apesar do potencial significativo de crescimento no setor de reciclagem de RCD, as usinas de reciclagem operam apenas com 35% de sua capacidade, reciclando apenas 18% do RCD (SALGADO, 2021).

Os agregados produzidos a partir de RCD apresentam uma heterogeneidade decorrente de sua composição variada, composta por fragmentos de concreto, argamassa,

cerâmica e outros materiais secundários (ÂNGULO, 2011). Esses agregados são categorizados em dois grupos: os agregados reciclados mistos (ARM) e os agregados reciclados de concreto (ARCO). Os agregados mistos incluem detritos cerâmicos, tijolos, blocos de concreto, revestimentos e argamassas, enquanto os agregados reciclados de concreto são compostos principalmente por fragmentos à base de cimento e rochas naturais (SALGADO, 2021). Além desses, há também o agregado reciclado cimentício (ARCI), predominantemente formado por diversos materiais cimentícios, como concretos, argamassas, blocos pré-moldados de concreto, entre outros (ABNT NBR 15116, 2021).

É importante destacar que, ao utilizar agregado reciclado com função estrutural, recomenda-se exclusivamente a subclasse ARCO (ABNT NBR 15116, 2021). Alguns materiais presentes no RCD, como cerâmica vermelha, madeira, vidro e aço, podem ter impactos desfavoráveis tanto na durabilidade quanto nas propriedades mecânicas do concreto reciclado (LEITE, 2001).

Nos agregados reciclados, a concentração de impurezas é um fator crítico que afeta todas as propriedades do concreto. Dessa forma, ao ser utilizado no concreto, o agregado reciclado deve atender a um rigoroso controle de impurezas, mantendo os teores contaminantes abaixo de 1%, conforme especificado pela norma (ABNT NBR 15116, 2021).

Devido a esses fatores, são realizados processos para separação e beneficiamento do RCD, baseados principalmente em moagem (trituração) e peneiramento do material (FREITAS, 2018).

### **2.3. Concreto produzido com agregado RCD**

Em países europeus, como o Reino Unido, o concreto para fins estruturais produzido com agregados reciclados costuma apresentar resistência que varia de 40 a 50 MPa, sendo permitido substituições de até 20%. Já na Austrália, essa porcentagem é um pouco mais alta, permitindo uma substituição de até 30% de agregados naturais por agregados reciclados (GONÇALVES e BRITO, 2010 apud PIMENTEL *et al.*, 2020).

No Brasil, a substituição parcial do agregado natural pelo agregado reciclado em concretos para fins estruturais foi introduzida apenas em 2021, por meio de uma revisão da ABNT NBR 15116, permitindo uma substituição de até 20%.

Para utilizar agregados reciclados ou qualquer outro material na construção civil, são necessários procedimentos bem definidos e estabelecimento de valores e limites para cada característica física e química, garantindo a qualidade nas aplicações (ARAÚJO *et al.*, 2016).

### **2.4. Parâmetros de controle**

O concreto feito com RCD representa uma alternativa viável diante do considerável impacto ambiental gerado pela construção civil, evidenciado pelo alto consumo de energia, recursos naturais e pela expressiva geração de resíduos.

No entanto, é essencial cuidado ao substituir materiais convencionais por reciclados, demandando um conhecimento aprofundado sobre o material utilizado. A reciclagem também viabiliza projetos com impacto social, devido aos custos mais baixos em comparação com os métodos convencionais (GONÇALVES, 2001).

As propriedades dos materiais empregados precisam ser minuciosamente analisadas, já que podem impactar negativamente o desempenho mecânico do concreto, especialmente no caso dos agregados reciclados, que geralmente apresentam resultados inferiores aos agregados naturais (CARRIJO, 2005).

#### **2.4.1. Porosidade**

A porosidade dos agregados impacta diretamente a resistência e a durabilidade do concreto, podendo diminuir sua vida útil devido a possíveis alterações. Agregados naturais tendem a ter uma porosidade menor se comparados aos agregados reciclados, tornando crucial o controle da porosidade do agregado reciclado, pois essa característica pode ser um importante parâmetro de controle. Ela pode ser monitorada através da massa específica e da absorção de água (TENÓRIO, 2007).

