

SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO NATURAL GRAÚDO POR AGREGADO RECICLADO: VIABILIDADE DO USO EM CICLOVIAS

**REPLACEMENT OF COARSE NATURAL AGGREGATE BY RECYCLED AGGREGATE:
THE USE IN CYCLING LANES**

ALINE FAUNE DA SILVA¹ – alinefaune@outlook.com

CARLOS EDUARDO OLIVEIRA² – carlos.oliveira@umfg.edu.br

1. Acadêmico do curso de graduação do curso de **Engenharia Civil** da Faculdade UMFG.

2. Professor Orientador. Faculdade UMFG.- Rod PR-082 KM 468 - Lote 45/46 - Gleba, R. Ribeira, Cianorte - PR, 87200-000.

Recebido em 16/01/2024. Publicado em 16/01/2024

RESUMO

O presente estudo aborda a problemática relacionada à geração crescente de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na indústria da construção civil, representando uma preocupação ambiental devido aos impactos associados. O aumento quantitativo desses resíduos evidencia a necessidade de um gerenciamento adequado para promover a redução, reuso e reciclagem. O descarte inapropriado de RCD em aterros sanitários é proibido pela legislação, tornando-se responsabilidade dos produtores adotar práticas sustentáveis. Diante desse cenário, o estudo propõe a substituição de agregados naturais por agregados reciclados, enfocando a viabilidade dessa prática na produção de concreto para pisos de baixo fluxo, como em cicloviias. Apesar de desafios, como a redução na resistência à compressão do concreto com a inclusão de agregados reciclados, os resultados indicam que essa prática é promissora em determinadas aplicações, contribuindo para a sustentabilidade na construção civil. A pesquisa destaca a importância de equilibrar a busca por materiais mais sustentáveis com a garantia da qualidade e durabilidade das estruturas de concreto, apontando para a necessidade de estudos mais aprofundados nessa área.

Palavras-chave: resíduos de construção e demolição; agregado reciclado; concreto sustentável.

ABSTRACT

This study addresses the problem of the growing generation of Construction and Demolition Waste (CDW) in the construction industry, which represents an environmental concern due to the associated impacts. The quantitative increase in this waste highlights the need for proper management to promote reduction, reuse and recycling. The inappropriate disposal of CDW in landfills is prohibited by law, making it the responsibility of producers to adopt sustainable practices. Given this scenario, the study proposes replacing natural aggregates with recycled aggregates, focusing on the viability of this practice in the production of concrete for low-flow surfaces, such as cycle paths. Despite challenges, such as the reduction in concrete compressive strength with the inclusion of recycled aggregates, the results indicate that this practice is promising in certain applications, contributing to sustainability in civil construction. The research highlights the importance of balancing the search for more sustainable materials with guaranteeing the quality and durability of concrete structures, pointing to the need for more in-depth studies in this area.

Keywords: construction and demolition waste; recycled aggregate, sustainable concrete

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é fundamental para o desenvolvimento socioeconômico do país, representando 20% da geração de emprego no Brasil (FIRJAN, 2014) e 6,9% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Entretanto, a geração de resíduos advindos dessa atividade é um desafio social, tendo em vista os impactos ambientais associados (GOMES, LEITE, SENA, ANDRADE 2021).

Em 2021, registrou-se um aumento quantitativo na produção de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Brasil, passando de 33 milhões de toneladas em 2010, para aproximadamente 48,4 milhões de toneladas. Tal montante representa um aumento na geração do material de 174,3 kg para 227 kg por habitante/ano (ABRELPE, 2021). Desse modo, é imprescindível o gerenciamento adequado do RCD, a fim de assegurar que sua redução, reuso e reciclagem sejam gradativos (FERREIRA, MOREIRA, 2013).

De acordo com a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), são os produtores os responsáveis pelo gerenciamento de materiais remanescentes da construção civil. Equitativamente, a normativa evidencia a proibição do descarte de RCD para os aterros sanitários e recomenda aos geradores e aos órgãos públicos que adotem diretrizes para redução dos mesmos (SILVA *et al.*, 2017).

É evidente que a construção civil é um setor extremamente impactante. Assim, é impreterível que as empresas públicas e privadas adiram à sustentabilidade e fomentem ações que visem a redução do impacto ambiental de suas atividades (ELDORADO, 2017). A fim de tornar o concreto um material mais sustentável, é necessário mitigar os impactos ambientais decorrentes de sua produção. Nesse sentido, a substituição dos agregados naturais por agregados reciclados consiste numa alternativa que tem se mostrado promissora, visando reduzir a carga poluente associada à produção do concreto (BRASILEIRO, MATOS, 2015)

O uso do concreto produzido com RCD é inadequado em estruturas que exigem elevada resistência à compressão: em testes realizados com amostras contendo material reciclado, houve uma redução na resistência mecânica do concreto, inviabilizando seu uso (AMORIM, INGUZA, NETO 2019). Entretanto, para outras áreas da construção civil, a alternativa tem se mostrado adequada - como é o caso do uso em pavimentos.

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade de utilização de RCD como agregado graúdo alternativo ao natural, para a fabricação de concreto a ser utilizado em pisos

de baixo fluxo, mais especificamente em ciclovias, a partir da avaliação da resistência à compressão de concretos produzidos com diferentes tipos e combinações de agregados graúdos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A indústria da construção civil cresce exponencialmente ano a ano, o que conseqüentemente aumenta o consumo de insumos como rochas naturais, minérios para produção de cerâmica, biomassa, madeira, metais e materiais cimentícios, sendo este último o responsável pela maior parte da demanda. Ao considerar exclusivamente os materiais disponíveis no mercado, os produtos feitos com Cimento Portland representam uma demanda de 17 Gt/ano, enquanto que de materiais cerâmicos e de madeira são comercializados na quantidade de 2 Gt/ano (cada), e de aço, 1 Gt/ano (SCRIVENER, JOHN, GARTNER, 2016).

