
USO DE AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DE DEMOLIÇÃO NA PRODUÇÃO DE *PAVERS*: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Enrique Apicella Mazzon Garcia

Gabriel Galdino Laurino

Luiz Felipe Portugal Dib

Eric Ribeiro da Silva

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

Esta pesquisa teve o propósito de fazer uma análise sobre diversos estudos relacionados à confecção de blocos de concreto pré-moldados com a utilização de agregado reciclado, mais especificamente de resíduos de construção e de demolição (RCD). A prioridade foi a comparação entre os diferentes métodos utilizados para que, de maneira fundamentada, fossem encontrados parâmetros atuais para a confecção de *pavers* com agregados reciclados, facilitando o desenvolvimento de estudos futuros. Apesar de a pesquisa não englobar toda a literatura existente sobre o assunto até o momento, os artigos estudados servem como uma base de informações para tal finalidade. Os dados levantados mostraram resultados que, de modo geral, não atendem aos valores de resistência à compressão estipulados pela Norma Brasileira (NBR) 9781 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2013), mas nos permitem analisar a influência dos agregados reciclados nas propriedades dos blocos. Foi possível concluir que o agregado reciclado obtido a partir da britagem de concreto tem um grande

potencial para a utilização na construção de *pavers*, implicando benefícios não só ecológicos, mas também econômicos, principalmente para uso em vias de menor tráfego, como calçadas e parques, e, em alguns casos, para ganho de propriedades mecânicas.

Palavras-chave: *Paver*. Resíduo de construção e demolição. Reciclagem.

1 INTRODUÇÃO

O reaproveitamento de materiais é um assunto relevante nas mais diversas áreas, especialmente na da construção civil. Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (Abrecon), estima-se que 84.000.000 m³ de entulhos são gerados anualmente no Brasil e que, de todo o lixo sólido urbano produzido no Brasil, 60% são representados pelos resíduos de construção e demolição (RCD), os quais têm um potencial de reciclagem de aproximadamente 70% (MANDINGA, 2011; TORRES, 2016).

É também estimado que cerca de R\$ 8 bilhões são desperdiçados por ano no país devido à não reciclagem de materiais de construção (MANDINGA, 2011). Apenas 20% dos RCD são reciclados no Brasil (TORRES, 2016). Para fins de comparação, a taxa de reciclagem de RCD nos países da União Europeia (UE) é muito superior em relação à porcentagem no Brasil, atingindo a marca de 80% nos Países Baixos e na Bélgica e chegando até mais de 85% na Alemanha (FREITAS, 2018).

Segundo a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2002), a classe A é destinada a resíduos com potencial de reutilização ou reciclagem na forma de agregado – entre eles, os RCD.

Os *pavers*, empregados em pavimentos intertravados, são uma alternativa em relação à pavimentação asfáltica. O pavimento intertravado apresenta fácil manutenção, o que prolonga a sua vida útil, podendo durar até 40 anos, segundo a Associação Brasileira de Concreto Portland (ABCP, 1999), enquanto pavimentos asfálticos duram, em média, de cinco a dez anos (SALLES, 2013).

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2017), em 2015, no Brasil, a malha rodoviária pavimentada representava uma parcela de apenas 12,24% da malha rodoviária total existente e planejada, uma porcentagem muito baixa e que, desde 2001, aumentou menos de 3%.

A indústria de construção da engenharia civil gera toneladas de RCD com potencial de reciclagem todos os dias. Com isso, diversos estudos, como os apresentados a

seguir, estão sendo realizados a cada ano, buscando expandir suas possibilidades de reaplicação na construção civil e entender o desempenho desses materiais reciclados. Assim, estabelecemos o seguinte problema de pesquisa: seria possível empregar agregado reciclado de concreto na produção de blocos pré-moldados de concreto que atenda de forma satisfatória às características exigidas para o seu uso em obras de pavimentação?

Para a produção de concreto com agregado reciclado, é necessário abordar uma grande quantidade de variáveis e etapas que podem modificar suas características e seu desempenho. O material reciclado utilizado, a quantidade desse material, o traço do concreto, a homogeneidade do material, os equipamentos, a mão de obra e os métodos utilizados podem afetar as propriedades do concreto produzido com agregado reciclado.

O objetivo do presente estudo foi investigar, por meio de revisão da literatura, alguns dos principais fatores que influenciam nas características e no desempenho de *pavers* produzidos com a incorporação de agregados reciclados provenientes de RCD, a fim de estabelecer parâmetros que possam nortear estudos experimentais futuros.

2 METODOLOGIA

Foram pesquisados diversos artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso de graduação, dissertações de mestrado, teses de doutorado e monografias em geral que envolvessem estudos experimentais com substituição do agregado de *pavers*, parcial ou total, por agregado reciclado de concreto.

Para fazer parte desta revisão, selecionamos aqueles que atenderam a todos os requisitos estabelecidos pelos autores deste trabalho, a saber: apresentar o traço utilizado para moldagem dos *pavers*; apresentar o percentual de substituição de agregado natural por agregado reciclado; ter ensaiado corpos de prova de controle, para possibilitar a comparação de resultados obtidos entre *pavers* com e sem agregados reciclados; ter realizado, no mínimo, um ensaio presente na Norma Brasileira (NBR) 9781 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2013); e, por fim, ter sido publicado, preferencialmente, nos últimos 15 anos em relação ao ano de 2021.

Utilizando tais parâmetros, filtraram-se os artigos previamente estudados, sendo, então, selecionados sete artigos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Pavimentos de blocos de concreto

Os pavimentos de blocos de concreto (PBC) são estruturas de pavimento revestidas de blocos pré-moldados de concreto de cimento Portland. Têm, conforme descrito pela ABCP (1999), a camada de rolamento composta por blocos de concreto maciço posicionados de forma adjunta uns aos outros, assentados sobre uma camada de areia, com suas juntas seladas pelo mesmo material, sendo considerados pela NBR 15953 da ABNT (2011) um tipo de pavimento flexível.

Para fabricação das peças, é especificado que o concreto deve ser constituído de cimento Portland de qualquer um dos tipos descritos na NBR 9781 da ABNT (2013). As dimensões da peça devem estar de acordo com os limites de comprimento nominal máximo de 250 mm e de largura mínima de 97 mm para a área a que será aplicada a carga no ensaio de resistência à compressão e de espessura nominal mínima de 60 mm, em múltiplos de 20 mm. A tolerância dimensional da peça para comprimento, largura e espessura é de 3 mm para mais ou para menos.