Enquanto os agregados naturais costumam ter pouca ou nenhuma porosidade, os agregados reciclados frequentemente demonstram valores de absorção mais elevados, o que se torna uma preocupação na produção de concreto. Essa suscetibilidade à entrada de agentes degradantes pode reduzir o desempenho do concreto, levando a problemas patológicos e à diminuição de sua vida útil (SOUSA, 2011).

A quantidade de água absorvida pelo concreto é determinada pela quantidade total de água presente em sua composição. A porosidade varia de acordo com os materiais presentes no RCD; por exemplo, materiais cerâmicos como tijolos e telhas, que são altamente porosos, podem elevar a absorção de 0,3% para 4,95% (LEITE, 2001).

#### **2.4.2. Massa Específica**

De acordo com a ABNT NBR NM 52 (2009), a massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, sem considerar seus poros permeáveis. Os agregados reciclados de concreto geralmente possuem uma massa específica de 5% a 10% menor do que os agregados naturais, devido à presença de argamassa (FONTES et al., 2018).

Devido à maior porosidade dos concretos reciclados, sua massa específica tende a ser inferior à dos concretos convencionais, já que essa característica está diretamente ligada à porosidade (CARRIJO, 2005).

Os estudos de Carrijo (2005) revelam que conforme a relação água-cimento aumenta, há uma redução na massa específica dos agregados reciclados, devido à alta porosidade desses agregados. A presença da pasta aderida ao agregado natural é uma das principais responsáveis por essa porosidade, resultando na diminuição da massa específica dos agregados e no aumento da porosidade.

#### **2.4.3. Resistência à compressão axial**

Nos estudos de Sousa (2011), o autor conclui que a resistência à compressão aumenta à medida que o tempo de cura se prolonga. Acredita-se que isso ocorra devido à presença de cimento não hidratado nos agregados reciclados de concreto. Durante o processo de reciclagem dos resíduos, o cimento presente é britado, e a argamassa entra em contato com a água durante a moldagem dos corpos de prova, desencadeando uma reação cimentante que altera as propriedades mecânicas do agregado reciclado de concreto.

#### **2.4.4. Resistência à tração na flexão**

Nos estudos de Ricci (2007), é mencionado que a resistência à tração na flexão é um fator crucial a ser considerado quando se trata de camadas de pavimentos. Mariani (2014) esclarece que "*[...] A resistência à tração é a capacidade que um material tem de resistir a cargas de tensão; é essencialmente a habilidade do concreto em suportar forças opostas à compressão*".

### **3. METODOLOGIA**

O controle tecnológico do concreto empregado nas mais diversas obras de engenharia é realizado por laboratórios especializados que avaliam, entre outras características, a resistência à compressão do concreto a partir de corpos de prova cilíndricos moldados em campo.

Após os ensaios, esses corpos de prova geralmente são descartados sem uma destinação apropriada. Muitos laboratórios optam por descartá-los em caçambas para evitar a contaminação com outros materiais. Esse resíduo da construção pode, portanto, ser considerado um material com características adequadas para produção de agregados reciclados, úteis na fabricação de concretos estruturais.



Os agregados resultantes da britagem desses corpos de prova tendem a ter vantagens, como menor variação de propriedades e menor risco de contaminação por materiais que comprometem a durabilidade do concreto produzido com agregados reciclados.

A utilização de agregados reciclados na composição do concreto não apenas reduz a necessidade de aterros para esses materiais, mas também diminui a demanda por agregados naturais não renováveis, trazendo benefícios significativos para a construção civil (MALYSZ et al., 2020).

