

Incorporação de resíduos de etileno acetato de vinila na produção de blocos intertravados de concreto para pavimentação

Incorporation of vinyl ethylene acetate residue into the production of interlocking concrete blocks for paving

Francisco Roger Carneiro Ribeiro¹, Kelvya Maria de Vasconcelos Moreira², Almircélio Sampaio Marques³, Regina Célia Espinosa Modolo⁴

¹ PPG em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, São Leopoldo, RS, Brasil.

² Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Vale do Acaraú - UVA, Sobral, CE, Brasil.

³ Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 733, Térreo, CEP: 60455-900, - Fortaleza, Ceará, Brasil.

⁴ PPG em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, São Leopoldo, RS, Brasil

e-mail: roger.ribeiro@hotmail.com, kelvyamoreira@gmail.com, reginaem@unisin.br, almirceliomarques@hotmail.com

RESUMO

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar o emprego do resíduo de Etileno Acetato de Vinila (E.V.A), proveniente da indústria calçadista, como agregado leve em substituição parcial ao agregado miúdo natural na produção de blocos intertravados de concreto para pavimentação de calçadas e áreas de passeios de pedestres. Para isso, foram confeccionadas três formulações de concretos contendo resíduos com diferentes porcentagens de substituição em volume e uma formulação de referência (sem resíduo). No estado fresco, realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone. Já no estado endurecido, fez-se a inspeção visual e a análise dimensional dos blocos, o ensaio de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias de idade, bem como o ensaio de absorção de água aos 28 e 56 dias. Foi possível concluir que a substituição de agregados miúdos naturais pelo resíduo de E.V.A em determinados percentuais (até 30%) tende a promover elevada perda de resistência mecânica e a limitar o uso dos blocos intertravados para tráfegos com baixas solicitações. Os resultados demonstraram ainda que, embora haja limitações de volume de substituição de agregado natural por E.V.A, a redução de custo de produção torna a aplicação do resíduo tecnicamente e economicamente viável.

Palavras-chave: Agregado leve; etileno acetato de vinila; bloco intertravado.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the use of ethylene vinyl acetate (EVA) residue, from the footwear industry, as a lightweight aggregate in partial replacement with the natural kid's aggregate in the production of interlocking concrete blocks for paving sidewalks and walking areas of pedestrians. For this, three concrete formulations containing residues with different percentages of volume substitution and a reference formulation (without residue) were developed. The cone trunk abatement test was performed in the fresh state. In the hardened state, the visual inspection and dimensional analysis of the blocks, the compressive strength test at 7, 28 and 56 days of age, as well as the water absorption test at 28 and 56 days were performed. It was concluded that the substitution of natural minute aggregates by the E.V.A residue in certain percentages (up to 30%) tends to promote high loss of mechanical strength and limit the use of interlocking blocks for low demand traffic. The results also showed that, although there are limitations on the volume of natural aggregate substitution per E.V.A, the reduction of production costs makes the application of the waste technically and economically viable.

Keywords: Light aggregates; ethylene vinyl acetate; interlocking blocks.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento tecnológico associado ao acelerado processo de industrialização tem acarretado, concomitantemente, inúmeras desvantagens para a população e um aumento na produção de resíduos sólidos. Sem o devido controle, tais resíduos contribuem para o agravamento dos problemas ambientais, necessitando de grandes custos para sua correção.

A legislação brasileira, por meio da Lei Federal Nº 12.305/2010 [1] que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, passou a estabelecer maiores exigências, impondo aos produtores de resíduos a serem os seus responsáveis. Isso os obrigou a dispor tais materiais de maneira adequada ou buscar alternativas mais ecológicas, técnicas e econômicas para resolver os problemas relacionados aos impactos ambientais negativos. Assim como defende ZHANG [2], ao relatar que na busca de aspectos econômicos, técnicos e ambientais dos produtos ecológicos, são impreterivelmente necessárias melhorias na padronização, educação pública e políticas governamentais.

Alguns resíduos, como o copolímero de Etileno Acetato de Vinila (E.V.A), são gerados pela indústria calçadista e são parcialmente reciclados, devido a algumas de suas características, como a baixa densidade. As alternativas existentes para a correta disposição desses resíduos não são diferentes das convencionais. O coproduto pode ser destinado a um aterro sanitário controlado, à incineração, ou ainda, à reciclagem. O E.V.A, devido sua baixa densidade, necessita de certo espaço para armazenagem antes e após o processo industrial pelo setor calçadista. Sua queima em fornos industriais reduz os problemas relacionados à sua armazenagem e à disposição final, mas esse processo libera gases tóxicos na atmosfera, poluindo também outros ciclos naturais que são essenciais para a sociedade. Portanto, observa-se, na reciclagem, uma alternativa viável para a incorporação desses materiais em novos produtos úteis para a construção civil [3].