As peças devem ter um espaçador incorporado, com espessura que atenda à NBR 15953 da ABNT (2011). O chanfro do *paver* depende de diversos fatores construtivos, estruturais e de conforto, podendo as peças sequer possuírem chanfros em casos específicos. No caso de peças que apresentem chanfro, deve haver um intervalo de 3 mm a 6 mm em suas projeções horizontais e verticais referentes ao bloco. As arestas devem ser retangulares em todas as suas faces, devendo apresentar ângulo de inclinação de 90°, a ser avaliado por esquadro enquanto a peça estiver apoiada sob superfície plana.

3.2 Ensaios

Para o desenvolvimento de qualquer material ou técnica na área da engenharia, é necessário realizar estudos por meio de ensaios laboratoriais, embasados em normas, que possibilitem avaliar suas características e eficiência.

3.2.1 Granulometria

Para a determinação do tipo de brita, que resultará da britagem do concreto recebido, são utilizadas séries de peneiras sucessivas, com aberturas de malhas normatizadas pela Norma MERCOSUL (NM) 248 da ABNT (2003) – feita ou traduzida no Brasil e aplicada no MERCOSUL. Com o resultado, realiza-se a classificação considerando-

-se as dimensões nominais do agregado (número e tipo), de acordo com a NBR 7211 da ABNT (2019).

3.2.2 Ensaio de resistência à compressão

Para a análise da resistência à compressão dos *pavers* obtidos, é realizado o ensaio normatizado pela NBR 9781 da ABNT (2013). As peças devem atender a valores de resistência à compressão que estejam em conformidade com a norma, e, para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais (caminhões e ônibus), a resistência característica a compressão aos 28 dias deve ser superior ou igual a 35 MPa e, para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados, deve ser igual ou superior a 50 MPa.

3.2.3 Determinação de absorção de água

Para determinar se a peça está de acordo com as normas vigentes, deve-se medir o incremento de massa que elas terão ao serem imersas em água à temperatura ambiente por 24 horas, conforme o anexo B da NBR 9781 da ABNT (2013). Com os procedimentos da norma executados e as peças devidamente pesadas, o valor médio de incremento de massa obtido deverá ser menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

3.2.4 Resistência à abrasão

O teste de resistência à abrasão é facultativo e normatizado pela NBR 9781 da ABNT (2013) e, a fim de que a peça atenda à norma, a cavidade máxima deve ser inferior ou igual a 23 mm e, para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados, deve ser inferior ou igual a 20 mm.

3.3 Artigos estudados

Com a finalidade de ter uma base teórica para a realização de ensaios futuros, diversos artigos foram estudados e seus resultados foram comparados visando a encontrar um intervalo ideal para a confecção de *pavers*. É importante ressaltar que os procedimentos de confecção e ensaio dos *pavers* têm certa complexidade e, muitas vezes, resultados abaixo do padrão estabelecido por norma acontecem pela má execução ou pelo uso de equipamentos não ideais nessas atividades.

Para fins de comparação, definiu-se neste trabalho uma sigla para cada traço. O traço de controle é representado por uma letra maiúscula isolada enquanto, nos traços em que houve substituição de material natural por reciclado, é adicionado um número adjacente à letra, como exemplificado no Quadro 1.

QUADRO 1

Exemplo de escolha da sigla do traço

Autor	Sigla do traço	Agregado utilizado
Exemplo	X	Controle
	X1	Agregado reciclado

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3.1 Hood (2006)

Hood (2006) optou pela utilização do cimento Portland CPV-ARI-RS,¹ sem aditivos. Quanto aos agregados naturais, utilizaram-se, para a parcela miúda, areia fina e areia média com dimensão máxima característica (DMC) de 0,60 mm e 4,75 mm e módulo de finura (MF) de 1,03 e 2,80, respectivamente. Para a parcela graúda natural, foi utilizada brita granítica com DMC de 19,0 mm e MF de 5,94. Para os materiais reciclados, o autor utilizou RCD que foram coletados de um aterro de inertes localizado no bairro da Serraria, em Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, compostos de diversos materiais, sendo eles: argamassa, concreto, material cerâmico e rocha natural. Esse material foi segregado e britado para que se obtivessem as características de agregado miúdo, com DMC de 4,75 mm MF de 3,15.

O traço escolhido pelo autor foi o apresentado na Tabela 1, com parcela de utilização do material reciclado variando sendo acrescidos 25% desse, a partir de 0%, para um traço de controle, até atingir substituição total da areia, de modo a observar a influência desses RCD nas características dos blocos. Todos os agregados empregados nesse estudo foram utilizados em estado seco. Foram ensaiados 182 corpos de prova (CP), sendo 28 para cada traço com dimensões não informadas.

1 Tipo de cimento Portland (CP V); alta resistência inicial (ARI); resistente a sulfatos (RS).

TABELA 1

Traços utilizados

Autor	Sigla do traço	Traço							
		Cimento	Areia	Brita	Pó de pedra (PDP)	Agregado miúdo reciclado (AM)	Agregado graúdo reciclado (AG)	Água/cimento (a/c)	Aditivo
Hood (2006)	A	1	3,34	1,16	-	-	-	0,37	-
	A1	1	2,50	1,16	-	0,84	-	0,43	-
	A2	1	1,17	1,16	-	1,17	-	0,52	-
	A3	1	0,84	1,16	-	2,50	-	0,58	-
	A4	1	-	1,16	-	3,34	-	0,63	-

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Hood (2006).

Para a produção do concreto, utilizou-se uma betoneira de eixo vertical. Os blocos então foram moldados em uma vibroprensa PMB-10 e, posteriormente, ensaiados em uma prensa hidráulica da marca Shimadzu, modelo UH2000kN, para obter os resultados de resistência à compressão. Também foram realizados os ensaios de resistência à abrasão pela Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado Rio Grande do Sul (Cientec) e o de absorção de água, pelo autor, com resultados que constam nas tabelas 2 e 3.

TABELA 2

Resultados dos ensaios obrigatórios conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013)

Autor	Sigla do traço	Absorção de água	Variação (%)*	NBR 9781 (ABNT, 2013)	Resistência à compressão média (MPa)			Variação (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)
		28 dias		≤ 6%	Sete dias	14 dias	28 dias		≥ 35 MPa
Hood (2006)	A	6,73%	-	Não atende	26,13	29,74	32,53	-	Não atende
	A1	7,39%	9,81%	Não atende	19,78	23,50	26,67	-18,01%	Não atende
	A2	10,14%	50,67%	Não atende	9,75	11,26	11,84	-63,60%	Não atende
	A3	12,25%	82,02%	Não atende	8,76	10,23	11,16	-65,69%	Não atende
	A4	10,27%	52,60%	Não atende	4,87	7,16	9,95	-69,41%	Não atende

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Hood (2006).