Este estudo foi realizado a partir da britagem dos corpos de prova fornecidos pelo laboratório de controle tecnológico Falcon Bauer. A britagem dos corpos de prova, a separação do material resultante por peneiramento, a produção dos corpos de prova, bem como os ensaios de resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão foram realizados nos laboratórios da Escola de Engenharia do Mackenzie.

#### a) Estudo do traço

Foi utilizado para todas as dosagens, tanto para o concreto natural quanto o concreto estrutural, o mesmo traço, variando somente a porcentagem de agregado reciclado, adotando como parâmetro de controle o mesmo valor para relação água/cimento em todos os casos. Nas dosagens foi utilizado o cimento Portland CP II 32 F.

O traço segue a seguinte composição: 1: 1,4: 2,4: a/c=0,55. Para o estudo definimos dois tipos de composições com substituição do agregado graúdo por concreto reciclado nas dosagens, Tabela 1.

Tabela 1 – Composição da dosagem dos corpos de prova.

Dosagem	Composição
<b>Piloto (Corpo de Prova 1)</b>	Agregado miúdo – areia natural média Agregado graúdo – brita 0
<b>Concreto com 10% de substituição de agregado reciclado (Corpo de Prova 2)</b>	Agregado miúdo – areia natural média Agregado graúdo – 90% brita 0 + 10% agregado reciclado
<b>Concreto com 20% de substituição de agregado reciclado (Corpo de Prova 2)</b>	Agregado miúdo – areia natural média Agregado graúdo – 80% brita 0 + 20% agregado reciclado

Fonte: Acervo Pessoal.

#### b) Ensaio

Para a preparação e moldagem do concreto utilizamos os procedimentos habituais adotados no Laboratório da Escola de Engenharia do Mackenzie, de acordo com a NBR 5738 (2015) - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.

Os corpos de prova foram submetidos à cura em uma câmara úmida, onde permaneceram armazenados até a data dos ensaios. Os testes do concreto endurecido foram realizados 30 dias após a moldagem dos corpos de prova.

Para o ensaio de resistência à compressão, foram utilizados 9 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 100 mm x 200 mm. Já para o ensaio de resistência à tração na flexão, foram utilizados 9 corpos de prova prismáticos medindo 100 mm x 100 mm x 400 mm.

Para obter as dosagens de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado utilizado nos corpos de prova foram utilizados valores fornecidos pela norma ABNT NBR 15116 (2021), levando em consideração seu valor máximo permitido pela norma e um valor médio para analisar o comportamento do concreto diante da situação.

#### 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Durante a preparação dos corpos de prova, observamos variações significativas na absorção de água do material, alinhando-se com a pesquisa bibliográfica que aponta os agregados reciclados como possuidores de maior índice de vazios e porosidade. Surpreendentemente, o corpo de prova 3, com 20% de substituição de agregado reciclado, apresentou menor absorção de água do que o corpo de prova de referência (concreto referência), contrariando a tendência esperada. Esta observação foi visualmente confirmada, como pode ser observada nas figuras abaixo.

Figura 2 – Ensaio de abatimento do tronco de cone – NBR 16889:2020 (Concreto de Referência - Piloto).



Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 3 – Ensaio de abatimento do tronco de cone – NBR 16889:2020 (Concreto com 20% de substituição de agregado reciclado).



Fonte: Acervo Pessoal.

Para garantir a consistência e a trabalhabilidade do concreto foi realizado o ensaio pelo método tronco de cone, conforme a NBR 16889 (2020), resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone – NBR 16889:2020.

Dosagem	Abatimento do tronco cone
Piloto	90 mm
Concreto com 10% de substituição de agregado reciclado	100 mm
Concreto com 20% de substituição de agregado reciclado	130 mm

Fonte: Acervo Pessoal.

Adicionalmente, os resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone não coincidiram com as previsões estabelecidas na literatura. De acordo com as referências consultadas (Carrilho, 2005), esperava-se que a substituição por agregados reciclados resultasse em valores menores de abatimento do tronco de cone. No entanto, os dados experimentais revelaram um padrão distinto, indicando uma necessidade de investigação mais aprofundada sobre os fatores que contribuíram para essa divergência.