Esse material tem sido empregado na indústria calçadista pelo fato de ser macio, leve, resistente ao desgaste e de baixo custo. No entanto, a geração de resíduos na forma de sobras e retalhos tem se mostrado inevitável e de uso inviável na própria indústria, uma vez que o E.V.A é um polímero termofixo. Com isso, esse material ao ser moldado sob uma dada pressão e temperatura, se torna infusível, insolúvel e não reciclável por não poder ser reutilizado na confecção dos calçados [4].

Segundo a ABNT NBR 10004:2004 [5], a especificação dos resíduos envolve a identificação rigorosa dos constituintes e das características desses materiais, em conformidade com as matérias-primas, atividades ou processos que lhes deram origem. Com relação aos insumos, esses são comparados com a listagem de substâncias que causam impacto à saúde e ao meio ambiente, com o propósito de serem gerenciados adequadamente.

Autores ressaltam que há duas razões complementares para o uso de resíduos como agregados: a futura escassez de rochas britadas, gerando um aumento das taxações e a redução das áreas dispostas ao armazenamento e ao descarte de resíduos [6].

Segundo JALALI *et al.* [7], devido ao resíduo de E.V.A apresentar baixa densidade, de 230 a 365 kg/m³, torna-se uma matéria-prima potencial para ser utilizada como agregado leve no âmbito da construção civil. Assim como foram objetos de estudos na preparação de argamassas e concretos em pesquisas dos seguintes autores: MANSUR *et al.* [8], ISMAIL e AL-HASHMI [9], MESSAN *et al.* [10] e ELGADY [3].

Dessa forma, a proposta de utilização de materiais não convencionais, como os resíduos de E.V.A, se torna viável para investimentos públicos e privados no setor social. Mas, deve-se atentar para a possibilidade de adequar esses materiais para usos que respeitem, não apenas a eficiência econômica, como também a finalidade funcional e ambiental.

A incorporação desses resíduos em matrizes cerâmicas e cimentícias para a produção de elementos na área de construção civil, se feita de maneira segura, pode fornecer um destino interessante do ponto de vista ambiental para esses materiais. Além disso, devido os materiais convencionais utilizados nas construções ainda serem os principais responsáveis pelo custo nas obras, o uso de E.V.A pode representar uma boa opção, a fim de reduzir algumas despesas [11, 12].

Os blocos de concreto para pavimentação, conhecidos como “pavers” ou ppc (peças pré-moldadas de concreto), constituem os pisos intertravados como um sistema prático tanto para sua construção, colocação e manutenção. Devido à variedade de formas e cores, o pavimento tem sido amplamente usado por arquitetos no desenvolvimento de projetos paisagísticos, na revitalização de centros urbanos e históricos, calçadas, praças, além de resistir às variações climáticas e possuir um custo menor do que o piso industrial [13].

Portanto, esta pesquisa visa o aproveitamento de resíduos de E.V.A gerados no setor calçadista, em

substituição parcial ao agregado miúdo, para a produção de um novo concreto a ser aplicado em blocos intertravados. Pretende-se utilizar esses blocos para fins em tráfego leve de pedestres, como calçadas, praças, passeios públicos e privados, parques infantis, entre outros. Espera-se alcançar a efetividade deste propósito combinando o maior aproveitamento dos resíduos supracitados com a redução do consumo de materiais naturais. Com isso, essa prática pode oferecer uma gama maior de alternativas à construção civil e isso em concomitância com a ABNT NBR 9781:2013 [14], da qual preconiza os requisitos e os métodos de ensaios para aceitação de blocos de concreto para pavimentação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo FERNANDES [15], para a produção de blocos intertravados de concreto, em razão da necessidade de manuseio no dia seguinte, são mais indicados os cimentos Portland dos tipos CP-II (composto) e CP-V (ARI) por apresentarem maior resistência nas primeiras idades, quando comparado com os outros tipos de cimento Portland (tipos CP-III e CP-IV). Portanto, foi utilizado o cimento Portland CP II-Z-32 neste estudo. De acordo com informações do fabricante este material possui massa específica de 3.100 kg/m^3 . O tipo de cimento CP II-Z contém adição de material pozolânico que varia de 6% a 14%, em massa, o que lhe confere menor permeabilidade.

A água utilizada foi a fornecida pelo sistema de abastecimento público.

O agregado graúdo natural é de origem calcária, com massa específica de 2.680 kg/m^3 , com diâmetro máximo característico de 19 mm. Já o agregado miúdo natural é uma areia média quartzosa lavada com módulo de finura de 2,83. Resultados esses obtidos a partir de ensaios de caracterização dos agregados naturais de acordo com as normas técnicas pertinentes.