Os materiais utilizados na construção civil são considerados abundantes. Porém, é amplamente reconhecido que a areia adequada para atividades industriais está em falta em diversos locais do mundo (BEISER, 2015). A areia, e até a argila plástica adequada para cerâmica, já estão escassas em locais próximos das grandes e médias cidades brasileiras. De igual modo, a madeira, único material potencialmente renovável, se esgota: em menos de 50 anos, as reservas de Pinheiro do Paraná, única conífera nacional, foram esgotadas. Para materiais de baixo custo, a disponibilidade local é primordial para logística, quando aumenta a distância de transporte, aumentam os impactos ambientais e logísticos associados (HABERT, BOUZIDI, CHEN, JULLIEN, 2010).

Os estudos de impactos ambientais são comumente conduzidos em projetos de grande escala. Contudo, tais avaliações deixam de abordar a importância dos edifícios convencionais, que consomem uma parcela significativa de materiais (85%), e da pavimentação para ruas e rodovias (14%). Além disso, é importante ressaltar que cerca de 25% da energia consumida no país está relacionada a essas atividades (SCHANDL *et al.*, 2016).

O setor da construção civil recicla grande quantidade de resíduos de outras indústrias, como por exemplo a escória de alto forno, cinzas volantes e sucata de aço (SCRIVENER, JOHN, GARTNER, 2016). Contudo, a taxa de reciclagem dos resíduos da construção é baixa, o que faz com que o setor continue dependente dos recursos naturais e, por conseqüência, seja vulnerável. Apesar do argumento do baixo impacto ambiental ocasionado pelos materiais de construção, a abertura de mineração, principalmente próximas a centros urbanos, tem sofrido pressões sociais e ambientais, pois produzem uma quantidade grande de material. O problema é a escala: um pequeno impacto ambiental específico (extração de areia, britagem), quando multiplicado em grande proporção, resulta em um valor significativo (JOHN, V. M, 2017).

Assim, estima-se que o setor da construção é responsável por mais de 50% dos recursos naturais extraídos no planeta. A quase totalidade dos materiais utilizados não são renováveis. Diante do supracitado, o estudo de insumos alternativos para a construção civil é fundamental, contribuindo para a diminuição da extração mineral e degradação ambiental. (GOMES, LEITE, SENA, ANDRADE, 2021).

2.1 A função do agregado graúdo

O agregado graúdo é um elemento fundamental na engenharia civil, consistindo em partículas granulares de tamanho superior a 4,75 mm, como cascalho, brita e seixos. Sua definição é baseada em critérios granulométricos e seu uso está amplamente difundido na produção de concretos e argamassas. A função primordial do agregado graúdo é conferir resistência estrutural e estabilidade às construções, atuando como elemento de distribuição e transferência de cargas (MASSUDA, 2020).

No contexto da engenharia civil, o agregado graúdo desempenha um papel determinante na resistência e durabilidade das estruturas. Sua presença permite uma adequada distribuição de cargas, proporcionando maior capacidade de suporte e resistência mecânica às construções (MELO, SILVA, GEYER, 2019). Além disso, o uso do agregado graúdo resulta em concretos e argamassas mais econômicos, uma vez que seu volume reduz a quantidade de pasta de cimento necessária para a mistura, contribuindo para uma melhor relação custo-benefício das obras (ABCP, 2019).

2.2 O agregado proveniente dos resíduos de construção e demolição (RCD)

Os RCD são resíduos provenientes da construção civil, outra nomenclatura para tal, são entulhos, ou seja, são fragmentos de concretos, argamassas, vidros dentre outros materiais que são obtidos no processo tanto de construção como de demolição (FERNANDES, AMORIM, 2014). São a partir deles que os agregados reciclados são formados, fazendo com que sua composição acabe sendo bastante variada (ÂNGULO, FIGUEIREDO, 2011).

No Brasil, devido à predominância de tecnologia construtiva convencional, os RCD apresentam elevados teores de materiais cerâmicos que são provenientes das alvenarias. Entretanto, esse tipo de material traz inúmeros problemas decorrentes de descarte inadequado, sendo frequente vê-los em terrenos baldios, leitos de rios e bota-foras clandestinos, tornando-se responsável por enchentes, proliferação de doenças e degradação ambiental (LOPES, 2017).

Propondo a destinação adequada desses resíduos, bem como a expansão da capacidade de reaproveitamento dos mesmos, a Resolução nº 307/2002 do CONAMA classificou os resíduos da construção civil em quatro classes, conforme a possibilidade de reutilização, reciclagem e periculosidade. As categorias A e B compreendem resíduos suscetíveis à reutilização ou reciclagem, sendo a primeira relacionada a agregados e a segunda a resíduos destinados a outras finalidades. A classe C diz respeito a resíduos para os quais não foram concebidas tecnologias ou aplicações viáveis do ponto de vista econômico para seu processo de reciclagem, enquanto a classe D abarca os resíduos perigosos provenientes do ciclo construtivo.

Neste ensejo, os resíduos de classe A são caracterizados por sua baixa toxicidade, podendo ser reutilizados como agregados em processos construtivos, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais e promovendo a economia no setor.