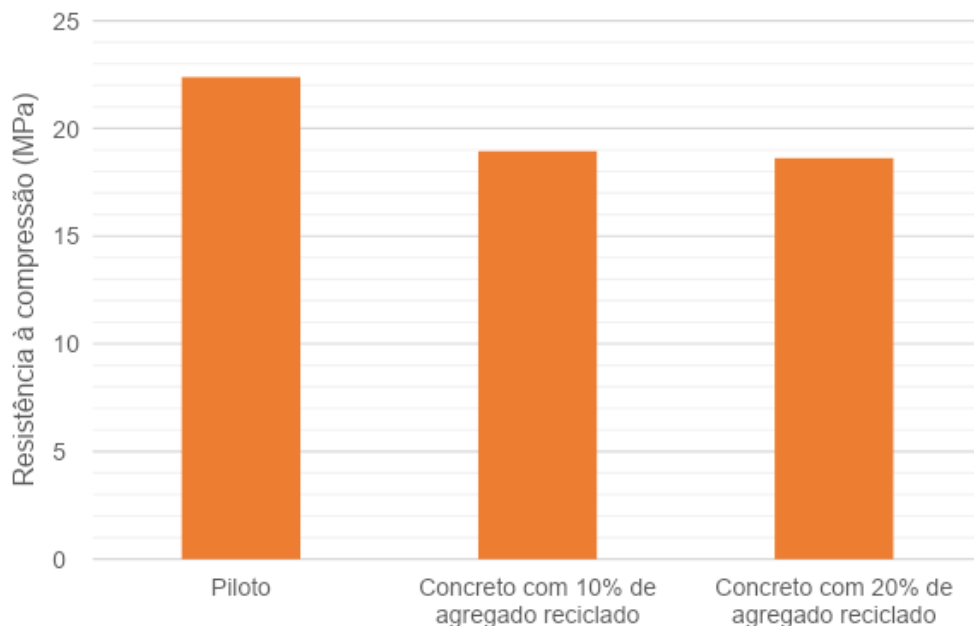
Os ensaios de resistência à compressão axial do concreto endurecido envolveram nove corpos de prova com três dosagens diferentes, cujos resultados estão detalhados na Tabela 3 e Gráfico 1.

Tabela 3 — Resultados do ensaio de Resistência à compressão axial do concreto aos 30 dias – ABNT NBR 5739:2018.

Resistência à compressão (MPa)			
Dados	Piloto	Concreto com 10% de substituição de agregado reciclado	Concreto com 20% de substituição de agregado reciclado
Número de amostras	3	3	3
Média	22,38	18,93	18,61
Desvio Padrão	1,34	2,45	0,81
Coefficiente de variação	5,99	12,94	4,35

Fonte: Acervo Pessoal.

Gráfico 1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova aos 30 dias – ABNT NBR 5739:2018;



Fonte: Acervo Pessoal.