O agregado de E.V.A utilizado neste trabalho era do tipo artificial leve proveniente da reciclagem de aparas (sobras) resultantes da confecção de solados de sandálias em uma indústria calçadista instalada em Sobral, Ceará. Possui massa específica de 240 kg/m^3 , diâmetro máximo característico de 4,8 mm e módulo de finura de 2,89.

A Figura 1 ilustra como o resíduo foi recebido da indústria calçadista, sendo o peneiramento o único beneficiamento realizado após o recebimento.



Figura 1: Resíduo de E.V.A.

Após a etapa de caracterização dos agregados (naturais e artificial) foram avaliados os teores de incorporação do resíduo de E.V.A com base numa abordagem ainda não explorada pela literatura consultada. Com relação ao traço unitário experimental em massa, a composição adotada foi de 1: 1,54: 2,14 (cimento: areia:brita) com fator a/c de 0,42. Também se constatou a possibilidade de incorporação do resíduo de E.V.A nos teores de substituição: 10%, 20% e 30%, com relação ao agregado miúdo em volume, fazendo-se a correlação das densidades. O objetivo desse processo é analisar o potencial de produção dos blocos intertravados de dimensões $200\text{mm} \times 100\text{mm} \times 60\text{mm}$ (comprimento \times largura \times espessura), bem como verificar se os teores de substituição desses resíduos implicam em alterações nas características mecânicas dos blocos.

Portanto, foram produzidos quatro lotes de concreto que receberam as seguintes denominações para melhor explanação:

- Referencial: lote de concreto convencional;
- 10% E.V.A: lote de concreto com substituição de 10% do agregado miúdo natural, em volume, por

agregado miúdo artificial (resíduo de E.V.A);

- 20% E.V.A: lote de concreto com substituição de 20% do agregado miúdo natural, em volume, por agregado miúdo artificial (resíduo de E.V.A);

- 30% E.V.A: lote de concreto com substituição de 30% do agregado miúdo natural, em volume, por agregado miúdo artificial (resíduo de E.V.A).

Para cada lote de concreto, foram moldados 48 blocos intertravados (200 x 100 x 60) mm com volume total de 1200 cm³ por bloco. Algo que deve ser respeitado é a relação exigida pela norma ABNT NBR 9781:2013 [14] entre comprimento/largura ser igual a 2 (dois), para permitir que os blocos se arranjam entre si nos quatro lados e possam ser assentados em fileiras ou espinha de peixe.

Segundo BITTENCOURT [16], a fabricação dos “pavers” é classificada em três tipos distintos: peças viradas, peças vibroprensadas e peças dormidas. Essa última forma de fabricação foi a definida para o presente estudo, devido ao processo de desmoldagem do concreto que só pôde ser realizado no dia seguinte de sua produção. Como os moldes foram de plástico, esse processo gerou um acabamento superficial mais liso, resultando em um aspecto estético mais agradável.

Empregou-se, no processo de adensamento, uma mesa vibratória por 5 (cinco) minutos, em que os grãos entraram em vibração e se chocaram uns com os outros. Ao mesmo tempo, a água em excesso e as bolhas de ar retidas na massa do concreto, devido à capilaridade e à tensão superficial, são liberadas até a superfície. Desta forma, o concreto é compactado, preenchendo por completo a forma do produto a ser moldado.

Após as 24 horas, os “pavers” foram desmoldados e armazenados em tanque com água saturada de hidróxido de cálcio para cura úmida até as datas dos experimentos, conforme preconiza a ABNT NBR 5738:2016 [17].

Os ensaios realizados no estado endurecido encontram-se resumidos na Tabela 1, bem como a amostragem mínima necessária para a realização dos testes de acordo com a ABNT NBR 9781:2013 [14].

Tabela 1: Número de amostras para a realização dos ensaios no estado endurecido.

ENSAIOS	MÉTODO	IDADES	AMOSTRAGEM MÍNIMA PARA O ENSAIO	QUANTIDADE DE PAVERS POR IDADE	QUANTIDADE DE PAVERS POR ENSAIO
Inspeção visual e Análise dimensional	ABNT NBR 9781:2013	após a desmoldagem	6	6*	6*
Resistência à compressão	ABNT NBR 9781:2013	7, 28 e 56 dias	6	10	30
Absorção de água	ABNT NBR 9781:2013	7, 28 e 56 dias	3	6	18
Total de “pavers” por concreto					48

*Mesmos “pavers” utilizados no ensaio de resistência à compressão

O ensaio mecânico pode ser considerado como o mais importante na produção de pisos intertravados. Esse possui a finalidade de encontrar um valor de resistência à compressão nos blocos, quando estiverem sujeitos a um carregamento contínuo e gradativo. Por ser um indicador melhor observado por todos os profissionais da área técnica, foi o fator chave para uma possível utilização proposta neste trabalho. Já o princípio do ensaio de absorção de água, expresso em porcentagem, é representar o aumento de massa de uma peça devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Abatimento do tronco de cone

O concreto destinado à produção de blocos intertravados é caracterizado como tendo consistência mais seca para que não ocorra a fuga de água de amassamento durante a etapa de adensamento, com conseqüente prejuízo à completa hidratação do cimento Portland. Aplicada ao concreto, a consistência do mesmo caracteriza propriedades da mistura fresca, referentes com à coesão e à flexibilidade entre os constituintes do

concreto.