2.3 As diferenças de propriedade entre os agregados naturais e reciclados

Como explicado, os RCD são uma mistura de materiais que tem sua origem das sobras e perdas durante as fases de obras de construção, reformas ou demolição de edifícios, sendo compostos sem uma proporção previamente definida, por concreto, argamassa, telhas, gesso, materiais metálicos e cerâmicos, entre outros (CAMPOS, BARBOSA, PIMENTEL, MACIEL, 2018).

O elevado índice de vazios e absorção de água em agregados reciclados em comparação com agregados naturais implica diretamente em algumas propriedades essenciais do material, como a permeabilidade e a massa específica. Essa disparidade decorre, principalmente da heterogeneidade na composição do agregado reciclado, e está relacionada ainda a características inerentes aos processos de reciclagem, que frequentemente resultam em modificações nas propriedades físicas e químicas dos materiais. A permeabilidade do agregado reciclado é atribuída à presença de materiais finos, como argamassa aderida aos grãos reciclados, que preenchem os vazios entre os agregados. A absorção de água aumentada está associada à porosidade ampliada, resultante de processos de britagem e seleção menos eficientes durante a produção (CAMPOS, BARBOSA, PIMENTEL, MACIEL, 2018).

No caso da massa específica inferior no agregado reciclado, esta é frequentemente causada pela inclusão de materiais mais leves, como argamassa ou concreto degradado, contribuindo para um aumento no índice de vazios e afetando diretamente a absorção de água. Além disso, a presença de resíduos de cimento endurecido nos agregados reciclados pode interferir na interação água-cimento durante o processo de mistura e resultando em variações na consistência e no fator

água-cimento. As consequências dessas alterações nas propriedades dos agregados reciclados são significativas, afetando a trabalhabilidade, resistência e durabilidade do produto final. Portanto, ao incorporar agregados reciclados, é imperativo considerar essas modificações nas propriedades físicas e químicas, buscando otimizar a dosagem e o processo de produção para assegurar a qualidade e eficácia do material resultante (CARRO-LÓPEZ, GONZÁLEZ, BRITO, 2015).

A consideração precisa da absorção de água é essencial na dosagem do fator água/cimento, pois afeta diretamente as características do concreto. A absorção influencia a quantidade de água que será necessária para atingir a consistência desejada, sendo vital para alcançar um traço adequado. A correção do traço pode ser realizada por meio do ajuste da quantidade de água adicionada à mistura, considerando a absorção específica dos agregados utilizados. Essa abordagem assegura uma dosagem precisa e contribui para a obtenção de corpos de prova representativos das propriedades reais do concreto, sendo fundamental para garantir a confiabilidade e a consistência dos resultados nos ensaios laboratoriais.

2.4 O uso do agregado reciclado na produção do concreto

É evidente e indispensável o uso do concreto durante as etapas de execução de uma obra. Esse material é utilizado há várias décadas, não só para construção estrutural, mas também em pavimentos, assentamento de materiais cerâmicos e afins. O concreto é definido, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2015), como um material homogêneo, formado de água, areia, cimento e brita, aditivos químicos e minerais que formam uma massa aderente a outros tipos de materiais.

O uso de agregados reciclados na produção de concreto tem ganhado cada vez mais atenção devido aos benefícios ambientais e econômicos que oferece. Estes são obtidos a partir de RCD, o que contribui para a redução do descarte desses materiais em aterros e para a economia de recursos naturais. Além disso, estudos têm demonstrado que a utilização de agregados reciclados não compromete as propriedades mecânicas e durabilidade do concreto, desde que sejam adotadas práticas adequadas de seleção e processamento dos resíduos, sendo um substituto viável para o agregado natural (LI, 2020)

No entanto, desafios ainda precisam ser superados para promover a adoção generalizada do agregado reciclado na indústria do concreto. A variabilidade das propriedades dos agregados reciclados provenientes de diferentes fontes de resíduos é uma preocupação importante, pois pode afetar a qualidade e a consistência do concreto produzido. Portanto, é essencial desenvolver diretrizes de seleção, classificação e processamento dos resíduos, além de estabelecer normas

técnicas para garantir a qualidade dos agregados reciclados utilizados na produção de concreto. Ademais, é necessário conscientizar e educar os profissionais da construção civil sobre os benefícios e as melhores práticas para o uso de agregados reciclados, incentivando a sua adoção em larga escala (POON, AGRELA, KOU, 2017).

2.5 O uso do agregado reciclado no concreto para pisos de baixo fluxo

O uso de agregados reciclados no concreto tem sido amplamente investigado como uma estratégia sustentável para a construção civil. No contexto específico de pisos de baixo fluxo, como em ciclovias e passeios públicos, a incorporação de agregados reciclados tem apresentado potencialidades interessantes. Estudos recentes (SMITH *et al.*, 2023) demonstraram que a substituição parcial dos agregados convencionais por agregados reciclados pode contribuir para a redução do consumo de recursos naturais, bem como para a minimização dos resíduos gerados pela indústria da construção. Além disso, observou-se que a utilização de agregados reciclados no concreto para pisos de baixo fluxo pode resultar em desempenho mecânico satisfatório, desde que sejam adotadas técnicas adequadas de dosagem e controle de qualidade.

