

Valorização de resíduos de EVA como solução sustentável e econômica na produção de pavers ecológicos

Maria Isabel Brasileiro Rodrigues^{a*}, Sabrina Gomes Arruda^a, Larissa Kerolaine Maia Gomes^a, André Wesley Barbosa Rodrigues^a, Laédna Souto Neiva^a

^aUniversidade Federal do Cariri, Avenida Tenente Raimundo Rocha 1639, Cidade Universitária, 63048-080, Juazeiro do Norte, Ceará

*e-mail: isabel.rodrigues@ufca.edu.br

Resumo

O etileno acetato de vinila (EVA) é um material plástico amplamente utilizado na fabricação de calçados, tapetes e diversos produtos de grande interesse comercial, caracterizado por sua flexibilidade e resistência. No entanto, devido à sua baixa biodegradabilidade, o EVA constitui um dos principais resíduos industriais encontrados no meio ambiente, gerando preocupações ambientais significativas. Com base nesse contexto, este trabalho investigou a possibilidade de valorização a partir do reaproveitamento dos resíduos de EVA para a produção de blocos intertravados de concreto leve, conhecidos como *pavers* ecológicos, como alternativa ao piso intertravado convencional. O método consistiu na substituição total dos agregados minerais tradicionais, como, brita e areia, por EVA com granulometrias diferentes. Os resultados indicaram que os blocos produzidos não alcançaram a resistência mínima exigida para suportar tráfego veicular, porém apresentaram desempenho compatível com aplicações destinadas à circulação de pedestres, sobretudo quando incorporado EVA de granulometria fina. Nessa configuração, os *pavers* ecológicos demonstraram resistências à compressão e a abrasão de 3,15 MPa e 21,6 mm, respectivamente, valores que estão dentro das especificações técnicas aceitas para tráfego de pedestres bem como apresentaram vantagens complementares como a agregação de valor aos resíduos de EVA descartados em grandes volumes no meio ambiente e, paralelamente, beneficiamento às comunidades locais que trabalham com a coleta de resíduos sólidos. Assim, a pesquisa reforça o viés sustentável do objetivo proposto, alinhando-se à mitigação de impactos ambientais e ao fortalecimento de práticas de economia circular.

Palavras-chave: EVA, pavers ecológicos, concreto leve, economia circular.

1. INTRODUÇÃO

Segundo informações publicadas pela IPESA [1], a indústria do plástico tem estado no centro de intensos debates devido ao seu crescente impacto na crise ambiental global. Esta afirmação é embasada por um estudo recente da organização norte-americana Center for Climate Integrity que revelou dados preocupantes: o referido segmento industrial teria ocultado, por décadas, as limitações reais da reciclagem do plástico, ao mesmo tempo em que incentivava sua produção e consumo em larga escala [2]. Porém, o processo de crescimento tecnológico, por si só, faz com que o mundo experimente um aumento desenfreado na produção de resíduos sólidos, principalmente no setor da indústria de produção de plásticos, destacando-se, neste cenário, a indústria de calçados, na qual o copolímero Etileno Acetato de Vinila (EVA) representa grande parte dos resíduos gerados, passando a ser considerado como um grave problema ambiental devido a sua baixa biodegradabilidade [3].

O segmento industrial calçadista processa significativas quantidades de EVA, o qual tem sido considerado um setor fabril de grande impacto ambiental, principalmente por causa do volume de sua produção. De acordo com os dados divulgados pela Associação Brasileira das Indústrias de Calçados [4], a produção total no ano de 2024 atingiu 896,8 milhões de pares de calçados. Esse volume de produção faz com que a indústria de produção de calçados e componentes seja um setor industrial com relevante contribuição positiva para a economia, em contrapartida com elevada quantidade de resíduos gerados [5].

O EVA processado pela indústria calçadista é geralmente utilizado para a produção de solados, palmilhas e entressolas de calçados. Nesse processo produtivo, há uma perda estimada na ordem de 18% e, como consequência, há um descarte estimado em 5.500 toneladas anuais no Brasil, sendo um número que tende a aumentar, de acordo com a evolução tecnológica dos processos industriais e com o aumento exponencial da produção [5,6]. Um agravante dos resíduos de EVA é que não são biodegradáveis, são polímeros termofixos ou termorrígidos que não podem ser reprocessados e causam acúmulos em aterros sanitários, fazendo com que o seu armazenamento ou deposição a céu aberto provoque problemas que vão desde a poluição visual até a possibilidade de propagação de insetos e de combustão desse material. A utilização de materiais reciclados, como resíduos plásticos, para substituir os agregados inorgânicos naturais do concreto tem sido bastante pesquisado conforme foi revelado nos estudos de Andrade e Medeiros [7] e de Mohammadinia et al [8], nos quais foi revelado a viabilidade de substituição de até 50% de agregados naturais (brita e areia) por uma combinação de plásticos reciclados e resíduos de vidro na construção de blocos de concreto intertravados para tráfego de pedestre.