Tendo em vista que a influência das condições ambientais favorece a perda de plasticidade do concreto, os lotes foram produzidos no mesmo horário, com umidades relativas constantes e em condições de temperatura ambiente. De acordo com a composição utilizada, quanto menor o abatimento do tronco de cone, maior a relação água/cimento (a/c). Considerando que as misturas detêm de uma maior relação, as mesmas possuem menor quantidade de cimento e tendem a ser mais ásperas.

A Tabela 2 expõe os abatimentos obtidos para os lotes de concreto do estudo.

Tabela 2: Abatimento do tronco de cone obtido para os lotes de concreto ensaiados.

LOTE DE CONCRETO	ABATIMENTO (mm)
REFERENCIAL	55
10% E.V.A	55
20% E.V.A	50
30% E.V.A	50

O índice de consistência foi fixado em 50 (\pm 10) mm, por requerer que os concretos não detivessem de alta fluidez. Observa-se pela Tabela 2 que as porcentagens de agregado de E.V.A conferem valores de trabalhabilidade da mistura dentro dos limites estabelecidos, com ausência de exsudação e segregação. Isso demonstra que a baixa capacidade de absorção de água, a forma e o diâmetro dos grãos de agregado artificial não interferiram nos índices de abatimento dos concretos, uma vez que essa propriedade se relaciona com as características físicas dos materiais. Segundo NEVILLE [6], a absorção de água pelos agregados influencia no maior consumo de água, uma vez que parte da água de amassamento serve para juntar os grãos.

Acredita-se que devido à falta de finos ter impedido uma coesão adequada, isso não impediu o uso dos teores de agregados artificiais na produção dos concretos, uma vez que foi constatada uma boa envoltura do E.V.A pela pasta de cimento, o que garantiu a união das partículas. Além disso, é importante destacar que, apesar de alguns concretos reciclados apresentarem menor abatimento, em virtude do aumento no teor de resíduo, foi verificado que os mesmos, obtiveram condições trabalháveis, no que se refere ao lançamento, adensamento e acabamento nas fôrmas de produção dos blocos. Isso ocorreu devido ao desprendimento das bolhas de ar durante a vibração, o que facilitou às peças serem bem adensadas.

3.2 Inspeção visual e análise dimensional

Para as análises dimensionais, a ABNT NBR 9781:2013 [14] preconiza que os chanfros nas peças de concreto para pavimentação devem apresentar dimensões de 3mm no mínimo e 6mm no máximo. O comprimento, a largura e a espessura ficam delimitados em 3mm para mais ou para menos do valor nominal da peça, que possui dimensão de (200x100x60) mm nesse caso.

A Tabela 3 apresenta os resultados das análises dos chanfros e das dimensões das peças Tipo I (de formato retangular) para cada lote de fabricação.

Tabela 3: Resultados das análises dimensionais.

LOTE	AMOSTRAS (mm)						
	ASPECTO AVALIADO	PEÇA - 01	PEÇA - 02	PEÇA - 03	PEÇA - 04	PEÇA - 05	PEÇA - 06
REFERENCIAL	Chanfro	3,2	3,1	3,4	3,8	3,7	3,5
	Comprimento	201,6	200,4	202,1	201,3	202,8	200,3
	Largura	100,6	101,1	101,2	100,9	98,5	100,2
	Espessura	61,3	60,7	62,5	62,2	60,2	61,8
10% E.V.A	Chanfro	3,9	3,7	4,0	3,9	4,3	3,8
	Comprimento	202,2	201,9	202,5	201,3	201,6	203,0
	Largura	100,0	100,1	100,5	102,8	101,7	100,4
	Espessura	62,2	61,7	60,3	60,6	60,9	62,4
20% E.V.A	Chanfro	3,7	3,5	3,6	3,4	4,1	4,4
	Comprimento	200,8	200,7	201,4	202,2	201,3	201,2
	Largura	101,3	102,4	100,7	100,5	100,8	100,3
	Espessura	61,0	61,2	62,3	61,4	62,2	62,6
30% E.V.A	Chanfro	3,3	3,4	3,2	3,1	3,8	3,5
	Comprimento	202,3	202,2	201,2	201,7	200,5	200,6
	Largura	101,4	101,7	102,4	102,8	100,8	103,0
	Espessura	60,2	60,9	61,3	62,1	61,0	62,6

Em relação às dimensões dos “pavers”, de acordo com a Tabela 3, os lotes cumprem com os requisitos em todas as amostras submetidas à inspeção. A norma ABNT NBR 9781:2013 [14] ainda informa que o lote deve ser rejeitado, caso mais de 5% das amostras não atendam a algum dos requisitos mínimos, fato que não precisou ser considerado neste estudo.

