

ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONCRETO PARA PRODUÇÃO DE PAVERS¹

Enrique Apicella Mazzon Garcia – enriqueapicella@hotmail.com

Gabriel Galdino Laurino – gabrieellaurino@gmail.com

Luiz Felipe Portugal Dib – luizfelipedib@gmail.com

Eric Ribeiro da Silva (Orientador) – eric.silva@mackenzie.br

RESUMO

Esta pesquisa teve o propósito de fazer uma análise minuciosa sobre diversos estudos relacionados a confecção de blocos de concreto pré-moldados com a utilização de agregado reciclado, mais especificamente de resíduo de construção e demolição (RCD). A prioridade foi a comparação entre os diferentes métodos utilizados para que, de maneira fundamentada, fosse encontrado parâmetros atuais para a confecção de pavers com agregados reciclados e facilitar o desenvolvimento de estudos futuros. Apesar da pesquisa não englobar toda a literatura presente até o momento, os artigos estudados servem como uma boa base de informações para tais pesquisas. Os dados levantados mostraram resultados que, de maneira geral, não atendem os valores de resistência à compressão estipulados pela norma ABNT NBR 9781 (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 possui um grande potencial para a utilização na construção de pavers, não só ecológico, mas econômico, como no uso em vias de menor tráfego, como calçadas e parques, e, em alguns casos, de ganho de propriedades mecânicas.

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

STUDY OF THE REUSE OF CONCRETE WASTE FOR THE PRODUCTION OF PAVERS

ABSTRACT

This research had the purpose of making a thorough analysis on several studies related to the making of precast concrete blocks with the use of recycled aggregate, more specifically of construction and demolition waste (CDW). The priority was the comparison between the different methods used so that, in a reasoned manner, current parameters were found for making pavers with recycled aggregates and facilitating the development of future studies. Although the research does not encompass all the literature present so far, the articles studied serve as a good information base for such research. The

¹ Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Civil, EE, UPM, São Paulo, 2021.

data collected showed results that, in general, do not meet the values stipulated by the ABNT NBR 9781 (2013) standard 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, not only ecological, but economical, as well as for use in roads with less traffic, such as sidewalks and parks, and, in some cases, gaining mechanical properties.

Key words: Paver. Construction and demolition waste. Recycling.

1 INTRODUÇÃO

O reaproveitamento de materiais é um assunto de enorme relevância nas mais diversas áreas, especialmente na área da construção civil. Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2011; 2016), 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 possuem um potencial de reciclagem de aproximadamente 70%.

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

Segundo a RESOLUÇÃO nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), a Classe A é destinada a resíduos com potencial de reutilização ou reciclagem na forma de agregado, dentre eles estão os RCD.

Os *pavers*, empregados em pavimentos intertravados, são uma boa 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 5 a 10 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 por dia. Com isso diversos estudos estão sendo realizados a cada ano buscando expandir suas possibilidades de reaplicação na construção civil e entender o desempenho destes materiais reciclados. Porém, é possível empregar agregado reciclado de concreto na produção de blocos pré-

moldados de concreto, que atenda de forma satisfatória as 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 deste 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.

Esse trabalho tem como objetivo investigar, por meio da revisão da literatura, os principais fatores que influenciam no uso de agregado reciclado na produção de *pavers*.

2 METODOLOGIA

Foram pesquisados, entre os meses de março e maio de 2021, diversos artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso para graduação, dissertações de mestrado, teses de doutorado ou monografias como um todo, que envolvessem estudos experimentais com substituição do agregado de *pavers*, parcial ou total, por agregado reciclado de concreto.

Dentre tal pesquisa de artigos, foram selecionados para fazer parte dessa revisão aqueles que se enquadram de forma total em alguns requisitos estabelecidos pelos autores deste trabalho, como: apresentar o traço utilizado para moldagem dos *pavers*; apresentar o percentual de substituição de agregado natural por agregado reciclado; ensaiar corpos de prova de controle, para possibilitar a comparação de resultados obtidos entre *pavers* com e sem agregados reciclados; realizar no mínimo um ensaio presente na ABNT NBR 9781 (2013); trabalhos, preferencialmente, publicado nos últimos 15 anos em relação ao ano de 2021.