O concreto é um material da construção civil amplamente utilizado em todo o mundo devido à grande disponibilidade de suas matérias-primas e seu baixo custo [1]. Neste cenário, os pisos formados por blocos intertravados de concreto também conhecidos como *pavers*, pisos de concreto, pisos drenantes ou bloquetes, são bastante empregados em locais públicos, como praças, ciclovias, estacionamentos, áreas externas, playgrounds, ambientes industriais, calçadas e até mesmo em ruas de baixo fluxo de tráfego, os quais oferecem uma vida útil longa, baixa necessidade de manutenção e aspecto estético valorizado. Estes blocos de concreto intertravados tem causado uma verdadeira revolução, já que tem potencial para substituir o antigo paralelepípedo [9-11].

Corbu, Bompá e Szilagyi [10] descobriram que uma combinação de agregados reciclados de resíduos de plástico e resíduos de vidro podem substituir totalmente os agregados tradicionais em peças pré-moldadas de concreto. Além da redução do impacto ambiental, as principais vantagens do concreto leve, à base de resíduos poliméricos, são: redução mínima de 15% do peso da peça de concreto e menor capacidade de cisalhamento por punção que, consequentemente, reduz a concentração de ranhuras superficiais no concreto [11]. Pesquisas que abordam questões que relacionam as preocupações ambientais associadas com práticas construtivas sustentáveis têm ganhado força, embora ainda sejam escassas na literatura. Em essência, o desenvolvimento do concreto leve a partir da reutilização de resíduos poliméricos representa uma mudança de paradigma em direção a uma infraestrutura resiliente e de baixo carbono consolidando sua presença como um novo material na evolução das urbanizações ambientalmente amigáveis para as próximas gerações [12, 13].

Em alinhamento com este contexto, o presente trabalho se propôs a investigar a possibilidade de substituição do concreto tradicional por concreto leve, o qual substitui completamente os agregados graúdos e miúdos por EVA granulado, para a produção de blocos intertravados de concreto, tipo *paver*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1. Resíduos de EVA

Os resíduos de EVA foram fornecidos pela empresa EVA Brasil, localizada no município de Juazeiro do Norte. A empresa disponibilizou esses resíduos em duas granulometrias distintas, denominadas neste trabalho de EVA graúdo, formado por grânulos de tamanho médio de 11,2 mm e densidade aproximada de 0,29 g/cm³, e outra denominada de EVA fino, formado por grânulos com tamanho médio de 0,42 mm e com densidade aproximada de 0,17 g/cm³. Os tamanhos médios dos grânulos das amostras dos resíduos de EVA foram determinados pelo software ImageJ. Na Figura 1 pode-se observar as duas granulometrias das amostras de resíduos de EVA. Na Figura 1(a) está ilustrada a amostra do resíduo de EVA fino e na Figura 1(b) a amostra do resíduo de EVA graúdo.



Figura 1. Resíduos de EVA utilizados neste estudo. (a) Resíduo de EVA fino e (b) Resíduo de EVA graúdo

2.1.2. Cimento tipo Portland

O cimento utilizado para a produção experimental dos *pavers* ecológicos foi o cimento CP II E-32-RS, da marca Mizu.

2.2. Métodos

2.2.1. Caracterização química e térmica dos resíduos de EVA

A fim de se conhecer a composição química do resíduo de EVA foi utilizada a técnica de espectrometria de energia dispersiva por fluorescência de raios X (FRX). A referida análise foi realizada em um espectrômetro da marca Panalytical modelo Série Epsilon 1. As amostras foram analisadas em forma de grânulos tal como ilustradas na Figura 1 (a) e (b) dentro do porta-amostra próprio do espectrômetro.

2.2.2. Traço da massa do concreto leve

Os traços dos *pavers* cimento-EVA foram estabelecidos após algumas tentativas de experimentos, na proporção 1:1 (cimento + resíduo de EVA). Dado que a diferença entre os pesos unitários dos materiais componentes da massa deste concreto leve ficou muito divergente entre si, a classificação das proporções dos traços de massa ficou estabelecida em volume. Desta maneira, foi realizada a pesagem dos materiais convertendo o volume dos componentes da massa em peso, para a posterior realização da mistura destes materiais. A mistura dos materiais foi realizada de forma manual, sem o uso de betoneira. A utilização de betoneira não foi adotada nesta etapa da pesquisa por duas razões principais: primeiramente, por se tratar de um estudo inicial, a produção dos *pavers* foi realizada em escala reduzida, com foco na avaliação preliminar de propriedades e no delineamento dos parâmetros de formulação. Devido a quantidade de *pavers* produzidos, esses em etapas de dois em dois, foi utilizado uma quantidade de água de 900 mL, para cada etapa.

Após a obtenção das massas do concreto leve, formuladas com cimento e resíduos de EVA, a etapa seguinte consistiu na moldagem dos blocos intertravados, denominados neste trabalho de *pavers* ecológicos.