No que concerne ao índice de forma, obtido pela razão comprimento/espessura, todos os blocos cumpriram com o requisito (inferior a 4), comprovando a veracidade das dimensões supracitadas pela Tabela 3, incluindo uma espessura adequada para tráfegos leves. O uso de blocos com defeitos pode prejudicar a estética, o assentamento e o desempenho do pavimento.

O processo de assentamento das peças garante o intertravamento, característica principal do pavimento, sendo definido pela capacidade de os blocos resistirem aos deslocamentos individuais, sejam verticais, horizontais ou de rotação, com relação às peças adjacentes [18].

Segundo NEJAD e SHADRAVAN [19], por meio de modelagens computacionais, constataram que o comprimento, a largura, a espessura e a forma dos blocos intertravados possuem um impacto significativo nas deformações verticais. No caso, os deslocamentos verticais são obtidos pela transferência da força aplicada para os blocos adjacentes, através das juntas de areia. Como complementa SULTAN et al. [20], a eficácia nas transferências de cargas depende das faces de atrito dos blocos e da área de superfície vertical, sendo proporcional à espessura.

RACHMAT *et al.* [21] investigaram o desempenho horizontal dos blocos de pavimentação em trechos de estradas inclinadas e comprovou que, se não forem levadas em consideração, as cargas horizontais podem causar deslocamentos permanentes na superestrutura e fragmentação dos “pavers” consequentemente.

3.3 Resistência característica à compressão

A resistência está associada à capacidade de os materiais resistirem a tensões sem haver rupturas. Inúmeros fatores podem contribuir para a redução na resistência mecânica dos concretos, que estão intimamente ligados à porosidade de sua matriz. De uma maneira geral, quanto mais poroso o material, menor tende a ser sua resistência mecânica.

Geralmente, o uso de resíduos que possuem massa específica inferior à dos agregados naturais influenciam negativamente na resistência à compressão. Pesquisas apontam que a utilização de resíduos poliméricos em compósitos cimentícios reduz a resistência mecânica ao passo que se aumenta a porcentagem de incorporação no compósito [22].

Segundo SULTAN *et al.* [20], a altura dos blocos, o enchimento das juntas de areia e a rigidez de contato pelas compactações são também parâmetros que influenciam nas resistências às deformações horizontais.

A Figura 2 ilustra o bloco após a ruptura, bem como as fissuras causadas pela carga aplicada.

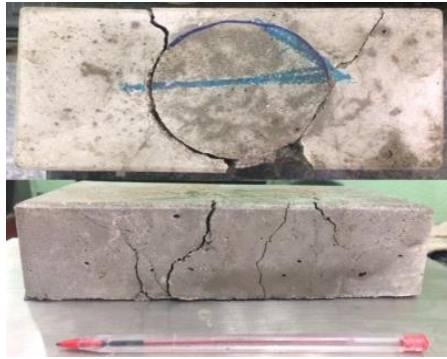


Figura 2: Blocos rompidos à compressão.

Os resultados médios da resistência individual (f_{pi}) dos blocos com os respectivos desvios-padrões (S) estão presentes na Tabela 4. Já os resultados médios da resistência característica estimada à compressão ($f_{pk,est}$) das mesmas peças nas idades de 7, 28 e 56 dias podem ser visto na Tabela 5. Os resultados da Tabela 5 estão graficamente representados na Figura 3.

Tabela 4: Resistências médias individuais e desvios-padrões dos lotes de concreto.

-	7 DIAS		28 DIAS		56 DIAS	
Lote de concreto	f_{pi} (MPa)	S (MPa)	f_{pi} (MPa)	S (MPa)	f_{pi} (MPa)	S (MPa)
REFERENCIAL	29,18	3,25	32,09	4,25	33,01	0,74
10% E.V.A	24,30	3,10	27,58	4,98	30,49	1,10
20% E.V.A	22,50	2,24	23,95	2,08	26,51	1,00
30% E.V.A	19,78	0,34	22,01	1,15	24,04	1,23

Tabela 5: Resistências médias características estimadas à compressão ($f_{pk,est}$) dos lotes de concreto.