Utilizando tais parâmetros, foram filtrados artigos previamente estudados, sendo então selecionados sete artigos, escolhidos para integrarem esse trabalho de revisão.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 PAVIMENTOS DE BLOCOS DE CONCRETO (PBC)

Pavimentos de blocos de concreto (PBC) são estruturas de pavimento revestidas com blocos pré-moldados de concreto de cimento *Portland*. Tem como descrito pela Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP, 1999) a camada de rolamento composta por blocos de concreto maciço posicionados de forma adjunta uns aos outros, sendo assentados sobre uma camada de areia, além de ter suas juntas seladas pelo mesmo material, sendo considerado pela ABNT NBR 15953 (2011) como pavimento flexível.

Para fabricação das peças, é especificado que o concreto deve ser constituído de cimento *Portland* de qualquer um dos tipos descritos na ABNT NBR 9781 (2013). A peça deve ter dimensões limites de comprimento nominal máximo de 250 mm, largura mínima de 97 mm na área que será

aplicada a carga no ensaio de resistência à compressão e espessura nominal mínima de 60 mm, em múltiplos de 20 mm. A tolerância dimensional da peça para o comprimento, largura e espessura é de 3 mm para mais ou menos.

As peças devem necessariamente ter um espaçador incorporado, com espessura que atenda a ABNT NBR 15953 (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 possuir um intervalo de 3 mm a 6 mm em suas projeções horizontais e verticais referentes ao bloco. As arestas devem ser retangulares em todas 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 que comprovem a sua eficiência. Esses estudos são feitos através de ensaios laboratoriais, muitas vezes embasados por normas, que possibilitam avaliar as características do material ou produto ensaiado.

3.2.1 Granulometria

Para a determinação do tipo de brita que resultará da britagem do concreto recebido, são utilizadas as séries de peneiras sucessivas, com aberturas de malhas normalizadas pela ABNT NBR NM 248 (2003), e com o resultado, realizada a classificação com as dimensões nominais do agregado em número e tipo, de acordo com a ABNT NBR 7225 (1993).

3.2.2 Ensaio de resistência característica à compressão

Para a análise da resistência à compressão dos *pavers* obtidos, é realizado o ensaio normalizado pela ABNT NBR 9781 (2013). As peças devem atender valores de resistência à compressão que atendam a norma, sendo que para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha 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 superior ou igual 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, de acordo com o anexo B da ABNT NBR 9781 (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 normalizado pela ABNT NBR 9781 (2013) e, para que a peça atenda a norma, para o tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, 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 comparados visando encontrar um intervalo ideal para a confecção de *pavers*. É importante ressaltar que os procedimentos de confecção e ensaio dos *pavers* possuem certa complexidade e, muitas vezes, resultados abaixo do padrão estabelecido por norma acontecem pela má execução ou pelo uso de equipamentos não ideais para tais atividades.

Para fins de comparação, foi definido neste trabalho uma sigla para cada traço. O traço de controle possui uma letra maiúscula isolada, enquanto nos 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: Autoria própria.

3.3.1 Hood (2006)

Hood (2006) optou pela utilização do cimento *Portland CPV-ARI-RS*, sem utilização de aditivos. Quanto aos agregados naturais, foram utilizados 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 utilizado brita zero granítica (também conhecida como pedrisco) com DMC de 19,0 mm e MF de 5,94. Para os materiais reciclados, o autor utilizou um RCD que foi coletado de um aterro de inertes localizado no bairro da Serraria em Porto Alegre - Rio Grande do Sul, composto de diversos materiais, sendo eles argamassa, concreto, material cerâmico e rocha natural. Este material foi segregado e britado para que se obtivesse 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 acrescido em 25%, a partir de 0% para um traço de controle, até atingir substituição total da areia, de modo a observar a influência deste RCD nas características dos blocos. Todos os agregados empregados neste estudo foram utilizados em estado seco. Foram ensaiados 182 corpos de prova (CPs), sendo 28 para cada traço com dimensões não informadas.