Nota: * Variação percentual em relação ao traço de controle.

TABELA 3

Resultados de resistência à abrasão conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013)

Autor	Sigla do traço	Resistência à abrasão	
		Índice de desgaste (mm)	NBR 9781 (ABNT, 2013) ≤ 23 mm
Hood (2006)	A	6,17	Atende
	A1	10,63	Atende
	A2	12,80	Atende
	A3	14,65	Atende
	A4	11,98	Atende

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Hood (2006).

Para todas as porcentagens de substituição, incluindo o traço de controle A, foram obtidos resultados de absorção de água e de resistência à compressão aos 28 dias insuficientes para atender aos 6% e 35 MPa, respectivamente, estabelecidos pela NBR 9781 da ABNT (2013), o que indica que a não obtenção de resultados satisfatórios não se deve necessariamente à utilização de agregado miúdo proveniente de RCD, mas, sim, a outras variáveis, como o processo produtivo ou uma má escolha do traço. O traço contendo agregado miúdo reciclado que apresentou os melhores resultados foi o A1, com substituição de 25% da areia, atingindo, aos 28 dias, uma resistência 18,01% inferior e uma absorção de água 9,81% superior, em comparação aos valores obtidos no controle A. No entanto, a resistência à abrasão atingiu resultados que atendem à NBR 9781 da ABNT (2013) para todas as porcentagens de substituição.

3.3.2 Simieli *et al.* (2007)

Simieli *et al.* (2007) utilizaram cimento CP-V-ARI, com aditivo fluidificante à base de policarboxilato, que tem como finalidade melhorar a trabalhabilidade e reduzir a relação água/cimento (*a/c*). Para os agregados naturais, utilizou-se, para a parcela graúda, pedrisco com DMC de 9,50 mm e MF de 5,53 e, para a parcela miúda, areia fina com DMC de 1,18 mm e MF de 2,14 e areia média com DMC de 1,90 mm e MF de 2,27. Quanto aos agregados reciclados, foram utilizados RCD provenientes da britagem de blocos de concreto, feitos a partir de entulhos de construção na Ilha Solteira, em São Paulo, com DMC de 4,75 e MF de 2,60.

Esse trabalho utilizou um traço escolhido pelos autores, apresentado na Tabela 4, com parcela de utilização do material reciclado variando, sendo acrescidos 20% deste, a partir de 0%, para um traço de controle, até 80% dos agregados em geral. A areia empregada nesse estudo foi utilizada em estado lavado, diferentemente dos outros

agregados, que estavam em estado seco. Foram ensaiados 15 CP, três por traço, com dimensões de 10 x 20 cm², sendo a terceira dimensão (altura) não especificada pelos autores.

TABELA 4

Traços utilizados

Autor	Sigla do traço	Traço							
		Cimento	Areia	Brita	PDP	AM	AG	a/c	Aditivo
Simieli et al. (2007)	B	1	2,36	1,81	-	-	-	0,49	0,80%
	B1	1	1,17	1,48	-	0,66	-	0,50	0,80%
	B2	1	0,86	1,08	-	1,29	-	0,54	0,80%
	B3	1	0,56	0,69	-	1,88	-	0,59	0,80%
	B4	1	0,27	0,33	-	2,43	-	0,60	0,80%

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Simieli et al. (2007).

Os autores não especificam quais foram os equipamentos utilizados para a confecção dos blocos do estudo, mas afirmam que todos os procedimentos foram realizados de acordo com a ABNT NBR 9781 (2013). O ensaio realizado foi o de resistência à compressão, com valores apresentados na Tabela 5.

TABELA 5

Resultados dos ensaios obrigatórios conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013)

Autor	Sigla do traço	Absorção de água	Variação (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)	Resistência à compressão média (MPa)			Variação (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)
		28 dias	≤ 6%	Sete dias	14 dias	28 dias	≥ 35 MPa		
Simieli et al. (2007)	B	-	-	-	36,98	-	39,93	-	Atende
	B1	-	-	-	40,69	-	45,12	13,00%	Atende
	B2	-	-	-	30,02	-	31,18	-21,91%	Não atende
	B3	-	-	-	24,24	-	33,84	-15,25%	Não atende
	B4	-	-	-	22,16	-	23,87	-40,22%	Não atende

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Simieli et al. (2007).

Simieli *et al.* (2007) aos 28 dias obtiveram valores elevados de resistência à compressão. Para uma porcentagem de 20% de substituição por agregado miúdo reciclado para o traço B1, obteve-se o valor de 45,12 MPa – valor 13% superior à resistência obtida no traço de controle B.

3.3.3 Amadei (2011)

Amadei (2011) utilizou o cimento CP-V-ARI sem a utilização de aditivos. Os agregados naturais escolhidos foram, para a parcela graúda, a brita zero granítica com DMC de 9,50 mm e MF de 5,89 e, para a parcela miúda, areia média quartzosa com DMC de 1,20 mm e MF de 2,73. Quanto aos agregados reciclados, a autora utilizou RCD como agregado miúdo, oriundos da cidade de Juranda, no Paraná, com DMC de 4,75 mm e MF de 3,82.

O traço escolhido pelo autor foi o apresentado na Tabela 6, com parcela de utilização do material reciclado variando, sendo acrescidos 5% desse, a partir de 25%, até atingir 50% de substituição da areia natural. Todos os agregados empregados nesse estudo foram utilizados em estado seco. Foram ensaiados 154 CP, 22 para cada traço, com dimensões não especificadas.

TABELA 6

Traços utilizados

Autor	Sigla do Traço	Traço							
		Cimento	Areia	Brita	PDP	AM	AG	a/c	Aditivo
Amadei (2011)	C	1	2,65	1,35	-	-	-	0,32	-
	C1	1	1,99	1,35	-	0,66	-	0,32	-
	C2	1	1,86	1,35	-	0,80	-	0,32	-
	C3	1	1,73	1,35	-	0,93	-	0,32	-
	C4	1	1,59	1,35	-	1,06	-	0,32	-
	C5	1	1,46	1,35	-	1,19	-	0,32	-
	C6	1	1,33	1,35	-	1,33	-	0,32	-

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Amadei (2011).

A fabricação dos blocos desse estudo foi realizada em uma fábrica especializada, na cidade de Maringá. Após a confecção, o concreto foi moldado em uma vibroprensa Beton MB 900 P e, posteriormente, ensaiado em uma máquina universal de ensaios da marca Equipamentos e Sistemas de Ensaios (Emic) para a obtenção dos valores de resistência à compressão. Também foram realizados o ensaio de resistência à abrasão pela Cientec e o ensaio de absorção de água por imersão pela própria autora. Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados nas Tabelas 7 e 8.