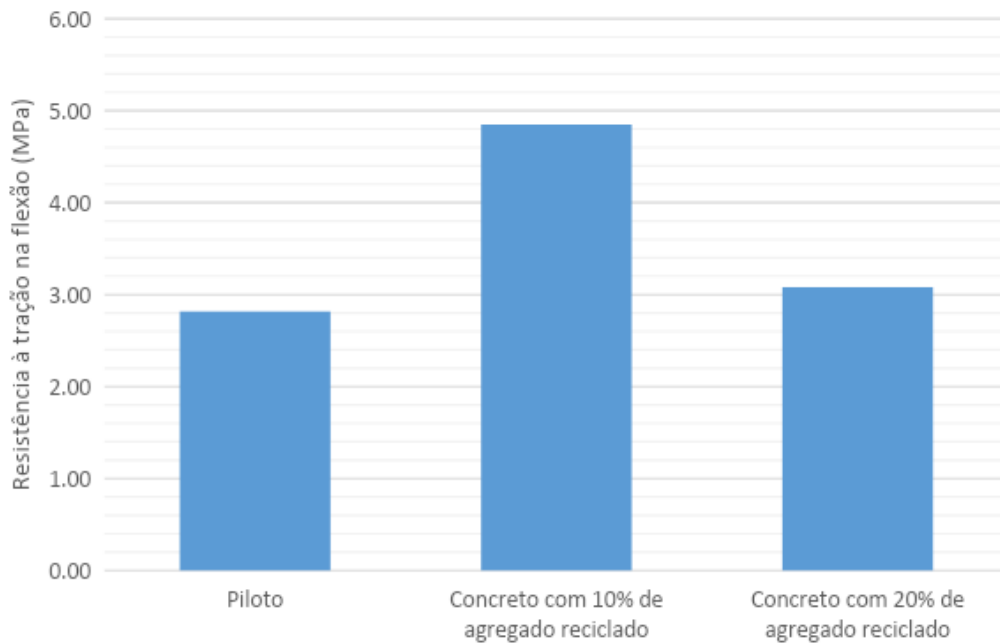
Na avaliação da resistência à compressão axial do concreto, os resultados confirmaram parcialmente as expectativas delineadas na revisão bibliográfica. Conforme previsto por autores como Ricci (2007) e Mariani (2014), houve uma tendência de diminuição na resistência à compressão à medida que a substituição do agregado natural pelo reciclado aumentava.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos aos 30 dias – ABNT NBR 12142:2010.

<b>Resistencia à tração na flexão (MPa)</b>			
<b>Dados</b>	<b>Piloto</b>	<b>Concreto com 10% de agregado reciclado</b>	<b>Concreto com 20% de agregado reciclado</b>
<b>Número de amostras</b>	2	3	3
<b>Média</b>	2,82	4,85	3,08
<b>Desvio Padrão</b>	0,26	0,22	0,38
<b>Coefficiente de variação</b>	9,22	4,54	12,33

Fonte: Acervo Pessoal.

Gráfico 2 – Resultados do ensaio de Resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos aos 30 dias – ABNT NBR 12142:2010.



Fonte: Acervo Pessoal.

A análise dos resultados da resistência à tração na flexão revelou um comportamento inesperado em um dos corpos de prova de controle. Conforme mencionado por autores anteriores, como *Fontes et al.* (2018), esperava-se um desempenho mais homogêneo nos corpos de prova de controle. No entanto, a identificação desse corpo de prova atípico e sua exclusão da análise reforça a importância de uma cuidadosa triagem dos resultados experimentais. Dessa forma, optamos por descartar esse resultado e realizar a análise com base na média de dois corpos de prova, a fim de obter uma avaliação mais consistente.

Essas discrepâncias entre os resultados obtidos e as expectativas teóricas destacam a complexidade do uso de agregados reciclados no concreto e a necessidade de uma investigação mais aprofundada para compreender os fenômenos subjacentes a essas variações.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante desse estudo, podemos concluir que a reutilização de agregados reciclados no Brasil deve se desenvolver cada vez mais, contribuindo significativamente para a redução da produção de resíduos de construção e demolição. Apesar dos benefícios substanciais que esse material pode trazer, como a redução de custos e a diminuição da exploração de recursos naturais, é crucial exercer cuidado em suas aplicações, considerando o impacto que um material de baixa qualidade pode exercer nas propriedades do concreto.

Nos ensaios de resistência à compressão, observou-se que os corpos de prova com adição de agregado reciclado apresentaram uma resistência aproximadamente 15% inferior à dos corpos de prova sem essa adição. Apenas a dosagem piloto atendeu à resistência mínima aceitável para uso em concreto estrutural, conforme exigido pela norma NBR 8953 (2015), de 20 MPa.

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão, tanto na dosagem piloto quanto na dosagem de substituição de 20%, foram inferiores ao esperado para aplicação em pavimentos, que geralmente variam entre 4 a 5 MPa. Por outro lado, os corpos de prova com substituição de 10% atingiram o valor esperado para essa aplicação.