No entanto, é importante ressaltar que a utilização de agregados reciclados no concreto para pisos de baixo fluxo também apresenta desafios. Pesquisas anteriores (GARCIA, 2021) indicam que a porosidade e a absorção de água dos agregados reciclados podem afetar a durabilidade do concreto, especialmente em ambientes úmidos. Além disso, a presença de impurezas nos agregados reciclados, como materiais orgânicos e contaminantes químicos, requer medidas adequadas de seleção e tratamento para evitar efeitos negativos no desempenho do concreto. Portanto, são necessários estudos adicionais para aprimorar as técnicas de dosagem e o entendimento dos efeitos dos agregados reciclados na durabilidade do concreto em pisos de baixo fluxo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo propôs uma avaliação sobre a qualidade do concreto em diferentes formulações de corpos de prova (CPs), sendo um total de 12 amostras analisadas, quantidade escolhida por conveniência. O objetivo principal foi avaliar o desempenho mecânico de corpos de prova (CPs) de concreto em três diferentes composições: com 100% do agregado graúdo em brita natural; com 50% de brita natural e 50% de brita reciclada e por fim, com 100% de brita reciclada. Este trabalho se insere em um contexto relevante, uma vez que a busca por materiais mais sustentáveis e a reutilização de materiais de construção são temas essenciais na engenharia civil contemporânea.

O traço de composição do concreto adotado para a elaboração dos CPs foi concebido por Pavezi (2018), que, em sua investigação, empregou materiais encontrados na região noroeste do Paraná, sendo esses compatíveis com os selecionados para o presente estudo. Destaca-se que o fator água/cimento foi modificado em consonância com o tipo de agregado utilizado, demonstrando uma adaptação do traço em função das particularidades dos materiais utilizados, sobretudo no que se refere às condições de absorção dos agregados reciclados. O traço adotado para a condição inicial, na qual se produziu o concreto com 100% de agregado natural, é apresentado na Tabela 01.

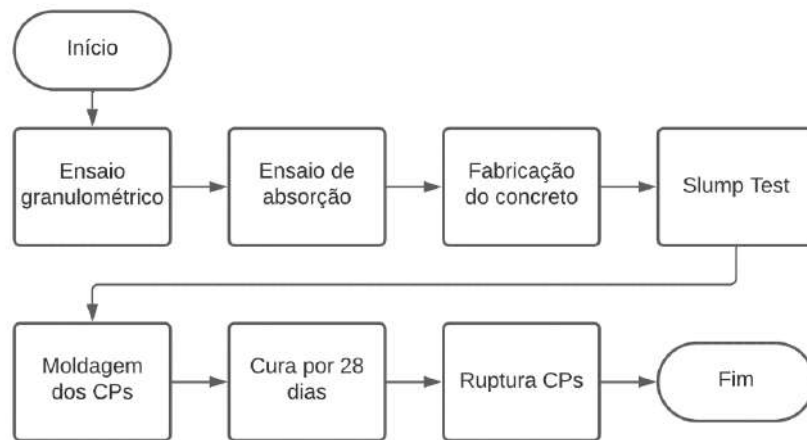
Tabela 01 - Traço de Referência utilizado na moldagem do concreto com 100% de agregado natural

Cimento	Areia	Brita	Fator a/c
1,000	2,328	3,072	0,634

Fonte: Pavezi (2018)

A seleção dos materiais e a preparação dos corpos de prova foram realizadas de acordo com as normas técnicas pertinentes, incluindo a NBR 7211:2022 para a especificação dos agregados, e a NBR 5738:2015 para moldagem dos corpos de prova. Foram preparados 12 CPs em laboratório, divididos igualmente nas diferentes proporções de brita natural e brita reciclada supracitadas. O agregado reciclado utilizado foi produzido e fornecido pela empresa “Future Reciclagem Inteligente”, de Cascavel, empresa essa de destaque no ramo de agregado reciclado, tendo sido a primeira empresa devidamente licenciada no oeste do Paraná. O cimento utilizado foi do tipo Portland CP II-F, e a relação água/cimento foi ajustada, quando do uso do agregado reciclado, a partir dos resultados do ensaio de absorção água, realizados de acordo com a NBR 16917:2021, juntamente com o ensaio de granulometria, feito seguindo-se a NBR NM 248:2003. Após a moldagem, os corpos de prova foram curados submersos em água por 28 dias.

Figura 01 – Fluxograma



Fonte: Autora (2023)

3.1 Ensaio de Absorção de Água

Para avaliar a absorção de água dos agregados (natural e reciclado), estes foram submersos em água a 23°C por 24 horas. Subsequentemente, a massa dos corpos de prova foi medida antes e após a imersão. Os valores de absorção de água foram calculados de acordo com a equação padrão indicada abaixo, nos termos do que estabelece a NBR 16917:2021.

$$Abs = \frac{m_B - m_A}{m_A} \times 100$$

, onde:

Abs é a absorção de água, expressa em porcentagem (%);

m_A é a massa da amostra seca em estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$, expressa em gramas (g);

m_B é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, expressa em gramas (g)

3.2 Slump Test

O ensaio de Slump Test foi realizado de acordo com a NBR 16889:2020. Cada corpo de prova foi preenchido com o concreto fresco e, em seguida, o molde foi removido. A deformação vertical do concreto foi medida e comparada com os valores de referência para avaliar a trabalhabilidade do material, onde espera-se um caimento de 5 a 10cm.

3.3 Teste de Pressão em Prensa Hidráulica

O teste de pressão consistiu em submeter os corpos de prova a uma carga uniaxial até a falha, após 28 dias submersos e 7 dias em descanso, utilizando uma prensa hidráulica. A força máxima suportada pelos corpos de prova foi registrada, e os valores de resistência à compressão foram calculados. Cada teste foi repetido três vezes, e a média foi considerada como o valor de resistência à compressão de cada corpo de prova.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas análises granulométricas realizadas, tornou-se evidente que os agregados reciclados exibem uma granulometria superior em relação aos agregados naturais. Tal fenômeno pode ser atribuído à ampla abrangência e diversidade de materiais presentes em sua composição, refletindo-se na retenção significativa de 67% do material na peneira 12,5, em contraste com a retenção de 56% na peneira 9,5, conforme representado nas Tabelas 02 e 03 e Figura 02.