-	7 DIAS	28 DIAS	56 DIAS
Lote de concreto	$f_{pk,est}$ (MPa)	$f_{pk,est}$ (MPa)	$f_{pk,est}$ (MPa)
REFERENCIAL	26,19	28,18	32,32
10% E.V.A	20,38	22,99	29,48
20% E.V.A	19,42	22,04	25,59
30% E.V.A	18,49	20,95	21,76

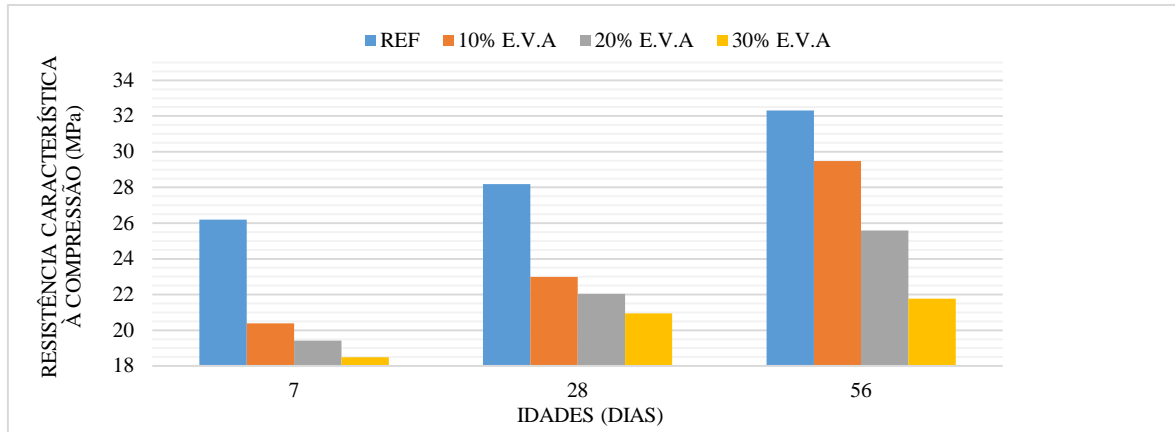


Figura 3: Evolução da resistência característica à compressão.

De acordo com a ABNT NBR 9781:2013 [14], os “pavers” não podem apresentar resistência característica à compressão inferior a 35 MPa aos 28 dias, quando a solicitação for tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. Com isso, de maneira geral, verifica-se que todos os lotes de concreto, não atenderam às especificações da norma, inclusive o referencial.

A dosagem definida para o concreto referencial não garantiu que os blocos obtivessem a resistência mecânica necessária aos 28 dias. Como consequência, os demais lotes também não obtiveram os valores requeridos.

FIORITI *et al.* [23] afirmam em seus estudos que, nos concretos de consistência seca, a resistência é fator dependente da compacidade final da peça moldada que, por sua vez, depende da seleção da dosagem para o tipo de energia de adensamento empregada. Nesse estudo, o adensamento ocorreu exclusivamente por vibração, sem a presença da compactação. Provavelmente, o volume de agregados graúdos foi demasiadamente elevado para esse tipo de adensamento, necessitando-se aumentar o volume de agregado miúdo e diminuir o volume do agregado graúdo para garantir mais finos e, com isso, podia ser melhorada a compactação entre os materiais. Obteve-se um teor de materiais secos em torno de 54% do traço calculado, sendo indicado, a partir dos resultados obtidos, aumentar este teor com o propósito de garantir maior volume de agregado miúdo.

Com o passar do tempo, julga-se que o sistema tende a tornar-se mais denso. A questão é que, devido à baixa relação *a/c*, as partículas de cimento Portland terão uma menor quantidade de água e espaço para se hidratarem, dificultando assim a taxa de crescimento das resistências e diminuição da porosidade [6].

Um importante fator para a resistência à compressão é a idade do concreto, uma vez que os compostos provenientes da hidratação do cimento se formam gradativamente ao longo do tempo. Fato explicado devido aos concretos de idades avançadas apresentarem maiores resistências que os concretos em idades iniciais.

Outrossim, pode-se afirmar que as perdas de resistências à compressão dos concretos não se devem apenas ao uso dos resíduos de E.V.A, como também dos procedimentos de dosagens empregados na fabricação dos blocos. Acréscimos na quantidade de água das misturas podem ter sido fatores importantes em tais reduções. Sem esquecer que a influência do modo de adensamento e dos equipamentos corroboram no desempenho mecânico dos “pavers”.

Ainda que não tenha sido alcançado o valor exigido pela norma brasileira, é possível entender a influência do uso de E.V.A na produção dos blocos intertravados e, a partir disso, fazer ajustes na dosagem de referência.

Os resultados apresentados na Figura 3 mostram que à medida em que se aumenta o percentual de substituição do agregado natural pelo artificial, são obtidos valores inferiores de resistência mecânica. Na Tabela 5, observa-se que, aos 7 dias, os lotes 10% E.V.A, 20% E.V.A e 30% E.V.A apresentaram uma redução de 22,18%, 25,85% e 29,40%, respectivamente, em relação à resistência característica do concreto referencial. Aos 28 dias, esta redução comparativa foi de 18,42%, 21,79% e 25,66%, respectivamente, já aos 56 dias, o decréscimo foi de 8,79%, 20,82% e 32,67%, respectivamente, em relação à resistência característica do concreto referencial.