TABELA 7

Resultados dos ensaios obrigatórios conforme NBR 9781 (ABNT, 2013)

Autor	Sigla do traço	Absorção de água	Variação (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)	Resistência à compressão média (MPa)		Variação (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)	
		28 dias		≤ 6%	Sete dias	14 dias	28 dias	≥ 35 MPa	
Amadei (2011)	C	1,80%	-	Atende	31,41	-	38,12	-	Atende
	C1	2,54%	41,11%	Atende	25,05	-	35,16	-7,76%	Atende
	C2	1,80%	0,00%	Atende	22,26	-	31,61	-17,08%	Não atende
	C3	1,72%	-4,44%	Atende	22,18	-	25,35	-33,50%	Não atende
	C4	1,70%	-5,56%	Atende	21,86	-	22,97	-39,74%	Não atende
	C5	3,80%	111,11%	Atende	19,79	-	20,61	-45,93%	Não atende
	C6	3,76%	108,89%	Atende	18,28	-	20,08	-47,32%	Não atende

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Amadei (2011).

Aos 28 dias, foram obtidos em todos os estudos de substituição de agregado miúdo resultados de absorção de água e de resistência à abrasão que atendem à NBR 9781 (ABNT, 2013), porém apenas o traço C1 com 25% de agregado miúdo reciclado atingiu valor de resistência à compressão superior aos 35 MPa estabelecidos para os *pavers* – 35,16 MPa, valor 7,76% inferior ao do controle C. No entanto, o traço C2 com 30% de substituição também apresentou resistência à compressão superior a 30 MPa.

TABELA 8

Resultados de resistência à abrasão conforme NBR 9781 (ABNT, 2013)

Autor	Sigla do traço	Resistência à abrasão	NBR 9781 (ABNT, 2013)
		Índice de desgaste (mm)	≤ 23 mm
Amadei (2011)	C	6,40	Atende
	C1	7,73	Atende
	C2	6,00	Atende
	C3	5,04	Atende
	C4	4,77	Atende
	C5	9,86	Atende
	C6	8,16	Atende

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Amadei (2011).

3.3.4 Bittencourt (2012)

Bittencourt (2012) ensaiou a substituição de agregados reciclados para três traços diferentes. Em todos os estudos, foi utilizado o cimento CP-V-ARI. Para os traços, utilizou-se o mesmo material reciclado, RCD cinzas, fornecidos por uma usina de reciclagem, em parcelas miúdas e graúdas, com DMC de 4,75 mm e 9,50 mm e MF de 2,56 e 5,81 respectivamente. O agregado natural, no entanto, variou de acordo com os traços, com apenas areia média e brita sendo utilizadas no primeiro, com DMC e MF não especificados pela autora e com pó de pedra com DMC de 6,30 mm e MF de 3,15, além dos dois agregados anteriormente citados, nos segundo e terceiro traços. Os materiais são provenientes da cidade de Leme, em São Paulo.

Os agregados foram utilizados em estado seco e 30 *pavers* foram moldados para cada estudo nos primeiro e segundo traços, e dez para o terceiro, todos com dimensões de 10 x 19 x 8 cm. Para os três traços padrões apresentados na Tabela 9, foram substituídos 20% e 40% da parte do agregado natural por material miúdo e graúdo de RCD separadamente, tendo nos dois últimos traços sido utilizado o aditivo Atrai 66 Block, visando a aumentar a resistência e a reduzir consumo de cimento.

TABELA 9

Traços utilizados

Autor	Sigla do traço	Traço							
		Cimento	Areia	Brita	PDP	AM	AG	a/c	Aditivo
Bittencourt (2012)	D	1	2,84	2,20	-	-	-	0,28	-
	D1	1	2,27	2,20	-	0,57	-	0,28	-
	D2	1	1,70	2,20	-	1,14	-	0,28	-
	D3	1	2,84	1,76	-	-	0,44	0,28	-
	D4	1	2,84	1,32	-	-	0,88	0,28	-
	E	1	2,29	1,08	0,77	-	-	0,33	1%
	E1	1	1,83	1,08	0,77	0,46	-	0,33	1%
	E2	1	1,37	1,08	0,77	0,92	-	0,33	1%
	E3	1	2,29	0,86	0,77	-	0,22	0,33	1%
	E4	1	2,29	0,65	0,77	-	0,43	0,33	1%
	F	1	0,77	1,11	2,33	-	-	0,33	1%
	F1	1	0,62	1,11	2,33	0,15	-	0,33	1%
	F2	1	0,46	1,11	2,33	0,31	-	0,33	1%
	F3	1	0,77	0,89	2,33	-	0,22	0,33	1%
	F4	1	0,77	0,67	2,33	-	0,44	0,33	1%

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Bittencourt (2012).

As peças foram moldadas em obra por meio de misturador e vibroprensa e ensaiadas para resistência à compressão no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Utilizaram-se prensa com capacidade máxima de 100 toneladas e dispositivo de ruptura de pavimento intertravado composto de dois discos de 90 mm de diâmetro centralizados. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10

Resultados dos ensaios obrigatórios conforme NBR 9781 (ABNT, 2013)

Autor	Sigla do traço	Absorção de água	Varição (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)	Resistência à compressão média (MPa)			Varição (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)
		28 dias	≤ 6%	Sete dias	14 dias	28 dias	≥ 35 MPa		
Bittencourt (2012)	D	-	-	-	12,62	-	-	-	-
	D1	-	-	-	11,66	-	-	-	-
	D2	-	-	-	8,40	-	-	-	-
	D3	-	-	-	8,74	-	-	-	-
	D4	-	-	-	7,58	-	-	-	-
	E	-	-	-	14,49	-	27,10	-	Não atende
	E1	-	-	-	22,82	-	26,98	-0,44%	Não atende
	E2	-	-	-	18,60	-	18,56	-31,51%	Não atende
	E3	-	-	-	11,41	-	14,27	-47,34%	Não atende
	E4	-	-	-	10,28	-	15,79	-41,73%	Não atende
	F	-	-	-	-	-	27,88	-	Não atende
	F1	-	-	-	-	-	31,88	14,35%	Não atende
	F2	-	-	-	-	-	27,27	-2,19%	Não atende
	F3	-	-	-	-	-	24,23	-13,09%	Não atende
	F4	-	-	-	-	-	14,88	-46,63%	Não atende

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Bittencourt (2012).