Tabela 02 – Granulometria do Agregado Reciclado

AGREGADO RECICLADO						
Peneira	M1	1000	M2	1000	Médias	
#(mm)	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R.Ac
31,5	0	0,00	0	0,00	0	0
25	0	0,00	0	0,00	0	0
19	0	0,00	0	0,00	0	0
12,5	703,1	70,17	636,1	63,76	66,96635	66,96635
9,5	264	26,35	294,4	29,51	27,92907	94,89541
6,3	31,3	3,12	52,3	5,24	4,183167	99,07858
4,75	1,8	0,18	0,4	0,04	0,109868	99,18845
2,36	0,3	0,03	0,5	0,05	0,04003	99,22848
1,18	0,2	0,02	0,6	0,06	0,040052	99,26853
0,6	0,2	0,02	1,1	0,11	0,065112	99,33364
0,3	0,1	0,01	3,3	0,33	0,170387	99,50403
0,25	0,1	0,01	0,6	0,06	0,035062	99,53909
0,15	0,1	0,01	3,8	0,38	0,195447	99,73454
0	0,8	0,08	4,5	0,45	0,265461	100
Soma	1002	100,00	997,6	100,00	100	

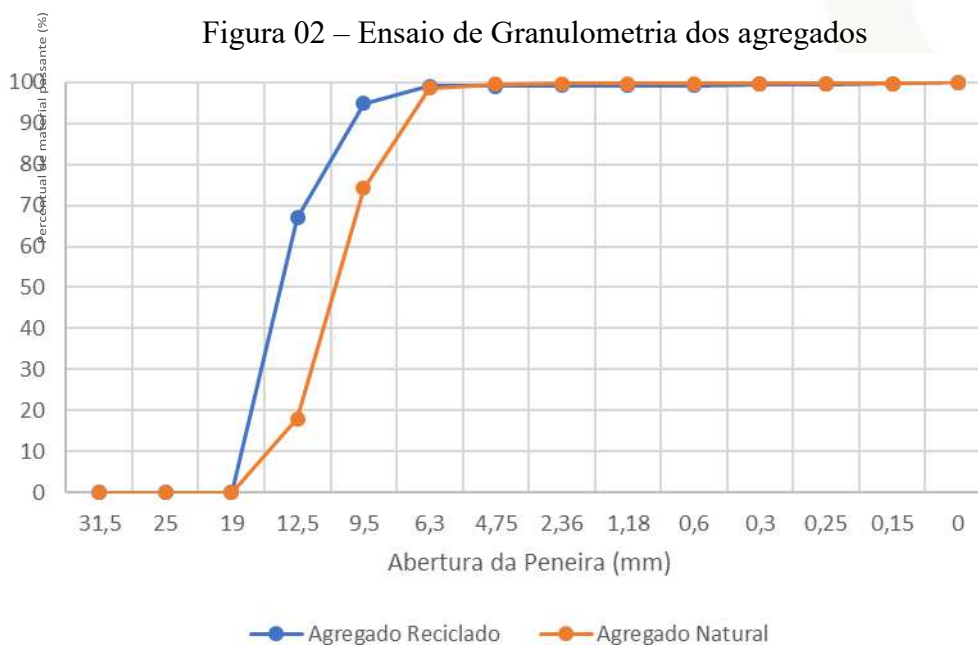
Fonte: Autora (2023)

Tabela 03 – Granulometria do Agregado Natural

AGREGADO NATURAL						
Peneira	M1	1000	M2	1000	Médias	
#(mm)	M. Retida	% Retida	M. Retida	% Retida	% Retida	% R.Ac
31,5	0	0,00	0	0,00	0	0
25	0	0,00	0	0,00	0	0
19	0	0,00	0	0,00	0	0

12,5	162	16,19	198,2	19,81	17,99659	17,99659
9,5	557,6	55,72	568,3	56,79	56,25284	74,24943
6,3	263,9	26,37	224,5	22,43	24,4016	98,65103
4,75	14	1,40	5,8	0,58	0,989238	99,64027
2,36	1,2	0,12	0,1	0,01	0,064949	99,70522
1,18	0	0,00	0	0,00	0	99,70522
0,6	0,2	0,02	0	0,00	0,009992	99,71521
0,3	0,6	0,06	0,4	0,04	0,049962	99,76517
0,25	0,1	0,01	0	0,00	0,004996	99,77017
0,15	0,1	0,01	0,3	0,03	0,019986	99,79015
0	1,1	0,11	3,1	0,31	0,209848	100
Soma	1000,8	100,00	1000,7	100,00	100	

Fonte: Autora



Fonte: Autora (2023)

No que se refere ao ensaio de absorção, foi possível constatar conforme a Tabela 04, por meio de observação, medições e cálculo, que o agregado natural apresentou mínimas variações de peso entre o valor inicial e o peso após 24 horas de imersão, experimentando uma ligeira diminuição após o período subsequente de 24 horas de secagem. Em contrapartida, o agregado reciclado demonstrou alterações significativas, conforme evidenciado no gráfico da Figura 03, destacando a importância do cálculo da absorção de água como um elemento fundamental a ser considerado no processo de formulação da mistura padrão. Esta diferença significativa de massas evidencia uma maior absorção do agregado reciclado, conforme esperado. No gráfico da Figura 03,