2.2.3. Confeção dos *pavers* ecológicos

A moldagem dos *pavers* ecológicos foi realizada utilizando-se moldes no formato da peça desejada (*paver* de 16 faces), com dimensões de 24 cm de comprimento, 10 cm de largura e 8 cm de altura, cujo design pode ser visualizado na Figura 2. Para facilitar a desmoldagem foi utilizado desmoldante a base de silicone, sendo esta realizada após 24 h da moldagem.

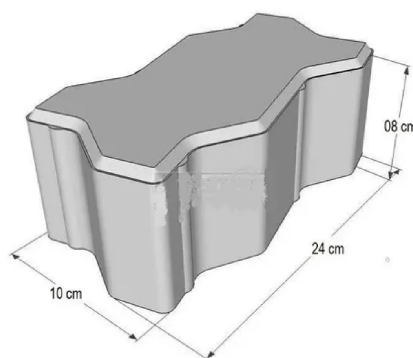


Figura 2. Design e dimensões dos *pavers* confeccionados

Foram confeccionados oito *pavers* de concreto leve, incorporando resíduos de EVA de granulometria graúda e oito *pavers* com resíduos de EVA de granulometria fina, como agregado na mistura. Dos oito *pavers* com EVA de granulometria grossa, dois se romperam antes da realização das caracterizações físicas e mecânicas. Para fins de comparação entre as propriedades físico-mecânicas dos materiais desenvolvidos, foi realizada uma comparação com *pavers* produzidos e analisados por Lima [14], que fazem parte desse projeto, porém em etapas anteriores. Todos os blocos produzidos neste trabalho passaram pelo período de cura de 28 dias, conforme exigido pela NBR 9781 [9], na qual as propriedades exigidas variam conforme o tempo de cura do concreto.

2.2.4. Caracterização das propriedades físicas e mecânicas dos *pavers* ecológicos

Para análise dimensional dos *pavers* ecológicos, assim como determinação da absorção aparente e da resistência à compressão, utilizou-se da norma ABNT NBR 9781 [9], com os pontos de medida estabelecidos de acordo com a imagem ilustrada na Figura 2. Para a aferição das medidas de comprimento, largura e espessura dos *pavers* foi utilizado um paquímetro com resolução de 0,05 mm.

Conforme disposto na norma NBR 9781 [9], a absorção de água é descrita como sendo o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à massa no estado seco. Desta maneira, o procedimento experimental para determinação do percentual de absorção de água foi realizado seguindo os passos descritos a seguir: os *pavers* ecológicos foram imersos em água à temperatura de $23 \pm 5^\circ\text{C}$, por 24 h, seguido de uma pesagem; após a aferição da massa úmida, os *pavers* foram colocados em uma estufa sob a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, por 24h e, novamente, pesados; o valor percentual da absorção de água de cada *paver*, individualmente, e, em seguida, o valor médio destes foi calculado utilizando-se a equação apresentada na NBR 9781 [9].

De acordo com a norma NBR 9781 [9], o valor da resistência à compressão dos blocos intertravados de concreto convencional considera como parâmetro a resistência à compressão estimada, determinando a resistência de um lote de peças. Desta maneira, para realização do ensaio de compressão foram seguidos os seguintes passos: capeamento das superfícies superiores dos *pavers*, com saturação a partir da imersão em água à temperatura de $23 \pm 5^\circ\text{C}$, por 24 h; o ensaio mecânico foi realizado individualmente em cada *paver* utilizando-se uma máquina universal da marca Impac, modelo IP90ME; o resultado apresentado foi dado em kgf, valor este que foi convertido para a unidade Newton (N), expressando o resultado de acordo com a norma, expressa em Megapascal (MPa).

O valor da tensão suportada pelo *paver*, em MPa, foi obtido dividindo-se a carga de ruptura do bloco, expressa em Newton (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm^2), multiplicando o valor pelo fator p , conforme a altura da peça.

Como o resultado obtido no ensaio mecânico de compressão foi dado na unidade kgf, foi necessário realizar a conversão deste valor referente à carga de ruptura do *paver* ensaiado, para a unidade de Newton. A altura dos *pavers* é de, mais ou menos, 80 mm (8 cm) e o fator multiplicador utilizado, em conformidade com a norma de referência [9], foi de $p = 1,00$.

Como o concreto leve formulado com os resíduos de EVA gráudo não apresentou resultado aceito pelas especificações do ensaio de resistência à compressão e de absorção de água, apenas a formulação de massa de concreto leve formulada a partir da incorporação dos resíduos do EVA fino foi considerada para a confecção de blocos tipo *paver* destinados ao ensaio mecânico de resistência à abrasão.