O primeiro traço apresentou valores baixos de resistência à compressão aos sete dias, sendo sequer ensaiado aos 28 dias. O segundo traço, embora tenham sido obtidos resultados de resistência à compressão superiores aos do primeiro, apresentou valores inferiores aos requeridos pela NBR 9071 (ABNT, 2013). O melhor resultado com agregado reciclado obtido foi para o E1, de 20% de substituição de agregado miúdo, com resistência de 26,98 MPa aos 28 dias, apenas 0,44% inferior ao de controle E.

O terceiro traço também obteve valores de resistência à compressão inferiores a 35 MPa, porém o traço F1, com 20% de substituição de agregado miúdo, apresentou 31,88 MPa aos 28 dias, superior em 14,35% ao controle F.

3.3.5 Köhler (2013)

Köhler (2013) utilizou CP-IV,² sem emprego de aditivos. Para os agregados naturais, a parcela de miúdos foi composta de areia natural, com DMC de 0,60 mm e MF de 1,44 e a parcela de graúdos foi composta de pedrisco, com DMC de 6,30 mm e MF de 5,69. Para os agregados reciclados, utilizaram-se RCD vermelhos (RCDv), que foram coletados de diferentes obras em Alegrete, no Rio Grande do Sul, com DMC de 1,18 mm e MF de 1,06.

O traço escolhido pelo autor foi apresentado na Tabela 11, com parcela de utilização do material reciclado variando, sendo acrescidos 25% deste, a partir de 0% para um traço de controle, até atingir substituição total do agregado miúdo, em estado lavado. Foram ensaiados 16 CP por traço com dimensões não informadas pelo autor.

TABELA 11

Traços utilizados

Autor	Sigla do traço	Traço							
		Cimento	Areia	Brita	PDP	AM	AG	a/c	Aditivo
Köhler (2013)	G	1	1,74	2,15	-	-	-	0,51	-
	G1	1	1,31	2,15	-	0,44	-	0,58	-
	G2	1	0,87	2,15	-	0,87	-	0,67	-
	G3	1	0,44	2,15	-	1,31	-	0,75	-
	G4	1	-	-	-	1,74	-	0,83	-

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Köhler (2013).

Para a produção do concreto, foi utilizada uma betoneira de eixo horizontal de 120 l e, após sua confecção, o concreto foi depositado em moldes plásticos e vibrado em mesa vibratória de modelo não especificado pelo autor por 15 segundos. O ensaio de resistência à compressão foi realizado por uma prensa hidráulica não especificada e

2 Designação do tipo de cimento e suas características.

o ensaio de absorção de água foi realizado pelo próprio autor, com resultados apresentados na Tabela 12.

TABELA 12

Resultados dos ensaios obrigatórios conforme NBR 9781 (ABNT, 2013)

Autor	Sigla do traço	Absorção de água	Variação (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)	Resistência à compressão média (MPa)			Variação (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)
		28 dias		≤ 6%	Sete dias	14 dias	28 dias	≥ 35 MPa	
Köhler (2013)	G	5,67%	-	Atende	-	20,99	22,16	-	Não atende
	G1	5,23%	-7,76%	Atende	-	19,53	20,28	-8,48%	Não atende
	G2	7,19%	26,81%	Não atende	-	17,09	16,25	-26,67%	Não atende
	G3	8,51%	50,09%	Não atende	-	14,64	15,65	-29,38%	Não atende
	G4	12,88%	127,16%	Não atende	-	10,95	13,97	-36,96%	Não atende

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Köhler (2013).

Após 28 dias, quanto à resistência à compressão, Köhler (2013) obteve em seu traço de controle apenas 22,16 MPa, o que indica que ou o traço escolhido não é adequado ou o processo produtivo seguido rigorosamente. No entanto, substituindo 25% do agregado por RCDv G1, obteve-se valor de resistência à compressão inferior em apenas 8,48% em relação ao controle G. Em relação à absorção de água, apenas os traços de controle G e com 25% de substituição de RCDv G1 obtiveram resultados inferiores aos 6% estabelecidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

3.3.6 Sipres (2019)

Sipres (2019) utilizou o cimento CP-V-ARI, com o aditivo Glenium 51, que visa a melhorar a trabalhabilidade e a reduzir o fator a/c do concreto. Os agregados naturais escolhidos foram a areia natural de quartzo e o pó de pedra natural. Os agregados reciclados utilizados foram os RCD cinzas (RCDc), oriundos dos resíduos de concretos e argamassas da demolição parcial do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, e os RCDv, oriundos da britagem

de tijolos cerâmicos maciços, com DMC de 2,36 mm em ambos e MF de 3,53 e 4,20, respectivamente

Foram utilizados três traços escolhidos por Sipres (2019), apresentados na Tabela 13, com a substituição completa da fração de agregado miúdo reciclado em todos. Nos traços H1, I1 e J1, houve substituição do agregado natural pelo reciclado de RCD cinzas, enquanto nos traços H2, I2 e J2, por agregado reciclado de RCD vermelhos. Todos os agregados empregados neste estudo foram utilizados em estado seco. Foram ensaiados 54 CP, seis por traço, de dimensões 10 x 20 x 6 cm.

TABELA 13

Traços utilizados

Autor	Sigla do traço	Traço							
		Cimento	Areia	Brita	PDP	AM	AG	a/c	Aditivo
Sipres (2019)	H	1	4,60	-	2,48	-	-	0,49	0,05%
	H1	1	4,93	-	-	1,64	-	0,49	0,05%
	H2	1	4,19	-	-	2,26	-	0,49	0,05%
	I	1	4,94	-	2,66	-	-	0,24	0,05%
	I1	1	5,29	-	-	1,76	-	0,24	0,05%
	I2	1	4,51	-	-	2,16	-	0,24	0,05%
	J	1	3,34	-	1,80	-	-	0,21	0,05%
	J1	1	3,58	-	-	1,19	-	0,21	0,05%
	J2	1	3,05	-	-	1,37	-	0,21	0,05%

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Sipres (2019).

O concreto foi produzido em um misturador planetário com velocidade de rotação de 167 rpm, de marca não especificada, e então levado à vibroprensa da Saara Brasil para a moldagem dos *pavers*. O ensaio de resistência à compressão foi realizado por prensa servo-controladora Shimadzu, de modelo UH-F1000kN. O ensaio de absorção foi realizado pela própria autora. Os resultados são apresentados na Tabela 14.