Entende-se que o agregado de E.V.A possa ter funcionado como um poro no concreto em termos de

estabilidade do compósito. Assim, quando a carga é aplicada, há uma descontinuidade na distribuição das tensões, gerando as microfissuras mais rapidamente e conferindo menor resistência ao compósito. Dessa forma, apesar da baixa porosidade real nos compósitos e da forma dos agregados reciclados terem contribuído para uma melhor aderência matriz/resíduo, a contribuição na resistência à compressão foi insatisfatória, uma vez que atuaram como hiatos nos blocos.

Sabe-se que o concreto tem característica de ruptura frágil, no entanto, evidenciou-se que as rupturas no compósito ocorreram de forma paulatina, e não de maneira brusca, talvez pela aderência entre matriz e resíduo, somado ao fato do E.V.A ser um polímero de cadeias longas com alta capacidade de deformação. Este, portanto, é um fator positivo quando se pensa em capacidade de absorção de energia de impacto. Por fim, embora os blocos com a incorporação de E.V.A não tenham atingido a resistência mínima permitida por norma (35 MPa para tráfego leves, veículos leves e veículos comerciais de linha), FIORITI [24] relata que uma resistência adequada para locais de tráfego leve pode ser igual ou superior a 15 MPa. Seguindo essa perspectiva, pode-se sugerir a utilização dos blocos intertravados de concreto contendo até 30% de resíduos de E.V.A para tráfego de pedestres, como calçadas, praças, passeios públicos e privados, parques infantis, entre outros.

3.4 Absorção de água

Os resultados médios de absorção de água dos blocos intertravados de concreto com e sem incorporação de E.V.A, nas idades de 28 e 56 dias, podem ser vistos na Tabela 6.

Tabela 6: Valores médios de absorção de água para os lotes de concreto.

-	28 DIAS	56 DIAS
Lote de concreto	%	%
REFERENCIAL	1,38	1,14
10% E.V.A	1,50	1,32
20% E.V.A	1,68	1,48
30% E.V.A	1,77	1,56

Segundo a ABNT NBR 9781:2013 [14], as peças de concreto devem apresentar absorção de água com valor médio igual ou inferior a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual superior à 7%. A Tabela 6 demonstra que todos os lotes de concreto apresentaram baixa capacidade de absorção de água, atendendo as especificações da norma.

Analisando individualmente os valores da Tabela 6, verifica-se que, aos 28 dias, as taxas de absorção de água para os lotes 10% E.V.A, 20% E.V.A e 30% E.V.A apresentam um aumento de 8,70%, 21,74% e 28,26%, respectivamente, em relação ao concreto referencial. Aos 56 dias, este aumento foi de 15,79%, 29,82% e 36,84%, respectivamente, em relação ao concreto referencial.

O ensaio de absorção de água proposto pela norma ABNT NBR 9781:2013 [14] é uma medida indireta do volume de vazios existente no compósito e, por consequência, da sua permeabilidade. Quanto maior o volume de vazios, maior será a taxa de absorção de água que afetará na capacidade de resistência mecânica das peças de concreto. Portanto, este comparativo de crescimento das taxas de absorção de água com o incremento do agregado artificial mencionado no parágrafo anterior está coerente com a queda gradativa dos valores de resistência à compressão obtidos. Mas, ainda assim, as taxas de absorção de água foram insignificantes em sua totalidade, indicando que a boa execução dos concretos e a produção dos blocos foram realizadas de forma adequada. Portanto, os valores obtidos fazem crer que a ideia do rearranjo da proporção entre agregados miúdos e graúdos, com base no tipo de adensamento empregado, visando incrementar a resistência mecânica, seja viável e suficiente para alcançar o valor mínimo exigido pela norma brasileira.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados e das discussões realizadas, conclui-se que:

- A substituição de agregados naturais por resíduos de E.V.A pode ser controlada por proporções em volume;

- A substituição de agregados miúdos naturais pelo resíduo de E.V.A em elevados percentuais (até 30%) tende a promover perdas de resistência mecânica e a limitar o uso dos blocos intertravados para tráfegos com baixas solicitações;

- Os agregados reciclados de E.V.A melhoraram o comportamento dos concretos quanto a ruptura frágil, sendo vantajoso onde há exigência de boa capacidade de absorção de impacto.

Apesar dos resultados obtidos não atenderem totalmente à norma brasileira vigente, pode-se confirmar o potencial do aproveitamento dos resíduos de E.V.A na fabricação de blocos intertravados de concreto para uso na construção civil. No caso dos blocos da presente pesquisa, pressupõe-se indicá-los para tráfego de pedestres, tais como calçadas, praças, passeios públicos e privados, parques infantis, entre outros.