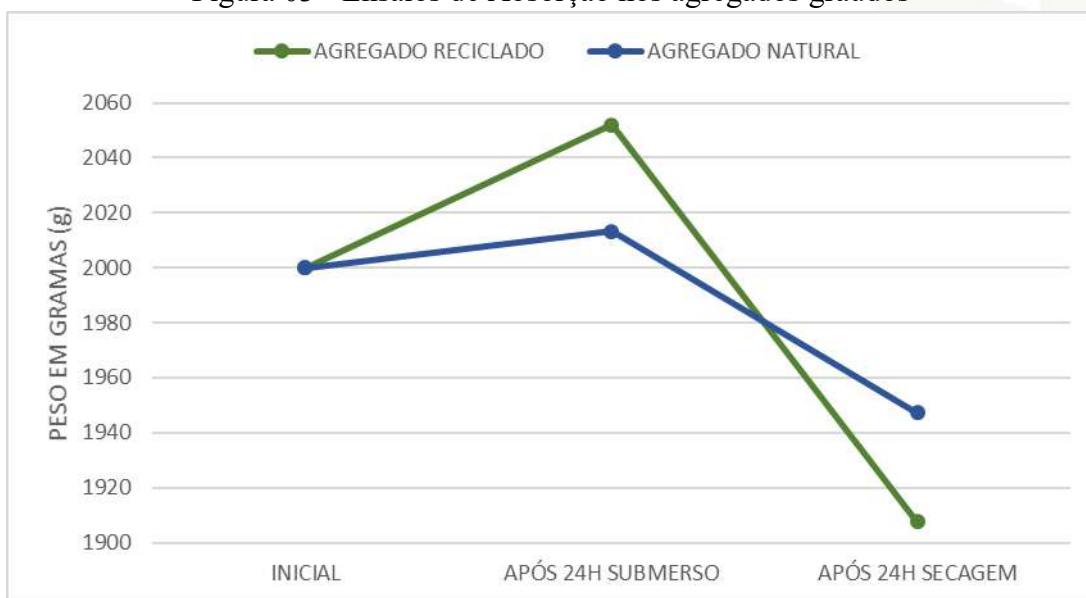
o eixo vertical representa a massa, em gramas, das respectivas amostras, enquanto que o eixo horizontal apresenta os diferentes momentos do ensaio em questão.

Tabela 04 - Ensaio de Absorção nos agregados graúdos em gramas

AGREGADO RECICLADO			
Amostras	Peso inicial	Peso após 24h submerso	Peso após 24h secagem
Amostra 1	2000	2051,9	1904,4
Amostra 2	2000	2052	1910,9
Média	2000	2051,95	1907,65
AGREGADO NATURAL			
Amostras	Peso inicial	Peso após 24h submerso	Peso após 24h secagem
Amostra 1	2000	2013,4	1950,3
Amostra 2	2000	2013	1944,4
Média	2000	2013,2	1947,35

Fonte: Autora

Figura 03 - Ensaio de Absorção nos agregados graúdos



Fonte: Autora (2023)

Os resultados do teste de absorção de água revelaram diferenças significativas entre os agregados graúdos natural e reciclado: enquanto as amostras de agregado natural apresentaram uma menor absorção de água, indicando uma maior resistência à permeabilidade e exibindo percentual de absorção calculado como 3,38%, a brita produzida a partir de RCD atingiu um valor médio de absorção de 7,56%, indicando maior porosidade. A diferença de magnitude entre os dados de absorção, igual a 4,18% a mais para a brita reciclada quando comparada ao agregado natural, tem implicação significativa no momento de montagem dos corpos de prova de concreto: a absorção elevada do agregado reciclado “rouba” parte da água que deveria ser utilizada para a hidratação do

cimento no momento da mistura. Portanto, para evitar que isto ocorresse, foram acrescentados 130 ml de água à mistura, pois calculando a densidade do agregado reciclado, obteve-se um volume total de 3074 cm³, e de acordo com os resultados do teste de absorção, deve-se majorar 4,18% desse volume em água, totalizando 130 ml adicionados no momento de produção do concreto com 100% de agregado reciclado, de modo a compensar a variação significativa na absorção de água pelo RCD. No caso do uso misto de agregados (concreto com 50% de cada tipo agregado), o acréscimo de água foi proporcional (ou seja, de 65 ml), utilizando os mesmos cálculos.

Após o alinhamento dos traços e a produção dos concretos, foi possível realizar o *slump test* para cada mistura. Nestes ensaios, observou-se um desempenho similar nos 3 traços testados, que em geral foi igual a zero. Tais resultados mostraram que, de uma forma geral, os traços ficaram secos, com baixa trabalhabilidade. Isso ocorreu, provavelmente, devido às dimensões expressivas da betoneira disponível no laboratório, que acabava por reduzir a umidade do material testado, resultando assim em um concreto mais seco (ou com menor fluidez), e conseqüentemente mais difícil de ser trabalhado, o que pode ter alterado as características e propriedades do produto final. Por outro lado, percebe-se que o acréscimo de água nos concretos com agregado reciclado foram adequados para compensar a absorção elevada deste agregado, visto que o aspecto de trabalhabilidade nos diferentes concretos produzidos foram bastante similares, como pode ser observado na Figura 04.