Desta maneira, para a realização deste ensaio mecânico, segundo a NBR 9781 [9], foram seguidos os seguintes passos: confecção de seis (6) *pavers* ecológicos a partir da massa de concreto leve incorporada com resíduos de EVA fino cuja formulação foi especificada no item 2.2.2 e com geometria ilustrada na Figura 2; após o tempo de cura tradicional do concreto, os *pavers* ecológicos confeccionados foram limpos com flanelas a fim de remover partículas soltas aderidas aos blocos e, assim, foram destinados para a realização do ensaio; o ensaio foi realizado em um abrasímetro, da marca Contenco, equipado com disco abrasivo de aço com dimensões de 200 mm × 70 mm posicionado horizontalmente, programado para ação rotativa e constantemente alimentado por um abrasivo seco em fluxo uniforme, conforme requisitado na NBR 9781 [9].

O abrasivo seco utilizado para alimentar a ação de desgaste durante a execução do ensaio foi areia silicosa de granulometria grossa. Desta forma, cada um dos *pavers* ecológicos foi ensaiado individualmente por meio de fixação sobre o disco do abrasímetro. Seguindo as recomendações da NBR 9781 [9], foram empregadas as seguintes condições para realização do ensaio: 75 ciclos completos de rotações em, aproximadamente, 60 segundos.

Após o término das rotações do disco abrasivo, cada *paver* ecológico ensaiado foi removido da máquina para aferição da profundidade da cavidade desgastada pela ação abrasiva. A aferição foi realizada com paquímetro digital em dois eixos perpendiculares à superfície desgastada. O valor considerado da profundidade foi a média das duas medições coletadas em cada *paver* ensaiado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Composição química dos resíduos de EVA

A Tabela 1 apresenta o resultado da caracterização química do resíduo de EVA.

Tabela 1. Determinação da composição química do resíduo de EVA (% em massa ou em ppm, conforme indicado)

Ca	S (ppm)	Cl	Si	Ti	V (ppm)	Cr (ppm)	Fe	Cu (ppm)	Zn
27,0	287,6	0,11	0,69	5,62	271,9	17,8	0,10	120,5	3,2

Os dados referentes à composição química estão em conformidade com as composições consideradas padrão ou convencional para o copolímero EVA, segundo informações apresentadas nos trabalhos de Yuan et al [15] e Lv et al [16]. Assim, segundo os dados da Tabela 1, pode-se perceber que o elemento detectado em maior concentração foi o cálcio, cuja origem certamente se deve ao material de carga empregado no processamento do EVA para dar volume à estrutura deste tipo de material. Substâncias utilizadas como carga, em geral, são a base de óxido de cálcio ou de carbonato de cálcio. O segundo elemento detectado em maior concentração foi o titânio, cuja origem pode ser atribuída ao uso de pigmento branco ou opacificante. Os demais elementos detectados podem ter suas origens atribuídas a diferentes fontes, sendo: aditivos estabilizantes de características desejadas, pigmentos específicos para conferir coloração, contaminação cruzada dos próprios processos de fabricação ou mesmo ruídos analíticos [15-16].

3.2. Medidas dimensionais dos *pavers* produzidos

Visto que a confecção dos *pavers* ecológicos se deu a partir da utilização de um mesmo molde, a análise comparativa das dimensões físicas dos blocos produzidos revelou resultados em um nível satisfatório de uniformidade em relação ao exigido pela norma técnica utilizada como referência a NBR 9781 [9], com discreta oscilação de valores em relação à espessura dos blocos produzidos a partir da massa formulada com o EVA fino, conforme pode ser observado nos dados apresentados nas Tabelas 2 e 3.

As tolerâncias dimensionais especificadas na norma supracitada indicam que, para todos os blocos intertravados de concreto, a variação deve estar dentro do intervalo de ± 3 mm. Desta maneira, os resultados coletados nesta análise mostraram nas Tabelas 2 e 3 uma variação inferior ao intervalo estipulado em todas as dimensões analisadas.

Tabela 2. Análise dimensional dos *pavers* ecológicos utilizando o resíduo de EVA graúdo

Amostra (EVA graúdo)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
1	240,50	110,20	80,10
2	240,30	110,50	80,15
3	240,15	110,70	80,10
4	240,10	110,45	80,25
5	240,25	110,10	80,20
6	240,10	110,50	80,15
Média	240,23 $\pm$ 0,14	110,41 $\pm$ 0,2	80,16 $\pm$ 0,05

Tabela 3. Análise dimensional dos *pavers* ecológicos utilizando o resíduo de EVA fino

Amostra (EVA Fino)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
1	239,97	109,15	75,9
2	239,4	109,7	74,14
3	239,28	108,9	75,88
4	239,44	110,02	73,9
5	240,01	110,48	69,82
6	240,77	110,58	69,42
7	240,06	109,08	69,72
8	239,2	110,33	70,55
Média	239,77 $\pm$ 0,5	109,78 $\pm$ 0,2	72,42 $\pm$ 0,05

3.3. Absorção de água

É sabido que a propriedade física da absorção de água nos blocos de concreto reflete, indiretamente, o volume de vazios presentes na estrutura do mesmo, sendo que quanto maior a quantidade de vazios internos, o esperado é que a resistência mecânica da peça seja menor [6-8]. Por isso, a NBR 9781 [9] exige para a produção de blocos intertravados de concreto convencionais um valor percentual de absorção de água com valor médio do lote (com, no mínimo, 3 amostras) inferior a 6% e valor individual dos blocos inferior a 7%.

