



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO
ON-LINE

02 a 04
de dezembro 2020

Aproveitamento de Resíduos de Poliestireno Expandido (EPS) como Matéria - Prima na Fabricação de Pavers para a Pavimentação Intertravados

Camila Mariane Korchak Bisotto

DET – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

Rubyá Vieira de Mello Campos

DET - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

Aline Lisot

DEC - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

Nabi Assad Filho

DEP - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ

Resumo: A busca por inovação de materiais se torna cada vez mais presente, com o intuito de desenvolver produtos, sem comprometer o meio ambiente e os recursos naturais. Assim os avanços nas pesquisas sobre reciclagem e reaproveitamento de resíduos vem crescendo, para contribuir na redução do descarte de resíduos. A pesquisa desenvolvida, mostra uma proposta de desenvolvimento de pavers para pavimentação com a incorporação de resíduos de poliestireno expandido (EPS), também conhecido como isopor. Teve como objetivo, desenvolver uma inovação de um produto e verificar a influência da incorporação de resíduos para obtenção de um produto mais sustentável, que apresente características físicas que permitam a sua utilização na construção civil. Realizou-se uma pesquisa bibliográfica e o desenvolvimento do material. Posteriormente o material foi submetido a ensaios de caracterização física, em que foram realizados ensaios para avaliação dimensional, absorção de água, densidade e envelhecimento. Os resultados da pesquisa até o momento mostraram-se satisfatórios, mas ainda são necessários mais alguns ensaios para verificar a viabilidade de utilização do resíduo como matéria-prima para produzir pavers de concreto para utilização na construção civil. Espera-se, que o paver com o Poliestireno Expandido (EPS) possa se destacar no mercado, como um produto acessível, com relação ao custo e que contribua para o meio ambiente. Que a pesquisa possa converter importante fonte de despesa em fonte de lucro com relação aos resíduos e colabore com a sustentabilidade.

Palavras-chave: Paver, Poliestireno Expandido, desenvolvimento de produto.

Title of the article in English

Abstract: The search for material innovation is increasingly present, with the aim of developing products, without compromising the environment and natural resources. Thus, advances in research of recycling and reuse of waste have been growing, contributing to the reduction of waste disposal. The developed research shows a proposal for the development of pavers for paving with the

incorporation of expanded polystyrene residues, also known as Styrofoam. It aimed to develop a product innovation and verify the influence of the incorporation of waste to obtain a more sustainable product, which has physical characteristics that allow its use in civil construction. Bibliographical research and material development were carried out. Subsequently, the material was subjected to physical characterization tests, in which tests were carried out for dimensional evaluation, water absorption, density and aging. The results of the research so far have been satisfactory, but a few more tests are still needed to verify the feasibility of using the waste as a raw material to produce concrete pavers for use in civil construction. It is hoped that the paver with Expanded Polystyrene can stand out in the market, as an affordable product, with respect to cost and contributing to the environment. That research can convert an important source of expenditure into a source of profit in relation to waste and collaborate with sustainability.

Keywords: Paver, Expanded Polystyrene, Product Development.

1. Introdução

A consciência pela reciclagem de materiais cresce a cada dia, atitudes que podem contribuir para a qualidade da vida urbana e o equilíbrio do meio ambiente são tomadas constantemente. São necessárias estratégias e inovações para usufruir dos materiais que são descartados. De acordo com a ONU (Organização das Nações Unidas) são produzidos mais de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano, causando problemas de saúde para as pessoas, para os animais e poluindo o meio ambiente (HUMANIDADE, 2018).

Grande parte dos resíduos gerados não são somente de resíduos domésticos, mas principalmente dos resíduos industriais, sendo os grandes responsáveis pelas maiores agressões ao meio ambiente.

Verifica-se, portanto, um grave problema evidenciado pelo modo como os resíduos são depositados no ambiente, assim são necessários projetos de inovação, políticas públicas eficientes que incentivem a reutilização destes resíduos, para diminuir o volume de descarte.

Logo, os indivíduos e a indústrias deveriam rever e adaptar seus conceitos, de forma a aproveitarem mais os resíduos gerados durante e depois dos processos de produção e para desenvolver novos produtos.