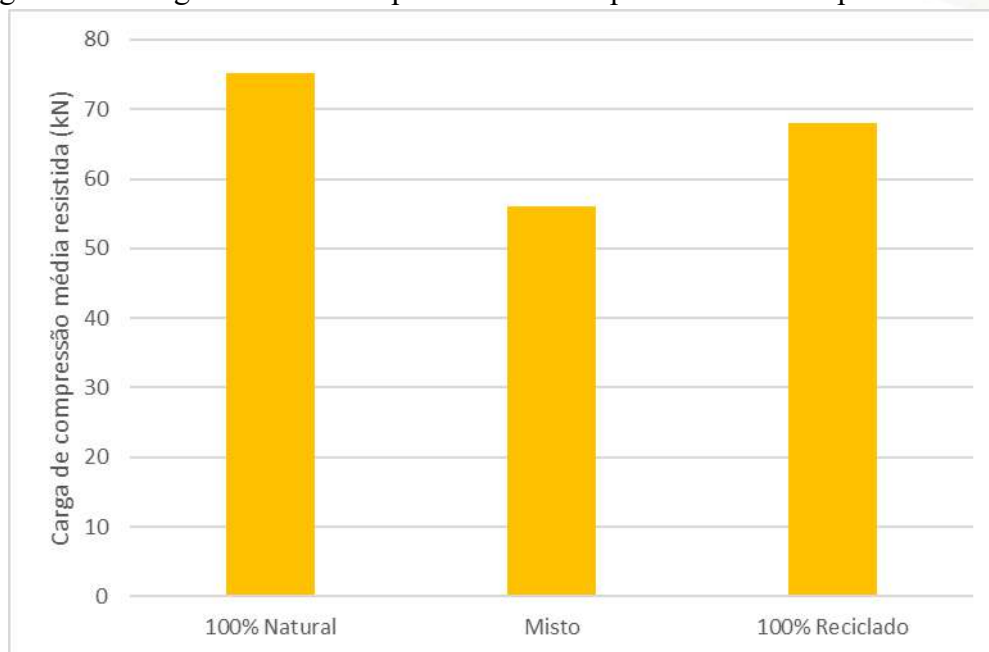
Figura 04 – Slump Test para os diferentes concretos produzidos.



Fonte: Autora (2023)

Após a moldagem, desmoldagem (após 24h) e a cura (28 dias) dos CPs, os mesmos puderam ser submetidos ao ensaio de compressão. Neste ensaio, realizado na prensa hidráulica, os CPs compostos inteiramente por brita reciclada apresentaram uma resistência mecânica aceitável (68 kN), muito próximo da resistência alcançada pela brita 100% natural (75 kN), indicando que a brita reciclada pode ser uma alternativa viável para a produção de concreto em certas aplicações, como no uso como piso de ciclovias. Surpreendentemente, o concreto composto por 50% de brita natural e 50% de brita reciclada foi o que teve menor resistência dentre os amostrados (56 kN), conforme pode ser observado no gráfico da Figura 05. Esses resultados ressaltam a importância do tipo de agregado na resistência e durabilidade do concreto, destacando a superioridade do produto produzido com brita natural em termos de desempenho mecânico, bem como a viabilidade da brita reciclada em situações práticas.

Figura 05 – Carga média de compressão resistida pelos diferentes tipos de concreto



Fonte: Autora (2023)

Da análise da Figura 04, percebe-se a similaridade de carga resistidas em todas as composições de concreto. Não obstante, quando os resultados são convertidos para uma unidade de medida apropriada de pressão (ou seja, de kN para MPa), constata-se que os valores estão substancialmente abaixo do padrão de resistência esperados (próximo de 20 MPa) para o estudo, mantendo uma média em torno de 9 MPa. Vale salientar que os ensaios de resistência a compressão

foram realizados todos na mesma prensa, e com a mesmas condições de carregamento. Com isso, foi possível realizar a análise comparativa da resistência entre os diferentes tipos de concreto, conforme pretendido.

Em resumo, os resultados deste estudo indicam que a qualidade do concreto está diretamente relacionada ao tipo de agregado utilizado. A brita natural mostrou-se superior à brita reciclada em relação à resistência à compressão, bem como uma menor absorção de água quando comparada à brita reciclada. Além disso, a combinação de brita natural e brita reciclada em proporções equilibradas apresentou resultados intermediários.

5 CONCLUSÃO

Em suma, este estudo destacou a influência significativa do tipo de brita na absorção de água, trabalhabilidade e resistência mecânica do concreto. A utilização de brita reciclada, apesar de apresentar algumas diferenças em comparação com a brita natural, mostrou-se uma opção viável para a produção de concreto em circunstâncias específicas, sobretudo em condições nas quais não se exigem elevadas resistências. No entanto, é essencial realizar estudos mais aprofundados para entender completamente o comportamento a longo prazo e a durabilidade do concreto produzido com brita reciclada.

Ademais, os resultados desta pesquisa fornecem informações valiosas para a indústria da construção civil, destacando a necessidade de encontrar um equilíbrio entre a sustentabilidade ambiental, por meio da reciclagem de materiais, e a garantia da qualidade e durabilidade das estruturas de concreto. Futuras pesquisas podem se concentrar em explorar técnicas de melhoria das propriedades da brita reciclada para torná-la uma alternativa mais viável e sustentável no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Agregados**: características e propriedades. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://abcp.org.br/materiais-e-solucoes/agregados-caracteristicas-e-propriedades/>>. Acesso em: 14 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto- Requisitos**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto- Procedimento para cura e moldagem dos corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16917: **Agregado graúdo- Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 248- **Agregados: determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16917- **Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2021.

ANGULO, Sérgio C.; FIGUEIREDO, AD de. **Concreto com agregados reciclados**. v. 1, Instituto Brasileiro do Concreto p. 1731-1767, 2011.