Na Figura 3 pode-se observar os valores obtidos para a propriedade da absorção de água dos *pavers* ecológicos.

Os *pavers* ecológicos produzidos com o resíduo de EVA graúdo (grosseiro) apresentaram maior absorção de água em comparação com aqueles feitos utilizando o resíduo de EVA fino. Ambos os tipos utilizam o EVA como um agregado alternativo aos materiais inorgânicos (brita e areia) do concreto convencional. Em comparação com a massa formulada com o EVA graúdo, a massa formulada com o EVA fino proporcionou a confecção de *pavers* com estrutura mais compactada e, assim, com menor volume de vazios internos, isso pode ter se refletido em uma menor capacidade de absorção de água nestes blocos. Todavia, ambas as massas formuladas levaram à confecção de *pavers* ecológicos que ficaram fora dos valores exigidos pela norma.

De acordo com Sant'Helena [17] e Scobar [18], é possível observar que *pavers* confeccionados a partir de concretos leves são mais suscetíveis a absorver água e apresentam maiores porcentagens de índices de vazios microestruturais quando comparados ao concreto convencional e isto pode ser explicado devido às porosidades causadas pela presença dos agregados leves, em geral de natureza orgânica, que proporcionam menor adesão com a fase matriz cimentícia. As fases constituintes do concreto convencional, por serem todas de natureza inorgânica, apresentam, entre si, maior adesão por questões de atrações eletrostáticas.