Tabela 1: Traços utilizados.

Autor	Sigla do Traço	Traço							
		Cimento	Areia	Brita	PDP ²	AM ³	AG ⁴	a/c ⁵	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: Elaborado a partir dos dados de Hood (2006).

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

Tabela 2: Resultados dos ensaios obrigatórios da ABNT NBR 9781 (2013).

Autor	Sigla do Traço	Absorção de água 28 dias	Variação % ⁶	ABNT NBR 9781 (2013)	Resistência à compressão média (MPa)			Variação %	ABNT NBR 9781 (2013)
				≤ 6%	7 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: Elaborado a partir dos dados de Hood (2006).

² Pó-de-pedra

³ Agregado miúdo reciclado

⁴ Agregado graúdo reciclado

⁵ Relação água / cimento

⁶ Variação percentual em relação ao traço de controle

Tabela 3: Resultados de resistência à abrasão da ABNT NBR 9781 (2013).

Autor	Sigla do Traço	Resistência à abrasão ABNT NBR 9781 (2013)	
		Índice de desgaste (mm)	≤ 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: Elaborado a partir dos dados de 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 inferiores aos 6% e 35 MPa, respectivamente, estabelecidos na ABNT NBR 9781 (2013), o que indica que a não obtenção de resultados satisfatórios não se deve necessariamente pela utilização de agregado miúdo proveniente de RCD, mas sim por 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% de areia, atingindo aos 28 dias uma resistência 18,01% inferior e absorção de água 9,81% superior comparado aos valores obtidos no controle “A”, no entanto, a resistência à abrasão atingiu resultados que atendem a ABNT NBR 9781 (2013) para todas as porcentagens de substituição.

3.3.2 Simieli *et al.* (2007)

Simieli *et al.* (2007), utilizou cimento CP-V-ARI, com uso de aditivo fluidificante à base de policarboxilato, que tem como finalidade melhorar a trabalhabilidade e reduzir o fator 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, foi utilizado RCD com origem da britagem de blocos de concreto provenientes dos entulhos de construção em Ilha Solteira - São Paulo, com DMC de 4,75 e MF de 2,60.

Este trabalho utilizou um traço escolhido pelo autor, apresentado na Tabela 4, com parcela de utilização do material reciclado variando, sendo acrescida em 20%, a partir de 0% para um traço de controle, até 80% dos agregados em geral. A areia empregada neste estudo foi utilizada em estado lavado, diferentemente dos outros agregados que estavam em estado seco. Foram ensaiados 15 corpos de prova, 3 por traço, com dimensões de 10 x 20 cm² sendo a terceira dimensão (altura) não especificada pelo autor.

Tabela 4: Traços utilizados.

Autor	Sigla do Traço	Traço							
		Cimento	Areia	Brita	PDP	AM	AG	a/c	Aditivo
Simieli <i>et al.</i> (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: Elaborado a partir dos dados de Simieli *et al.* (2007).

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

Tabela 5: Resultados dos ensaios obrigatórios da ABNT NBR 9781 (2013).

Autor	Sigla do Traço	Absorção	Variação	ABNT	Resistência à compressão		Variação	ABNT
		de água	%	NBR 9781 (2013)	média (MPa)		%	NBR 9781 (2013)
		28 dias		≤ 6%	7 dias	14 dias	28 dias	≥ 35 MPa
	B	-	-	-	36,98	-	39,93	ATENDE
	B1	-	-	-	40,69	-	45,12	13,00% ATENDE
Simieli <i>et al.</i> (2007)	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: Elaborado a partir dos dados de Simieli *et al.* (2007).