Para futuros trabalhos, é recomendável realizar uma nova moldagem dos corpos de prova de controle, dada a obtenção de resultados mais baixos quando comparados aos demais nas análises de resistência à tração na flexão. Além disso, realizar ensaios de porosidade nos agregados pode fornecer insights importantes sobre a necessidade de aditivos para possivelmente melhorar os resultados dos ensaios de resistência à compressão. Esses passos são fundamentais para aprimorar a compreensão sobre os agregados reciclados e sua influência nas propriedades do concreto, contribuindo para uma utilização mais eficaz e segura desse material na construção civil.

## 6. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12142: Concreto—Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15116: Agregados reciclados para uso de argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739: Concreto– Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ABRELPE - Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. ABRELPE. São Paulo, 2020.

ABRELPE - Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. ABRELPE. São Paulo, 2010.

ANGULO, S.G.; FIGUEIREDO, A.D.; Concreto: Ciência e Tecnologia (pp.1731-1767) Edition: 2; Chapter: 47 Publisher: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON Editors: Geraldo C. Isaia, 2011. BRASIL.

ARAÚJO, D.L., FELIX, L.P., COSTA E SILVA, L., SANTOS, T.M.; Influência de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção nas Propriedades Mecânicas do Concreto. Rev. Eletrônica de Engenharia Civil, v. 11, n. 1, 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 307 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil de 17 de julho de 2002.

CARDOSO, A. C.; LIMA I. G.; FERREIRA M. P.; SOUZA R. A.; Influence of recycled concrete aggregates on the shear strength of reinforced concrete beams. Rev. IBRACON Estrut. Mater., São Paulo, v. 14, n. 1, e14109, 2021.

CARRIJO, P.M. Análise da Influência da Massa Específica de Agregados Graúdos Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição no Desempenho Mecânico do Concreto. São Paulo, 2005.

Fontes, A.C.S, Nepomuceno, D.V., Batista, J.S.P. Resíduos sólidos da construção civil: utilização de agregados reciclados em base e sub-base de pavimentação asfáltica. 2018.

FREITAS, L. Reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil no Brasil. Dom Total, 05 jun. 2018. Disponível em: <https://domtotal.com/noticia/1262733/2018/06/reaproveitamento-de-residuos-solidos-da-construcao-civil-no-brasil/>. Acesso em: 23 nov. 2022

LEITE, M.B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduo de construção e demolição. Tese (Doutorado). UFRGS, 2001.

MALYSZ, G. N.; MOLIN, D. C. C. D.; MASUERO, A. B.; Study of the influence of jiggling of recycled coarse aggregate on the compressive strength of concrete. Rev. IBRACON Estrut. Mater., São Paulo, v. 13, n. 5, e13503, 2020.

MARIANI R. S., Ícaro. Estudo de Dosagens de Concreto para Aumento da Resistência à Tração na Flexão, 2014. Número total de folhas. Monografia (Especialização em Patologia das Construções) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

PIMENTEL, L. L.; RIZZO, G. F.; JACINTHO, A. E. P. G. A.; FONTANINI, P. S. P.; Concrete produced with recycled aggregate: a durability analysis for structural use. Rev. IBRACON Estrut. Mater., São Paulo, v. 13, n. 6, e13613, 2020.

RICCI, G. Estudo de características mecânicas do concreto compactado com rolo com agregados reciclados de construção e de demolição para pavimentação, 2007.

SALGADO, F.A., SILVA, F.A. Propriedades dos agregados reciclados de diferentes composições e sua influência na resistência do concreto. Revista IBRACON, vol.14, no.6, 2021.

SOUSA, W.F. Estudo sobre a aplicação de agregado reciclado de concreto em construção de pavimentos. São Carlos, 2011.

TENÓRIO, J. T. J. L. Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais, apresentado ao programa de pós-graduação em engenharia civil, da Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2007.

**Contatos:** luamauro@hotmail.com e eric.silva@mackenzie.br