TABELA 14

Resultados dos ensaios obrigatórios conforme NBR 9781 (ABNT, 2013)

Autor	Sigla do traço	Absorção de água	Variação (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)	Resistência à compressão média (MPa)		Variação (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)	
		28 dias		≤ 6%	Sete dias	14 dias	28 dias	≥ 35 MPa	
Sipres (2019)	H	6,81%	-	Não atende	-	-	16,83	-	Não atende
	H1	6,84%	0,44%	Não atende	-	-	17,46	3,74%	Não atende
	H2	7,96%	16,89%	Não atende	-	-	21,33	26,74%	Não atende
	I	7,28%	-	Não atende	-	-	19,49	-	Não atende
	I1	8,09%	11,13%	Não atende	-	-	25,89	32,84%	Não atende
	I2	9,67%	32,83%	Não atende	-	-	24,96	28,07%	Não atende
	J	9,00%	-	Não atende	-	-	19,63	-	Não atende
	J1	10,50%	16,67%	Não atende	-	-	33,87	72,54%	Não atende
	J2	6,00%	-33,33%	Atende	-	-	35,00	78,30%	Atende

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Sipres (2019).

Aos 28 dias, os traços nos quais houve substituição total de agregados reciclados apresentaram valores de resistência à compressão superiores aos de seus respectivos traços de controle. No primeiro traço, o agregado que teve melhor desempenho à compressão foi o H2, com substituição de RCDv, com valor médio 26,74% superior ao do controle H. Esse fato repetiu-se quando analisado o traço J: por meio da substituição do agregado no J2, obteve-se resistência suficiente para atender à NBR 9781 (ABNT, 2013), valor 78,30% superior ao do mesmo traço quando utilizados agregados naturais. Vale ressaltar que para esse mesmo traço J, o material reciclado de RCDc J1 apresentou resultados 72,54% superiores aos do controle. O único traço no qual o RCDc apresentou resistência maior que o RCDv foi o I, porém não com valores suficientes para que a NBR 9071 (ABNT, 2013) fosse atendida.

Quanto aos resultados de absorção de água, quase todos os traços nos quais houve substituição de agregado reciclado apresentaram absorção superiores, tanto em relação aos 6% estabelecidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013) quanto quando comparados aos seus respectivos traços. A única exceção foi o traço J2, que obteve valores 33,33% inferiores quando comparados aos do traço J de controle e valor de absorção igual a 6%, suficientes para atender à NBR 9781 (ABNT, 2013).

3.3.7 Pederneiras et al. (2020)

Pederneiras et al. (2020) utilizou cimento CP-II-Z-RS,³ com o aditivo Sika Paver HC-10, que tem a finalidade de melhorar o adensamento e a incorporação de ar no concreto. A porcentagem de aditivo utilizada nos traços não foi informada. Para agregados naturais, foram utilizadas, na parcela de miúdos, areia natural, com DMC de 1,18 e MF de 1,84, e na de grãos, brita natural de DMC 12,5 mm e MF não informado pelo autor. Para os agregados reciclados, a opção foi por agregados oriundos de RCD britados em parcelas miúdas e graúdas, com DMC de 2,36 e 12,50 mm e MF de 2,27 e 6,98, respectivamente.

O traço escolhido foi o apresentado na Tabela 15, com a substituição completa dos agregados reciclados quando empregados. Nota-se que nos traços houve substituição de agregados miúdos ou grãos separadamente ou dos dois de forma conjunta. Este estudo analisou mais a fundo a diferença entre os estados secos e lavados dos materiais, variando tal propriedade para cada traço realizado. Os traços K1, K2 e K3 substituíram o agregado grão convencional por agregado grão reciclado, estando os materiais em condição seca, lavada e saturada, respectivamente. Para os traços K4 e K5, foi substituído o agregado miúdo convencional por agregado miúdo reciclado, estando os materiais em estado seco e lavado, respectivamente. E, por fim, nos traços K6 e K7, os agregados foram substituídos por agregados reciclados de RCD, em estado seco e lavado, respectivamente. Foram ensaiados 24 CP de dimensões 10 x 20 x 6 cm para cada traço.

TABELA 15

Traços utilizados

Autor	Sigla do traço	Traço							
		Cimento	Areia	Brita	PDP	AM	AG	a/c	Aditivo
Pederneiras et al. (2020)	K	1	8,60	2,67	-	-	-	0,38	N/D ⁴
	K1	1	8,60	-	-	-	2,23	0,38	N/D
	K2	1	8,60	-	-	-	2,23	0,38	N/D
	K3	1	8,60	-	-	-	2,23	0,38	N/D
	K4	1	-	2,67	-	8,31	-	0,38	N/D
	K5	1	-	2,67	-	8,31	-	0,38	N/D
	K6	1	-	-	-	8,31	2,23	0,38	N/D
	K7	1	-	-	-	8,31	2,23	0,38	N/D

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Pederneiras et al. (2020).

3 Tipo de cimento Portland (CP II); composto com pozolana (Z); resistente a sulfatos (RS).

4 Informação não disponível.

Os autores denotaram que a produção dos blocos foi realizada em escala real dentro de uma planta de pré-fabricados, mas não indicam o processo utilizado ou o modelo dos equipamentos empregados, tampouco o modelo ou o equipamento utilizados para a obtenção dos resultados de resistência à compressão. Também foi ensaiada a absorção de água. Os valores são apresentados na Tabela 16.

TABELA 16

Resultados dos ensaios obrigatórios conforme NBR 9781 (ABNT, 2013)

Autor	Sigla do traço	Absorção de água	Variação (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)	Resistência à compressão média (MPa)			Variação (%)	NBR 9781 (ABNT, 2013)
		28 dias		≤ 6%	Sete dias	14 dias	28 dias		≥ 35 MPa
Pederneiras et al. (2020)	K	4,00%	-	Atende	10,97	11,60	13,12	-	Não atende
	K1	7,00%	75,00%	Não atende	7,41	9,26	9,72	-25,91%	Não atende
	K2	6,00%	50,00%	Atende	9,11	10,66	12,22	-6,86%	Não atende
	K3	8,00%	100,00%	Não atende	8,20	10,60	13,56	3,35%	Não atende
	K4	3,00%	-25,00%	Atende	11,57	12,96	15,20	15,85%	Não atende
	K5	4,00%	0,00%	Atende	15,71	17,35	22,16	68,90%	Não atende
	K6	6,00%	50,00%	Atende	9,85	10,29	11,13	-15,17%	Não atende
K7	5,00%	25,00%	Atende	14,30	15,20	17,30	31,86%	Não atende	

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Pederneiras et al. (2020).

O traço que apresentou melhor resultado aos 28 dias, com o melhor índice de resistência à compressão em comparação aos outros e um valor aceitável de 4,00% de absorção de água, foi o K5, composto de agregado miúdo reciclado de RCD e em estado lavado, sendo que o resultado de resistência à compressão foi 68,90% superior ao do traço de controle.