Simieli *et al.* (2007) aos 28 dias obteve resultados de resistência à compressão altos, com 45,12 MPa para uma porcentagem de 20% de substituição por agregado miúdo reciclado para o traço “B1”, valor esse 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, oriundo da cidade de Juranda - 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 acrescido em 5%, a partir de 25% até atingir 50% de substituição

da areia natural. Todos os agregados empregados neste estudo foram utilizados em estado seco. Foram ensaiados 154 corpos de prova, 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: Elaborado a partir dos dados de Amadei (2011).

A fabricação dos blocos deste estudo foi realizada em uma fábrica especializada na cidade de Maringá. Após a confecção, o concreto foi moldado em uma vibro-prensa Beton MB 900 P, e posteriormente ensaiado em uma Máquina Universal de Ensaio da marca EMIC para a obtenção dos valores de resistência à compressão. Também foi realizado o ensaio de resistência à abrasão, realizado pela CIENTEC, e o ensaio de absorção de água por imersão, realizado pela própria autora. Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7: Resultados dos ensaios obrigatórios da ABNT NBR 9781 (2013).

Autor	Sigla do Traço	Absorção de água	Variação %	ABNT	Resistência à			ABNT	
				NBR 9781 (2013)	compressão média			NBR 9781 (2013)	
		28 dias		≤ 6%	7 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: Elaborado a partir dos dados de Amadei (2011).

Tabela 8: Resultados de resistência à abrasão da ABNT NBR 9781 (2013).

Autor	Sigla do Traço	Resistência à abrasão ABNT NBR 9781 (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: Elaborado a partir dos dados de Amadei (2011).

Aos 28 dias foram obtidos em todos os estudos de substituição de agregado miúdo resultados de absorção de água e resistência à abrasão que atendessem a ABNT NBR 9781 (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*, atingindo 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 à 30 MPa.

3.3.4 Bittencourt (2012)

Bittencourt (2012) ensaiou a substituição de agregados reciclados para 3 traços diferentes. Em todos os estudos foi utilizado o cimento CP-V-ARI. Para os traços foi utilizado o mesmo material reciclado, RCD cinza fornecido 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 utilizados 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 - São Paulo.

Os agregados foram utilizados em estado seco e 30 *pavers* foram moldados para cada estudo nos primeiro e segundo traços, e 10 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 uso do aditivo ATRAI 66 Block visando aumentar a resistência e 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: Elaborado a partir dos dados de Bittencourt (2012).

As peças foram moldadas em obra utilizando um misturador e vibro-prensa e ensaiadas para resistência à compressão no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP. Foi utilizada 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 da ABNT NBR 9781 (2013).

Autor	Sigla do Traço	Absorção	Variação	ABNT	Resistência à		Variação	ABNT
		de água	%	NBR 9781 (2013)	compressão média (MPa)		%	NBR 9781 (2013)
		28 dias		≤ 6%	7 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: Elaborado a partir dos dados de Bittencourt (2012).

O primeiro traço apresentou valores baixos de resistência à compressão aos 7 dias, sendo sequer ensaiado aos 28 dias. O segundo traço embora tenha obtido resultados de resistência à compressão superior ao do primeiro, ainda foram inferiores aos requeridos na ABNT NBR 9071 (2013), sendo o melhor resultado com agregado reciclado obtido 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, 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 grãos foi composta de pedrisco, com DMC de 6,30 mm e MF de 5,69. Para os agregados reciclados, foi utilizado o RCD vermelho (RCDv), que foi coletado em diferentes obras em Alegrete - 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 acrescido em 25%, a partir de 0% para um traço de controle, até atingir substituição total do agregado miúdo, em estado lavado. Foram ensaiados 16 CPs por traço com dimensões não informadas pelo autor.

Tabela 11: Traços utilizados.