Destaca-se o descarte de embalagens de produtos alimentícios e para a proteção de equipamentos, conhecido como Poliestireno Expandido (EPS) ou isopor, pois é um material leve, com alta resistência mecânica e um bom isolante térmico.

Desta forma o artigo pretende discutir de forma qualitativa e quantitativa a utilização do resíduo de Poliestireno Expandido (EPS) também conhecido como isopor, como matéria-prima na fabricação de pavers de concreto.

No entanto, para se obter materiais alternativos é necessário a busca por projetos que desenvolvam produtos de qualidade, com alto desempenho e que seja um material de baixo custo.

Dentre os diversos materiais para construção civil, destaca-se o paver de concreto, material este que, de acordo com seus fabricantes, apresenta facilidade e rapidez de colocação e fácil manutenção.

Dessa forma, este artigo busca analisar uma inovação no processo de produção para pavers com incorporação de resíduos de Poliestireno Expandido (EPS) e verificar a influência da incorporação de resíduos para obtenção de um produto que apresente características físicas que permitam a sua utilização na construção civil.

2. Caracterização da área de estudo

No município de Goioerê - Paraná, segundo a ATA – Ação de Tratamento Ambiental - Associação de coletores de materiais recicláveis, são gerados cerca de 20 a 25 Kg de resíduos por mês de Poliestireno Expandido. Os resíduos que não são utilizados, são separados junto com os outros resíduos inutilizáveis e são levados ao aterro sanitário.

Esses resíduos acabam gerando custos para a Associação, custos de separação com o tempo de trabalho dos funcionários e, custos com transporte dos resíduos até o aterro sanitário. Esses resíduos trazem grandes danos ao meio ambiente e a saúde pública, quando depositados em lugares inadequados.

3. Pavers

Os Pavers também conhecido como PPC (peça pré-moldadas de concreto) são peças pré-moldadas de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado. Tem sido bastante utilizado na construção de pavimentação urbana, devido a sua facilidade de manuseio e versatilidade.

O pavimento intertravado se destaca devido ao seu fácil manuseio, rapidez na instalação, e fácil compreensão para o construtor. Não se utiliza equipamentos especiais para a instalação, possuem facilidade na reparação e reutilização das peças de concreto. O pavimento intertravado traz maior visibilidade e valor paisagístico (SIMIELI et al., 2007).

A ABCP (2002) traz inúmeras vantagens para o uso do piso intertravado:

- a) é o pavimento mais permeável, propiciando micro drenagem das águas pluviais;
- b) os materiais utilizados na construção chegam à obra já prontos para aplicação, sem necessidade do emprego de processos térmicos ou químicos;
- c) propiciam visibilidade superior à das superfícies de asfalto, tanto à luz do dia quanto sob luz artificial, independentemente de sua coloração;
- d) as peças de concreto são de alta qualidade, o que lhes confere durabilidade e resistência à abrasão, muito utilizado para pavimentos industriais.

Para a construção da pavimentação intertravada é necessário assentar os blocos sobre uma camada de areia grossa, compacta-se a superfície, e em seguida, espalha-se areia fina para o preenchimento das juntas. Depois deve-se compactar as peças novamente até que as juntas estejam totalmente preenchidas com areia (ABCP, 2002).

De acordo com NBR 9781/2013 para a fabricação dos pavers de concreto é necessário a utilização de cimento Portland, agregados e água, sendo permitido o uso de aditivos e pigmentos. Os agregados podem ser naturais, industriais ou reciclados.

3.1 Pavers de concreto na construção civil

Os materiais utilizados na fabricação de produtos para a construção civil apresentam problemas ambientais tanto na fabricação, quanto na disposição após o uso, devido aos recursos naturais necessários para a sua fabricação.

De acordo com SANTOS (2005), a construção civil é um dos maiores geradores de resíduos, ele é responsável por cerca de 40% do consumo de recursos naturais extraídos do planeta.