Os valores de resistência à compressão média obtidos pelos autores foram abaixo do estabelecido pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013), inclusive o de controle, o que pode indicar alguma deficiência no processo de confecção dos blocos, ou dos mate-

riais escolhidos, mas não reflete nas mudanças causadas pela substituição dos agregados naturais pelos reciclados, que se provou em mais de um traço ser viável.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da revisão da literatura, foram estabelecidos parâmetros de comparação objetivando encontrar o traço, a granulometria e as condições ideais do agregado reciclado de RCD para a confecção dos blocos intertravados de concreto.

No que tange aos agregados miúdos e graúdos, foram encontradas diversas opções entre reciclados e naturais, como também métodos de trabalho diferentes. Quanto à granulometria dos agregados nos artigos estudados, Amadei (2011) e Simieli *et al.* (2007) obtiveram os melhores resultados de resistência à compressão e, ainda, Amadei (2011) teve o melhor resultado de absorção de água. Um fator que esses autores têm em comum foi a utilização da mesma DMC do agregado reciclado, de 4,75 mm, enquanto o MF dos autores é de 3,82 e 2,60, respectivamente.

Quando se analisam os agregados reciclados de RCD, diversas opções de emprego se mostram possíveis. Pederneiras *et al.* (2020) concluem que a utilização de agregado miúdo reciclado implicou um melhor desempenho dos blocos em relação aos blocos confeccionados com agregados graúdos reciclados. Amadei (2011), ao substituir o agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado de RCD de maneira parcial, obteve resultados de elevadas resistências à compressão aos 28 dias, inclusive atingindo a resistência à compressão de 35 MPa, estipulada no Brasil, o que corrobora tal conclusão. O Gráfico 1 compara os dados obtidos de resistência à compressão média aos 28 dias para CP produzidos com agregados graúdos e miúdos ensaiados por Bittencourt (2012) e Pederneiras *et al.* (2020), tendo em vista que esses pesquisadores substituíram parte do seu traço de controle por tais agregados reciclados.

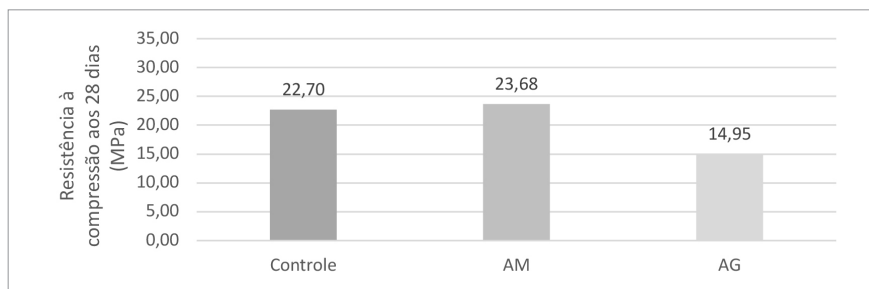


Gráfico 1 Resistência à compressão média aos 28 dias para substituição de areia ou brita recicladas

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Bittencourt (2012) e Pederneiras et al. (2020).

A porcentagem de substituição do agregado reciclado mostrou ser um fator que impacta os resultados obtidos nos ensaios. Essa informação permite a análise da influência que o agregado exerce sobre a composição do bloco de concreto. Teores de substituição dos agregados miúdos naturais pelos reciclados miúdos entre 20% e 25% do agregado apresentaram maiores níveis de resistência à compressão. Já a substituição entre 30% e 35% foi pouco utilizada entre os autores. Contudo, nos estudos analisados entre essa faixa de substituição, os resultados obtidos de resistência à compressão foram similares à faixa previamente citada. Desse modo, os valores da faixa entre 30% e 35% foram somados aos valores entre 20% e 25% e, posteriormente, comparados aos traços com substituição intermediária, entre 40% e 80%, como mostrado no Gráfico 2. Também foram incluídos os traços de controle dos autores que moldaram blocos de concreto dentro do intervalo mencionado.

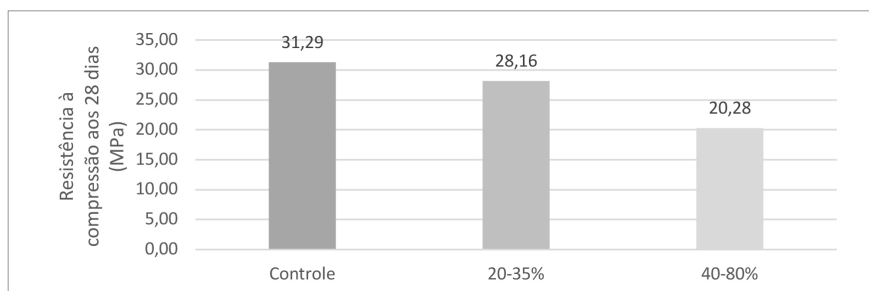


Gráfico 2 Resistência à compressão média aos 28 dias para a porcentagem de substituição de areia reciclada

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Hood (2006), Simieli et al. (2007), Amadei (2011), Bittencourt (2012) e Köhler (2013).

Os traços com 100% de substituição de agregados naturais por reciclados de RCD apresentaram resistências inferiores aos apresentados no Gráfico 2, sendo aproximadamente 46% inferiores ao valor de 35 MPa, estipulado pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

Os resultados de absorção de água também demonstram enorme variação de resultados. Quanto aos sete traços de controle, três obtiveram resultados inferiores ou iguais aos 6% admitidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013), enquanto, para os traços com agregados reciclados, 13 dos 27 atenderam à norma. Bittencourt (2012) e Simieli *et al.* (2007) não realizaram tal ensaio, embora seja obrigatório segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013).

Embora tenham apresentado valores inferiores aos 23 mm estipulados pela referida norma, não é possível concluir sobre a influência da substituição de agregados de RCD quanto aos resultados obtidos nos ensaios de resistência à abrasão, tendo em vista que apenas Hood (2006) e Amadei (2011) os realizaram, uma vez que tal ensaio é facultativo.

O outro ponto que ressaltamos é o valor elevado da resistência à compressão exigido pela NBR 9781 da ABNT (2013), que se mostra muito mais abrangente em outros países. De acordo com Fioriti, Ino e Akasaki (2007), países como a África do Sul e a Austrália estabelecem a resistência mínima de 25 MPa, dependendo da finalidade de sua utilização.