Autor	Sigla do Traço	Cimento	Areia	Brita	Traço				
					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: Elaborado a partir dos dados de Köhler (2013).

Para a produção do concreto, foi utilizado uma betoneira de eixo horizontal de 120 litros e, após sua confecção, o concreto foi depositado em moldes plásticos e vibrados 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 o ensaio de absorção de água foi realizado pelo próprio autor, com resultados apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Resultados dos ensaios obrigatórios da ABNT NBR 9781 (2013).

Autor	Sigla do Traço	Absorção de água	Variação %	ABNT	Resistência à compressão			ABNT
				NBR 9781 (2013)	média (MPa)			NBR 9781 (2013)
		28 dias		≤ 6%	7 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: Elaborado a partir dos dados de Köhler (2013).

Após 28 dias, quanto a 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 não foi feito rigorosamente. No entanto, substituindo 25% do agregado por RCDv “G1”, foi obtido 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 em norma ABNT NBR 9781 (2013).

3.3.6 Sipres (2019)

Sipres (2019) utilizou o cimento CP-V-ARI, com a adição do aditivo Glenium 51, que visa melhorar a trabalhabilidade e reduzir o fator água/cimento do concreto. Os agregados naturais escolhidos foram a areia natural de quartzo e o pó de pedra natural. Os agregados reciclados utilizados foram o RCD cinza (RCDc), oriundo dos resíduos de concretos e argamassas da demolição parcial do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro, e o RCD vermelho (RCDv), oriundo 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 3 traços escolhidos pelos autores apresentados na Tabela 13, com a substituição completa da fração de agregado miúdo reciclado em todos. Todos os agregados empregados neste estudo foram utilizados em estado seco. Foram ensaiados 54 corpos de prova, 6 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: Elaborado a partir dos dados de Sipres (2019).

O concreto foi produzido em um misturador planetário com velocidade de rotação de 167 rpm de marca não especificada e então levado a vibro-prensa 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 da ABNT NBR 9781 (2013).

Autor	Sigla do Traço	Absorção	Variação	ABNT NBR	Resistência à compressão		Variação	ABNT NBR
		de água	%	9781 (2013)	7 dias	14 dias	%	9781 (2013)
		28 dias		≤ 6%			28 dias	≥ 35 MPa
	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
Sipres (2019)	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: Elaborado a partir dos dados de Sipres (2019).

Aos 28 dias os traços nos quais houve substituição total de agregados reciclados apresentaram valores de resistência à compressão superiores aos comparados com 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 comparado ao controle “H”. Fato que se repetiu quando analisado o traço “J”, no qual a substituição do agregado no “J2” obteve resistência suficiente para atender a ABNT NBR 9781 (2013), superior em 78,30% ao mesmo traço quando utilizando agregados naturais. Vale ressaltar que para esse mesmo traço “J”, o material reciclado de RCDc “J1” apresentou resultados 72,54% superiores ao controle. O único traço no qual o RCDc apresentou resistência maior que o RCDv foi o “I”, porém, com valores não suficientes para que a ABNT NBR 9071 (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 na norma ABNT NBR 9781 (2013), quanto quando comparados aos seus respectivos traços. A única

exceção foi o traço “J2”, que obteve valores 33,33% inferiores quando comparados ao traço “J” de controle, e valor de absorção igual à 6%, suficientes para atender a ABNT NBR 9781 (2013).

3.3.7 Pederneiras *et al.* (2020)

Pederneiras *et al.* (2020) utilizou cimento CP-II-Z-RS, com a utilização do 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, foi utilizado, na parcela de miúdos, areia natural, com DMC de 1,18 e MF de 1,84, e na de graúdos, 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 graúdos 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 graúdo convencional por agregado graúdo reciclado, estando o material em condição seca, lavada e saturada, respectivamente. Para os traços “K4” e “K5”, foi substituído o agregado miúdo convencional por agregado miúdo reciclado, estando o material em estado seco e lavado respectivamente. E, por fim, os traços “K6” e “K7”, onde todos os agregados foram substituídos por agregados reciclados de RCD, em estado seco e lavado respectivamente. Foram ensaiados 24 CPs 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 <i>et al.</i> (2020)	K	1	8,60	2,67	-	-	-	0,38	N/D ⁷
	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: Elaborado a partir dos dados de Pederneiras *et al.* (2020).