De toda forma, a produção de blocos intertravados com o uso do agregado de E.V.A pode ser considerada um processo simples que se apresenta como uma solução alternativa para o problema da destinação final desse tipo de resíduo. Isso demonstra, principalmente, o potencial de uso deste material alternativo em substituição dos agregados naturais na otimização dos processos, reduzindo custos na produção de blocos intertravados para pavimentação.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2010.
- [2] ZHANG, L., “Production of bricks from waste materials - A review”, *Construction and Building Materials*, v.47, p.643-655, 2013.
- [3] ELGADY, I.Y.I., *Recycling of EVA foam waste as a constituent of lightweight concrete mixture for construction application*, Tese de Doutorado em Engenharia de Plásticos, Universidade Sudanesa de Ciência e Tecnologia, Cartum, Sudão, 2018.
- [4] ANDRADE, J.J.O., “Propriedades e durabilidade dos polímeros”, In: Geraldo C. Isaia, *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*, 3ªed, cap. 41, São Paulo, IBRACON, 2017.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.
- [6] NEVILLE, A., BROOKS, J.J., “Propriedades dos agregados”, In: Cremonesi, R. A., *Properties of Concrete*, 5th ed., cap. 3, Porto Alegre, Bookman, 2016.
- [7] JALALI, S. *et al.*, “Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): an overview”, *Construction and Building Materials*, v. 30, p.714-724, 2012.
- [8] MANSUR, A.A.P. *et al.*, “Physico-chemical characterization of EVA modified Mortar and porcelain tiles interfaces”, *Cement and Concrete Research*, v. 39, p.1199-1208, 2009.
- [9] ISMAIL, Z.Z.; AL-HASHMI, E.A., “Reuse of waste iron as a partial replacement of sand in concrete”, *Journal Waste Management*, v. 28, p.2048-2053, 2008.
- [10] MESSAN, A. *et al.*, “Free and restrained early-age shrinkage of mortar: Influence of glass fiber, cellulose ether and EVA (ethylene-vinyl acetate)”, *Cement and Concrete Composites*, v. 33, p.402-410, 2011.
- [11] ABDULMATIN, A., TANGCHIRAPAT, W., JATURAPITAKKUL, C., “Environmentally friendly interlocking concrete paving block containing new cementing material and recycled concrete aggregate”, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, v.23, p. 1467-1484, 2017.
- [12] ROCHA *et al.*, “Desenvolvimento de um eco-compósito usando rejeitos de E.V.A para construção de placas de divisórias”, *Revista Engenharia em Ação UniToledo*, v. 01, p.184-199, 2016.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Manual de Pavimento Intertravado. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/solucoesparacidades/colaborativo/download.php?set=passeio_publico>. Acessado em dezembro de 2018.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.
- [15] FERNANDES, I., *Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade*, Editora Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais, Ribeirão Preto, SP, Brasil, 2013.

- [16] BITTENCORT, S. F., *Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e areia de fundição*, Dissertação de Mestrado em Tecnologia e Inovação, Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil, 2012.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.
- [18] HENGL, H.L. *et al.*, “Horizontal deformation resistance of paving block superstructures - Influence of paving block type, laying pattern, and joint behavior”, *Internacional Journal of Pavement Research and Technology*, v.19, n.7, p. 1575-1594, 2018.
- [19] NEJAD, F.M; SHADRAVAN, M.R., “A Study on Behavior of Block Pavement using 3d Finite Element Method”, *International Conference on Concrete Block Paving*, 8th, California, USA, 2006.
- [20] SULTAN, S.A., “Evaluating the Performance of Sustainable Interlocking Concrete Blocks Manufactured from Recycled Concrete Aggregate”, *Journal of Engineering and Sustainable Development*, v. 3, n.2, 2017.
- [21] RACHMAT, M. *et al.*, “Performance of concrete block pavement on sloped road section”, *International Journal of Pavement Engineering*, v.6, n.2, 2007.
- [22] PENDHARI, S. S. *et al.* Application of Polymer Composites in Civil Construction: a general review. *Composite Structures*, v. 84, n. 2, p. 114-124, 2008.
- [23] FIORITI, C. F. *et al.*, “Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus”, *Acta Scientiarum Technology*, v. 32, n. 3, 2010.
- [24] FIORITI, C. F., *Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneu como material alternativo*, Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, SP, Brasil, 2007.

ORCID

Francisco Roger Carneiro Ribeiro	https://orcid.org/0000-0001-8790-3023
Kelvy Maria de Vasconcelos Moreira	https://orcid.org/0000-0002-1295-9898
Regina Célia Espinosa Modolo	http://orcid.org/0000-0001-7088-2502
Almircélio Sampaio Marques	https://orcid.org/0000-0003-3045-8656