BEISER, V. The Deadly Global War for Sand. Disponível em:
<<https://www.wired.com/2015/03/illegal-sand-mining/>>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Portaria nº 307**, de 5 de julho de 2002. Institui a Câmara Técnica de Gestão Territorial e Biomass - CONAMA.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: **reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica, v. 61, n. 358, p. 178–189, jun. 2015.

CAMPOS, R. S., BARBOSA, M. P., PIMENTEL, L. L., MACIEL, G. F. **Influência dos agregados reciclados nas propriedades reológicas e mecânicas do concreto autoadensável**, Matéria, v. 23, n. 1, 2018.

CARRO-LÓPEZ, D., GONZÁLEZ-FONTEBOA, B., BRITO, G. **Study of the rheology of self-compacting concrete with fine recycled concrete aggregates**. Construction and Building Materials, v. 96, pp. 491-501, 2015.

ELDORADO, Brasil. RIMA – EIA. **Relatório de Impacto Ambiental Eldorado**. Três Lagoas – MS, 2017 Disponível em:
http://www.servicos.ms.gov.br/imasuldownloads/rimas/RIMA_ELDORADO_BRASIL.pdf. Acesso em 23 mar. 2023.

FERNANDES, A. V. B.; AMORIM, J. R. R. **Concreto sustentável aplicado na construção civil**. Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - SERGIPE, v. 2, n. 1, p. 79–104, 25 mar. 2014.

GARCIA, A. O., (2021). Effects of recycled aggregates on concrete durability. **Construction and Building Materials**, 287. Acesso em: 18 jun. 2023

GOMES, C. P., LEITE, G. U., SENA, R. W., ANDRADE, E.M. Impacto Ambiental e Gerenciamento de Resíduos Sólidos Advindos da Construção Civil no Brasil: Uma Revisão de Literatura / Environmental Impact and Solid Waste Management Arising from Civil Construction in Brazil: A Literature Review. ID on line REVISTA DE PSICOLOGIA, v. 15, n. 55, p. 729–742, 31 maio 2021.

HABERT, G., BOUZIDI, Y., CHEN, C., JULLIEN, A. Development of a depletion indicator for natural resources used in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, n. 6, p. 364–376, abr. 2010.

JOHN, V. M. (2017). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais* G Isaia. IBRACON 2017

JOHNSON, R., & Brown, M. (2023). Sustainable approaches to concrete production: a review of recycled aggregate utilization. *Construction and Building Materials*, 315. Acesso em: 18 jun. 2023. HABERT

LOPES, I. Estudo dos resíduos de construção e demolição e suas aplicações na produção de blocos de concreto. *repositorio.aee.edu.br*, 26 set. 2018.

LI, Z., (2020). Performance evaluation of recycled aggregate concrete for low-traffic concrete pavement applications. *Journal of Cleaner Production*, 263. Acesso em: 18 jun. 2023.

MASSUDA, C. T. **Estudo do comportamento mecânico de concreto produzido com agregados reciclados de concreto.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 197-211, jan./mar. 2020. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v20n1/1678-8621-ac-20-01-00197.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2023.

MELO, C. E., SILVA, D. A., GEYER, A. L. **Estudo da influência do agregado graúdo reciclado nas propriedades do concreto fresco e endurecido.** *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, São Carlos, v. 21, n. 93, p. 1-16, 2019. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=211960604005>>. Acesso em: 14 jun. 2023.

MELLO, J. B., ARANHA, N., BONVETTI Jr, W., GONÇALVES, D. B. Estudo sobre a viabilidade técnica e econômica da reciclagem de entulho para a produção de concreto em obras civis. *Engevista*, v. 19, n. 5, pp. 1352-1363, Dez. 2017.

NETO, P. G., AMORIM, E. F., INGUNZA, M. P. (2019). Análises de dosagens de concreto asfáltico do tipo Pré Misturado a Frio (PMF) utilizando Resíduos da Construção e Demolição de obras (RCD). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/xSXxbV5q89Wtz7LXvvr8SnG/?lang=pt>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

PAVEZI, B. **UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ CENTRO DE TECNOLOGIA.** Disponível em: <http://www.pcv.uem.br/documentos/dissertacao-de-mestrado/versao-definitiva-dissertacao.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

POON, C.S., AGRELA, F., KOU, S.C, (2017). **Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared.** Acesso em: 18 jun. 2023

RIBEIRO, A.; FERREIRA, L.; MOREIRA, H. Análise Crítica da Gestão de Resíduos de Construção Civil: Estudo de caso do Município do Rio de Janeiro. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10008292.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2023.

SANTOS, F.S. dos, AZEREDO, P.H. de A., & VENEU, D.M. (2020). **Avaliação de concreto sustentável contendo teores de resíduos de agregados reciclados**. Brazilian Journal of Development , 6 (7), 45457–45471. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-244>>. Acesso em: 18 jun. 2023

SCHANDL, H. et al. Decoupling global environmental pressure and economic growth: scenarios for energy use, materials use and carbon emissions. **Journal of Cleaner Production**, v. 132, p. 45-56, 2016.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. **Cement and Concrete Research**, v. 114, p. 2–26, dez. 2018.

SILVA et al. **Gestão de resíduos sólidos na construção civil: Estudo de caso em duas empresas na Cidade de Manaus – AM**. InterfaceEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade. Vol.12 nº1 – junho de 2017, São Paulo: Centro Universitário Senac.

SMITH, J., et al. (2022). Sustainable concrete production through recycled aggregate utilization: a comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**. Acesso em: 18 jun. 2023