Os autores indicaram 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. Da mesma forma, não indicam o modelo ou o equipamento utilizado para a obtenção

⁷ Informação não disponível

dos resultados de resistência à compressão. Também foi ensaiado a absorção de água. Os valores são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Resultados dos ensaios obrigatórios da ABNT NBR 9781 (2013).

Autor	Sigla do Traço	Absorção de água	Variação %	ABNT NBR 9781 (2013)	Resistência à compressão média (MPa)			Variação %	ABNT NBR 9781 (2013)
				≤ 6%	7 dias	14 dias	28 dias	≥ 35 MPa	
Pederneiras <i>et al.</i> (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: Elaborado a partir dos dados de Pederneiras *et al.* (2020).

O traço que apresentou melhores resultados 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, sendo que o resultado de resistência à compressão foi 68,90% superior em relação ao traço de controle. Isso indica um bom desempenho do material reciclado empregado neste estudo.

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

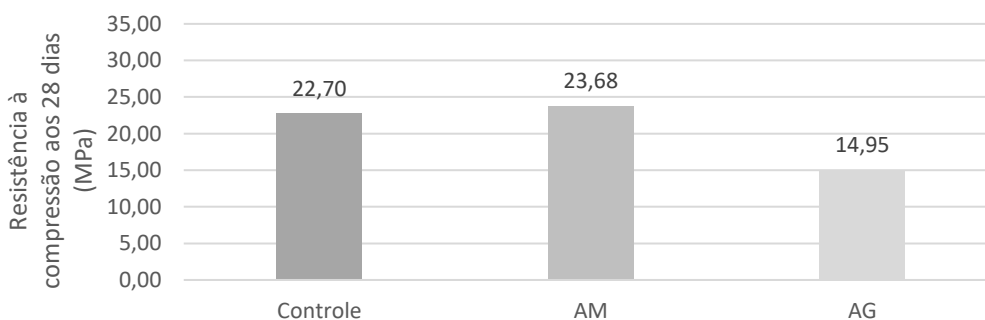
A partir da revisão da literatura, foram estabelecidos parâmetros de comparação objetivando encontrar o traço, a granulometria e as condições ideais do agregado reciclado de RCD para a confecção dos blocos intertravados de concreto.

Se tratando de agregados miúdos e graúdos, foram encontradas diversas opções entre reciclados e naturais, como também métodos de trabalho diferentes. Um ponto divergente entre os autores é sobre o estado de utilização do material, seja ele lavado ou seco. O estudo de Pederneiras *et al.* (2020) chegou à conclusão de que os blocos produzidos com agregados lavados apresentaram resultados melhores em todas as suas propriedades, já que a lavagem remove parte do material pulverulento encontrado nos materiais reciclados, que muitas vezes é encontrada no ensaio de peneiramento para a determinação da granulometria dos *pavers*.

Quanto a granulometria dos artigos estudados, os autores Amadei (2011) e Simieli *et al.* (2007) foram os dois autores que obtiveram os melhores resultados a resistência, e ainda no caso de Amadei (2011), o melhor resultado de absorção de água. Um fator que esses autores têm em comum foi a utilização da mesma dimensão máxima característica (DMC) do agregado reciclado, de 4,75 mm. Vale ressaltar que o módulo de finura dos autores é de 3,82 e 2,60, respectivamente.