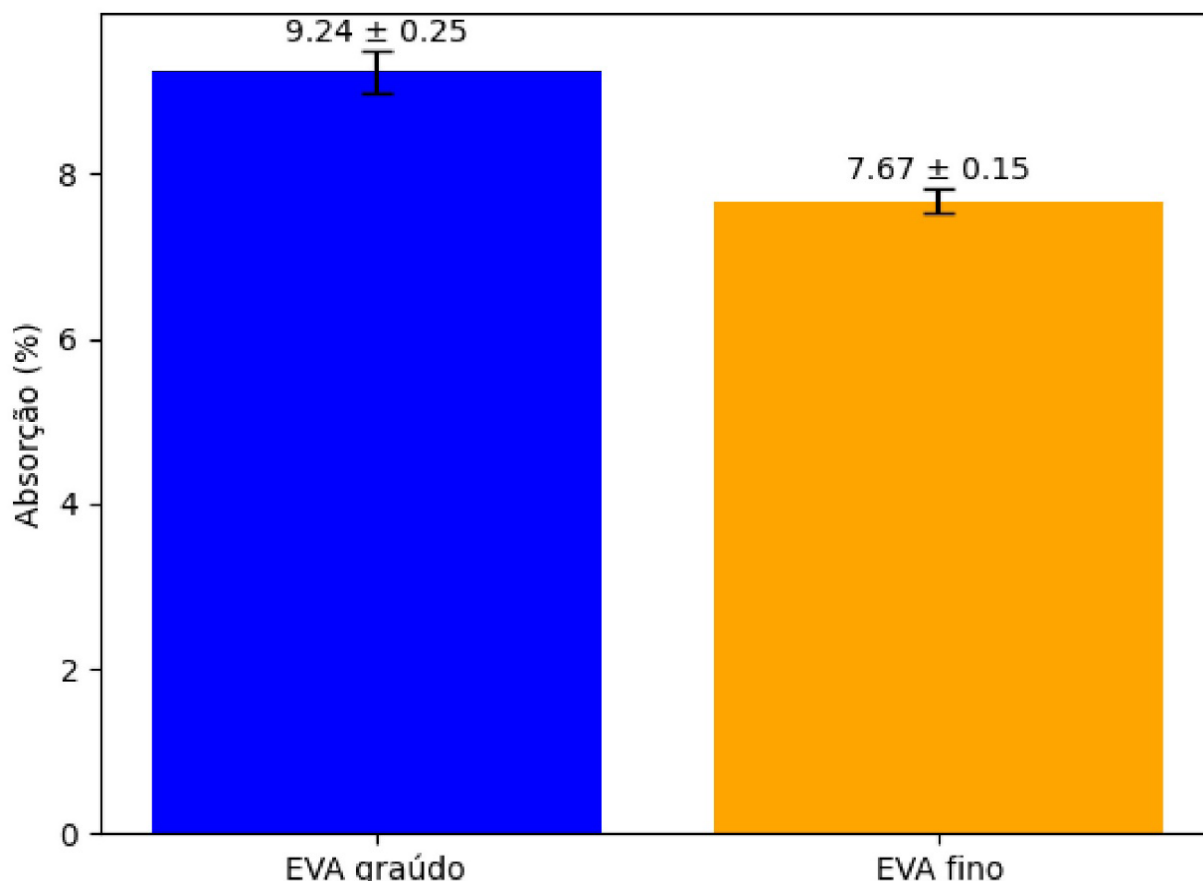


Figura 3. Valores percentuais da absorção de água nos *pavers* ecológicos

Por outro lado, apesar dos valores referentes à capacidade de absorção de água dos *pavers* ecológicos estarem acima do mínimo exigido pela norma, estes resultados podem ser vistos como positivos se for levado em consideração que, quanto maior a capacidade de absorção de água maior poderá ser a velocidade de drenagem, viabilizando assim uma potencial solução para o problema da drenagem urbana quando esta for a questão a ser mitigada em uma determinada aplicação.

3.4. Resistência mecânica à compressão

A determinação da resistência mecânica à compressão dos *pavers* ecológicos foi realizada em conformidade com as recomendações técnicas da norma NBR 9781 [9], a qual estabelece como medida padrão a resistência à compressão estimada, que é uma expectativa ou projeção teórica desejada para representar a resistência à compressão de um lote de peças de concreto.

Os valores médios da resistência à compressão de cada lote de *pavers* investigado neste trabalho estão apresentados graficamente na Figura 4.

A partir de uma análise do gráfico apresentado na Figura 4 fica evidente que os valores obtidos como resistência à compressão dos *pavers* ecológicos não atendem ao mínimo exigido pela norma NBR 9781 [9] que é de 35 MPa, para vias aptas ao tráfego de veículos. Segundo Ribeiro et al [19] e Vaccaro et al [20] quanto maior a quantidade de agregados, adicionada à massa do concreto, a tendência é de que ocorra uma diminuição na resistência mecânica dos blocos confeccionados, em que certamente esta relação inversa ocorre em virtude da redução da área da fase matriz deste material compósito, a qual é responsável por receber e distribuir a carga mecânica externa solicitante da estrutura.

Convém destacar a diferença nos valores médios referentes a resistência à compressão dos *pavers* ecológicos, fabricados com resíduos de EVA fino quando comparado com os *pavers* produzidos a partir da utilização do EVA graúdo como agregado, em que o primeiro se mostrou com uma média maior que o último. Essa constatação pode ser explicada como uma função de um maior preenchimento de poros pelo EVA fino, com isso, pode ter ocorrido melhor distribuição da carga aplicada durante

o ensaio mecânico, visto que o EVA fino pode ter sido um dificultador da dissipação de energia, impedindo a ruptura antecipada dos *pavers*. Ao se observar o valor médio da resistência à compressão apresentado pelos *pavers* ecológicos, produzidos com o resíduo de EVA graúdo, percebe-se um valor aquém em relação ao primeiro; fato este que pode ter sido ocasionado pela maior quantidade de poros na estrutura destes *pavers*, inclusive, esta informação é corroborada pelo maior percentual de absorção de água apresentado por este lote de *pavers* ecológicos, conforme fora observado no perfil gráfico apresentado na Figura 3.