A capacidade de carga que um bloco de concreto deve suportar para conseguir a resistência mínima de 25 MPa é muito elevada. Fioriti, Ino e Akasaki (2007) afirmam que, para se atingir uma resistência à compressão de 25 MPa, o bloco deve suportar aproximadamente 157500 N, contra aproximadamente 94500 N para conseguir se estabelecer uma resistência à compressão de 15 MPa, valor que foi adotado como exemplo pois, segundo os autores é suficiente para suportar a sobrecarga que será exercida sobre calçadas, praças e locais de trânsito leve. Portanto, os autores concluem que os valores exigidos pela norma brasileira são muito elevados e que poderiam ser revistos considerando-se a categoria de uso. Caso a resistência à compressão ideal fosse estipulada em 15 MPa para fins de calçadas, praças e locais de trânsito leve, 31 dos 43 traços com substituição de agregados naturais por reciclados de RCD estudados seriam aprovados, quantidade superior se comparada aos três traços inicialmente aprovados para resistência à compressão de 35 MPa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Agregados reciclados de RCD têm grande potencial para a utilização na produção ou fabricação de *pavers*, não só por fins ecológicos, mas também econômicos e, em alguns casos, de ganho de propriedades mecânicas.

Para a confecção de *pavers*, o cimento mais utilizado foi o CP-V-ARI, devido à sua rapidez para a reutilização de formas e as DMC dos agregados reciclados, que estavam em torno de 4,75 mm, apresentaram melhores resistências à compressão. Os agregados miúdos reciclados com RCD apresentaram resultados superiores em relação aos graúdos em diversas propriedades. Foi possível concluir que a parcela ideal de substituição de agregado reciclado oriundo de RCD pelo agregado natural gira em torno de 20% a 25%, pois as outras parcelas apresentaram resultados inferiores de resistência à compressão.

Raramente os 35 MPa estipulados pela NBR 9781 da ABNT (2013) foram alcançados nos trabalhos estudados. A produção dos blocos de concreto para pavimentos intertravados é uma tarefa de alto grau de complexidade, em que variações como o uso de vibroprensa, o uso de agregados devidamente lavados e separados com a granulometria correta e a experiência do operador que realizou tais ensaios influenciam diretamente no resultado. No entanto, para fins de utilização em vias de menor movimento, calçadas e parques, a substituição de parte do agregado natural por agregados reciclados de RCD se mostrou uma alternativa viável.

Para pesquisas futuras, sugere-se uma investigação mais detalhada da influência de equipamentos e de seu manuseio na confecção dos blocos, que vise a medir a necessidade de suporte de carga para o emprego dos *pavers* em ambientes diversos, como passeios, vias de tráfego leve e vias de tráfego pesado, com o objetivo de apontar a necessidade ou não da revisão da norma vigente no país além de um estudo mais detalhado sobre a influência dos RCD nos ensaios de resistência à abrasão.

USE OF RECYCLED AGGREGATE OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE IN PAVERS PRODUCTION: A LITERATURE REVIEW

Abstract

This research had the purpose of analyzing several studies related to the making of precast concrete blocks with the use of recycled aggregate, more specifically cons-

truction and demolition waste (CDW). The priority was the comparison between the different methods used so that, in a reasoned manner, current parameters for making pavers with recycled aggregates were found, facilitating the development of future studies. Although the research does not encompass all the existing literature on this subject, the articles studied serve as an information base for such purpose. The data collected showed results that, in general, do not meet the values stipulated by the Brazilian Standard (Norma Brasileira [NBR]) 9781 of the Brazilian Association of Technical Standards (Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT], 2013) when it comes to compressive strength, but allow us to analyze the influence of recycled aggregates on the properties of the blocks. It was possible to conclude that the recycled aggregate obtained from the concrete crushing has a great potential for use in the construction of pavers, presenting ecological and economic benefits, mainly for use in roads with less traffic, such as sidewalks and parks, and, in some cases, to gaining mechanical properties.

Keywords: Paver. Construction and demolition waste. Recycling.

REFERÊNCIAS

- AMADEI, D. I. B. *Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do Município de Juranduba/PR*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) –, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011. Disponível em: <http://www.peu.uem.br/Daysa2.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). *Construção de pavimentos de blocos de concreto*. São Paulo: ABCP, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR NM 248: agregados: determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7211: agregados para concreto – especificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 9781: peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15953: Pavimento intertravado com peças de concreto: Execução*. Rio de Janeiro, 2011.
- BITTENCOURT, S. F. *Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307 de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil. *Diário Oficial da União*, Brasília, n. 136, p. 95-96, de 17 jul. 2002.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). *Anuário CNT do Transporte*. 2017. Disponível em: <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2017>. Acesso em: 13 nov. 2020.

FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 43-54, out. 2007. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3753/2106>. Acesso em: 4 maio 2021.

FREITAS, L. Reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil no Brasil. *Dom Total*, 5 jun. 2018. Disponível em: <https://domtotal.com/noticia/1262733/2018/06/reaproveitamento-de-residuos-solidos-da-construcao-civil-no-brasil/>. Acesso em: 14 nov. 2020.

HOOD, R. S. *Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação*. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/12112/000623333.pdf;sequence=1>. Acesso em: 15 mar. 2021.

KÖHLER, L. G. *Desempenho técnico de blocos de concreto para pavimento intertravado com resíduo de construção e demolição*. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riui/1637/1/Desempenho%20t%C3%A9cnico%20de%20blocos%20de%20concreto%20para%20pavimento%20intertravado%20com%20res%C3%AAduo%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o%20e%20demoli%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2021.

MANDINGA, L. Brasileiro produz por ano meia tonelada de resíduos de construção civil. *Abrecon*, 3 nov. 2011. Disponível em: <https://abrecon.org.br/brasileiro-produz-por-ano-meia-tonelada-de-residuos-de-construcao-civil/>. Acesso em: 22 nov. 2020.

PEDERNEIRAS, C. M. *et al.* Incorporation of recycled aggregates from construction and demolition waste in paver blocks. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, v. 13, n. 4, p. 61-73, jan. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/riem/v13n4/1983-4195-riem-13-4-e13405.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.

SALLES, L. S. *Análise do comportamento de pavimento experimental de concreto continuamente armado de curta extensão*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SIMIÉLI, D. *et al.* Utilização de agregados reciclados em pavimentos intertravados. *Exacta*, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 231-241, jul./dez. 2007. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/1171>. Acesso em: 15 mar. 2021.

SIPRES, C. *Análise técnica do uso de resíduos de construção e demolição (RCD) na produção de concreto seco para piso intertravado*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10027360.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

TORRES, L. Resíduos da construção e demolição: geração de emprego e renda. *Abrecon*, 11 out. 2016. Disponível em: <https://abrecon.org.br/residuos-da-construcao-e-demolicao-geracao-de-emprego-e-renda/>. Acesso em: 10 nov. 2020.

Contato

Eric Ribeiro da Silva
eric.silva@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em julho de 2021.
Aprovado em setembro de 2021.