Quando se analisa os agregados reciclados de RCD, diversas opções de emprego do mesmo se mostram possíveis. Pederneiras *et al.* (2020) concluem que a utilização de agregado miúdo reciclado apresentou blocos com melhor desempenho, em relação à 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 com tal conclusão. A Figura 1 compara os dados obtidos de resistência à compressão média aos 28 dias para corpos de prova produzidos com agregados graúdos e miúdos ensaiados pelos autores Bittencourt (2012) e Pederneiras *et al.* (2020), tendo em vista que substituíram parte do seu traço de controle por tais agregados reciclados.

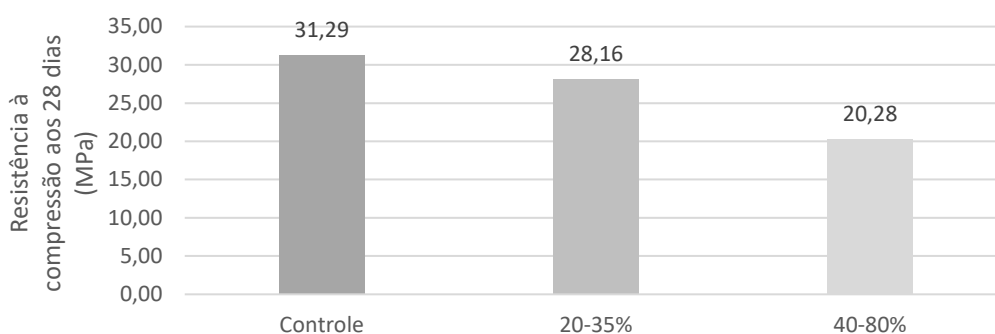
Figura 1: Resistência à compressão média aos 28 dias para substituição de areia ou brita recicladas.



Fonte: Elaborado a partir dos dados de Bittencourt (2012) e Pederneiras *et al.* (2020).

A porcentagem de substituição do agregado reciclado mostrou ser um fator que influencia diretamente nos resultados obtidos nos ensaios. Essa informação permite a análise da influência direta que o agregado exerce na composição do bloco de concreto. Os teores de substituições dos agregados miúdos naturais pelos reciclados miúdos, mostraram que a substituição entre 20% e 25% do agregado apresentaram maiores resistências a compressão. Já a substituição entre 30% e 35% foi pouco utilizada entre os autores, mas nos estudos realizados entre essa faixa de substituição os resultados obtidos da resistência à compressão foram similares a faixa previamente citada. Desse modo, os valores da faixa de 30% e 35% foram unidos com os valores entre 20% e 25%, e posteriormente, comparados aos traços com substituição intermediária, de 40% a 80%, como mostrado na Figura 2. Também foram incluídos os traços de controle dos autores que confeccionaram blocos de concreto dentro do intervalo mencionado.

Figura 2: Resistência à compressão média aos 28 dias para a porcentagem de substituição de areia reciclada.



Fonte: Elaborado a partir dos dados de 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 na Figura 2, sendo aproximadamente 46% inferiores ao valor de 35 MPa estipulado pela ABNT NBR 9781 (2013).

Os resultados de absorção de água também demonstram enorme variação de resultados. Quantos aos 7 traços de controle, 3 obtiveram resultados inferiores ou iguais aos 6% admitidos pela ABNT NBR 9781 (2013), enquanto para os traços com agregados reciclados, 13 dos 27 atenderam tal norma. Bittencourt (2012) e Simieli *et al.* (2007) não realizaram tal ensaio, embora seja obrigatório para atender a ABNT NBR 9781 (2013).

Embora tenham apresentado valores inferiores aos 23 mm estipulados pela ABNT NBR 9781 (2013), 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, pois tal ensaio é facultativo.