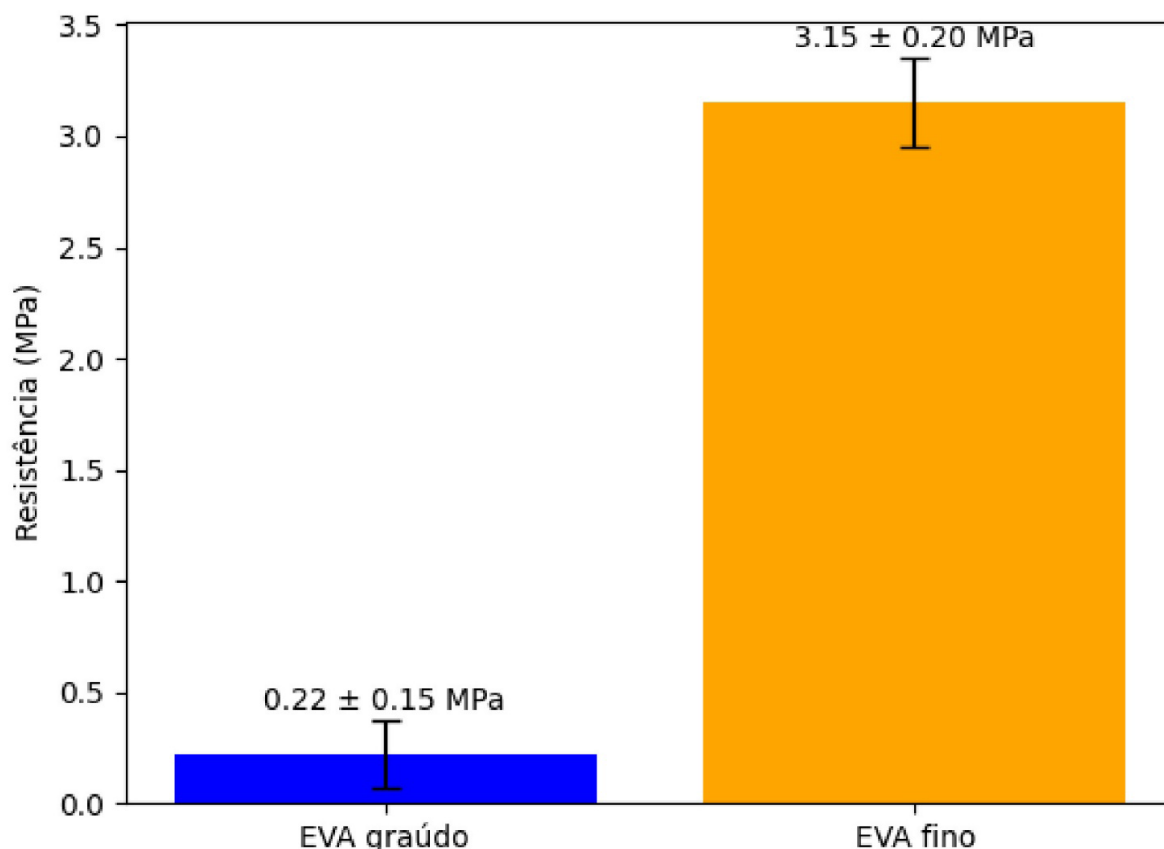


Figura 4. Valores médios da resistência à compressão (MPa) dos *pavers* ecológicos

Desta maneira, apesar de não atender à exigência da resistência mínima especificada pela norma NBR 9781 [9] para pavimentos aptos para tráfego de veículos, uma alternativa viável para aplicação segura dos *pavers* ecológicos seria sua utilização em pisos exclusivamente projetados para tráfego de pedestres. De acordo com a norma ABNT NBR 16416-2015 [21], sobre pavimentos permeáveis de concreto, a resistência à compressão estimada para tráfego exclusivo de pedestres é de 1,0 MPa, valor inferior aos apresentados pelos *pavers* ecológicos produzidos neste trabalho, a partir do concreto leve formulado com cimento e resíduos de EVA fino, em substituição ao concreto convencional empregado em obras da construção civil.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados do ensaio mecânico para determinação da resistência à abrasão coletados em conformidade com a NBR 9781 [9]. Conforme pode ser observado, a profundidade média de todos os seis *pavers* ecológicos ensaiados se mostraram abaixo de 23 mm. De acordo com a NBR 9781 cavidades de desgaste por abrasão ≤ 23 mm estão aprovadas para tráfego de pedestres; ainda segundo a referida norma, isso inclui calçadas residenciais, pavimentos de áreas internas de edificações e pavimentos de menor exigência estética que não sejam projetados para tráfego de veículos [9]. Vale ainda destacar que nos resultados apresentados na Tabela 4 o valor médio da profundidade desgastada no conjunto total dos seis *pavers* ecológicos ensaiados foi de 21,6 mm. O desvio padrão de 0,93 mm sinaliza baixa dispersão dos resultados, sugerindo boa uniformidade entre os *pavers* ecológicos confeccionados.

Tabela 4. Valor médio da profundidade da cavidade desgastada por abrasão em blocos de concreto tipo *paver* durante ensaio de resistência à abrasão, NBR 9781

Pavers Ensaçados	Profundidade (mm)
Paver 1	21,7
Paver 2	22,1
Paver 3	22,8
Paver 4	20,4
Paver 5	21,6
Paver 6	20,8
Valor médio da profundidade da cavidade desgastada do conjunto de pavers ensaiados	21,6
Desvio padrão do conjunto	0,93

4. CONCLUSÃO

Este trabalho experimental estabeleceu como objetivo investigar a possibilidade de reaproveitamento dos resíduos de EVA gerados por indústrias do polo calçadista da cidade de Juazeiro do Norte, CE, descartados sem critérios no meio ambiente, como agregados alternativos para a formulação de massa de concreto leve em substituição ao concreto tradicional, para a produção de blocos intertravados de concreto, tipo *paver*. De acordo com os resultados coletados neste trabalho, ficou concluído que foi possível produzir blocos intertravados de concreto leve, tipo *paver*, a partir da utilização dos resíduos industriais de EVA. Todavia, foram detectadas limitações no tocante à resistência à compressão caso a aplicação considerada seja para vias destinada a tráfego de veículos de acordo com a norma técnica ABNT NBR 9781. Por outro lado, os *pavers* ecológicos, produzidos neste trabalho, com os resíduos de EVA fino, estão aprovados, segundo a norma ABNT 16416-2015, para aplicação em pavimentos exclusivamente projetados para o tráfego de pedestres pois apresentaram valores médios de resistência à compressão em torno de 3,15 MPa, valor este que está acima do mínimo exigido por esta última norma que é 1 MPa. O resultado do ensaio mecânico de resistência à abrasão ratifica a aprovação da possibilidade de aplicação destes *pavers* ecológicos para pavimentos projetados para pedestres uma vez que o valor médio da profundidade da cavidade desgastada neste ensaio foi de 21,6 mm e, segundo a NBR 9781, cavidades de desgaste por abrasão ≤ 23 mm estão aptas para suportar tráfego de pedestres.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Cariri, à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), ao CNPq pelos suportes financeiros destinados à realização deste trabalho de pesquisa bem como à indústria EVA Brasil pelo fornecimento dos resíduos a base de EVA.