O outro ponto que vale discussão é a respeito do valor elevado da resistência à compressão exigido pela ABNT NBR 9781(2013), que se mostra muito mais abrangente em outros países. De

acordo com Fioriti *et al.* (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 *et al.* (2007) diz que para se atingir uma resistência à compressão de 25 MPa, o bloco deve suportar aproximadamente 157500 N, contra aproximadamente 94500 N para conseguir estabelecer uma resistência à compressão de 15 MPa, valor este que foi adotado como exemplo pois, segundo o autor, ao que tudo indica, é suficiente para suportar a sobrecarga que será exercida em calçadas, praças e trânsito leve. Portanto, o autor conclui que os valores exigidos na norma brasileira são muito elevados e que poderiam ser revistos visando a categoria de uso. Caso a resistência à compressão ideal fosse estipulada em 15 MPa para fins de calçadas, praças e trânsito leve, 31 dos 41 traços com substituição de agregados naturais por reciclados de RCD estudados seriam aprovados, quantidade superior quando comparado com os 3 traços inicialmente aprovados para resistência à compressão de 35 MPa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Agregados reciclados de RCD possuem grande potencial para a utilização na produção ou fabricação de *pavers*, não só ecológico, mas econômico e, em alguns casos, de ganho de propriedades mecânicas.

Para a confecção de *pavers*, o cimento mais utilizado foi o CP-V-ARI, graças a sua rapidez para a reutilização de formas, os agregados graúdos e miúdos lavados apresentam melhoras significativas devido a remoção de material pulverulento, os DMCs 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 e 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 apresentaram resultados de resistência à compressão superiores em relação as outras parcelas.

Raramente os 35 MPa estipulados pela norma ABNT NBR 9781 (2013) foram alcançados nos artigos estudados. A confecção dos blocos de concreto para pavimentos intertravados é uma tarefa de alto grau de complexidade, onde variações como o uso de vibro-prensa, o uso de agregados devidamente lavados e separados com a granulometria correta e a experiência do operador que realizou tais ensaios influem 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, um que vise 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 do resíduo de RCD nos ensaios de resistência à abrasão.

REFERÊNCIAS

- AMADEI, Daysa Ione Braga. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do município de juranda/pr**. 2011. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011. Disponível em: <http://www.peu.uem.br/Daysa2.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Boletim técnico n° 135: Construção de pavimentos de blocos de concreto**, São Paulo, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225**: Materiais de pedra agregados naturais. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação: Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NBR 15953**: Pavimento intertravado com peças de concreto: Execução. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO - ABRECON. **Brasileiro produz por ano meia tonelada de resíduos de construção civil**, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://abrecon.org.br/brasileiro-produz-por-ano-meia-tonelada-de-residuos-de-construcao-civil/>. Acesso em: 22 nov. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO - ABRECON. **Resíduos da construção e demolição: geração de emprego e renda**, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://abrecon.org.br/residuos-da-construcao-e-demolicao-geracao-de-emprego-e-renda/>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- BITTENCOURT, Sarah Ferreira. **Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.
- BRASIL. Resolução CONAMA n° 307 de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: **Diário Oficial da União n° 136**, de 17/07/2002.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). **Anuário CNT do Transporte 2017**. Disponível em: <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2017>. Acesso em: 13 nov. 2020.
- FIORITI, Cesar Fabiano *et al.* 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, Lino de. 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: 14 nov. 2020.

HOOD, Rogério Scott. **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. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, 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, Lucas Guilherme. **Desempenho Técnico de Blocos de Concreto para Pavimento Intertravado com Resíduo de Construção e Demolição**. 2013. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/rii/1637/1/Desempenho%20t%C3%A9cnico%20de%20blocos%20de%20concreto%20para%20pavimento%20intertravado%20com%20res%C3%ADduo%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o%20e%20demoli%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2021.

PEDERNEIRAS, Cinthia Maia *et al.* Incorporation of recycled aggregates from construction and demolition waste in paver blocks. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S.L.], v.13, n. 4, p. 61-73, 28 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**. Dissertação (Mestrado). 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, Clarice. **Análise técnica do uso de resíduos de construção e demolição (rcd) na produção de concreto seco para piso intertravado**. 2019. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de 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.