REFERÊNCIAS

[1] IPESA 2024. A Indústria do plástico na crise ambiental: mais um crime revelado. <http://ipesa.org.br/a-industria-do-plastico-na-crise-ambiental-mais-um-crime-revelado>

[2] Allen D, Spoelman N, Linsley C, Johl A 2024. The fraud of plastic recycling. Center for Climate Integrity. <http://plastics@climateintegrity.org>

[3] Bianchi I, Forcellese A, Simoncini M, Vita A 2023. Mechanical characterization and sustainability assessment of recycled EVA for footwear. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 126, 3149–3160.

[4] Abicalçados 2024. Relatório anual. <http://abicalcados.com.br>

[5] Oliveira M G, Virgolino M, Gomes A C O, Soares B G, Moreira V X 2004. Caracterização das propriedades reológicas e dinâmicas de composições de borracha natural com resíduo de EVA. Polímeros: Ciência e Tecnologia 14, 5, 301-306.

[6] Garlet G 1998. Aproveitamento de resíduos de EVA (ethylene viny acetate) como agregado para concreto leve na construção civil. Porto Alegre: Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[7] Andrade L A S, Medeiros R 2012. Reaproveitamento de rejeitos de EVA para a produção de placas utilizáveis na construção civil. Linkania Master 3, 3, 1-13.

[8] Mohammadinia A, Wong Y C, Arulrajah A, Horpibulsuk S 2019. Strength evaluation of utilizing recycled plastic waste and recycled crushed glass in concrete footpaths. Constr. Build. Mater 197, 489–496. <https://www.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.192>

[9] NBR 9781 2013. Peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

-
- [10] Corbu O, Bompá D V, Szilagyi H 2021. Eco-efficient cementitious composites with large amounts of waste glass and plastic. *Proc.Inst. Civ. Eng. Eng. Sustain.* 40, 1–11. <https://www.doi.org/10.1680/jensu.20.00048>
- [11] Abdel-Jader M, Shatarat N, Katkhuda H, Al-najar M 2024. Punching shear capacity of polystyrene lightweight concrete two-way slabs. *Eng. Sci.* 31, 1-9.
- [12] Usmani M U, Muthusamy K 2023. Potential of waste material as coarse aggregates for lightweight concrete production: a sustainable approach. *Construction* 3, 1, 87-114.
- [13] Behera D, Liu K-Y, Rachman F, Worku A M 2025. Innovations and applications in lightweight concrete: review of current practices and future directions. *Buildings* 15, 2113-2120.
- [14] Lima, João Artur Pinheiro 2022. Utilização de resíduos de etileno acetato de vinila para produção de blocos intertravados de concreto leve empregados em pavimentação. Juazeiro do Norte: Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Cariri.
- [15] Yuan H, Ding N, He J, Ge S, Peng X, Yue X, Ghaffar M, Liu G, Hua Z, Wu, J 2025. Research on the influence of molecular chemical compositions on physical properties of ethylene-vinyl acetate copolymer emulsions. *Journal of Polymer Science* 63, 4, 2944-2950.
- [16] Lv W, Hu L, Wan S, He X 2025. Study of ethylene–vinyl acetate copolymer/magnesium hydroxide flame-retardant composites with high mechanical properties. *J App Pol Sci* 142, 28, 1-11.
- [17] Sant' Helena M 2009. Estudo para aplicação de poliestireno expandido (EPS) em concretos e argamassas. Criciúma: Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense.
- [18] Scobar R L 2016. Concreto leve estrutural: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida. Campo Mourão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [19] Ribeiro F R C, Moreira K M V, Marques A S, Modolo R C E 2020. Incorporação de resíduos de etileno acetato de vinila na produção de blocos intertravados de concreto para pavimentação. *Matéria* 25, 4. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1155>
- [20] Vaccaro P A, Galvín A P, Ayuso J, Barbudo A, López-Uceda A 2021. Mechanical performance of concrete made with the addition of recycled macro plastic fibres. *App Sci* 11, 9862.
- [21] NBR 16416 2015. Pavimentos permeáveis de concreto: requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.