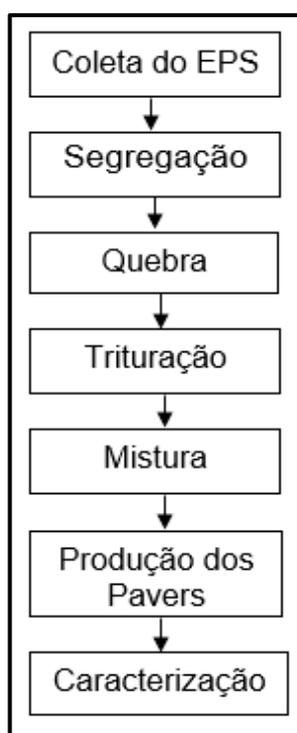
Segundo John (2000), o consumo de agregados para a produção de concreto e argamassa no Brasil, é em torno de 210 milhões de toneladas por ano. A indústria da construção civil é considerada um dos maiores geradores de poluição ambiental. Na produção de 1 tonelada de cimento Portland, por exemplo, é lançado 1 tonelada de CO₂ na atmosfera, sendo uns dois maiores responsáveis do efeito estufa (BILODEAU e MALHOTRA, 2000).

Uma das formas de permitir a fabricação de paver de concreto, de maneira a se tornar um processo de fabricação mais sustentável, é substituir algumas de suas matérias primas, por materiais alternativos.

4. Metodologia

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram realizadas diferentes análises e testes, com o intuito de levantar dados que possam contribuir com a avaliação de qualidade e de resistência dos pavers de concreto com agregado de resíduo de Poliestireno Expandido (EPS). A Figura 1 mostra o fluxograma das etapas de produção dos pavers .

Figura 1 – Fluxograma



Fonte: Autor Próprio (2020)

Para a caracterização dos resíduos de Poliestireno Expandido foram escolhidas variáveis de propriedades físico-químicas, que de acordo com a pesquisa teórica, são relevantes para o desenvolvimento do produto.

4.1 Coleta, segregação do resíduo de Poliestireno Expandido (EPS)

O resíduo de Poliestireno Expandido (EPS) foi cedido pela Associação de Coletores de Materiais Recicláveis – ATA, no município de Goioerê-Paraná. São gerados pelo município de Goioerê cerca de 20 a 25 Kg de resíduos por mês de Poliestireno Expandido (EPS), os quais são levados para o aterro sanitário, juntamente com outros resíduos que são inutilizáveis.

4.2 Quebra e Trituração do resíduo de Poliestireno Expandido (EPS)

Para a transformação do resíduo em partículas menores, o Poliestireno Expandido passou pela etapa de quebra, na qual os resíduos foram quebrados em pedaços menores, para que pudessem ser triturados. A trituração tem por finalidade a redução do tamanho da partícula do resíduo, para que possa ser agregado a massa.

Após a trituração do poliestireno expandido, os resíduos foram levados para uma indústria de artefatos de cimento, para a produção dos pavers com o agregado de poliestireno expandido. Após serem produzidos, as peças foram deixadas para cura por 28 dias, de acordo com a norma ABNT NBR 9781/2013 como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Pavers após a cura de 28 dias



Fonte: Autor Próprio (2020)

4.3 Caracterização física dos pavers

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram realizadas algumas análises a fim de proporcionar dados que possam contribuir para a avaliação da qualidade dos pavers desenvolvidos com resíduo e, conseqüentemente, direcionar as correções necessárias nos processos de produção. Para tanto, foram realizados ensaios de absorção de água, dimensionamento, envelhecimento e densidade.

4.3.1 Avaliação Dimensional

Os pavers de concreto foram caracterizados quanto o dimensionamento da peça de acordo com a norma ABNT NBR 9781/2013. O procedimento foi realizado no laboratório de Química Aplicada (LQA) da Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) - Campus de Campo Mourão. A avaliação dimensional das peças deve ser realizada sempre em planos paralelos ou perpendiculares às arestas das peças, conforme sua tipologia, que no caso, de acordo com a norma, referem-se às peças do tipo III.

4.3.2 Avaliação do grau de envelhecimento dos pavers

O ensaio de envelhecimento tem por objetivo avaliar a capacidade de deterioração do material em determinadas condições ambientais de acordo com os procedimentos apresentados em (VIEIRA, 2008).

Para tanto, seguiu-se os seguintes procedimentos: primeiramente os corpos de prova foram condicionados por três dias, à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e a umidade relativa de $50 \pm 5\%$ em estufa, e mantidos sob essas condições até o momento do ensaio. Em seguida, foram colocados em uma estufa na temperatura de 100°C , por um período de 72 horas com ar circulante. No interior da estufa foi utilizado um recipiente com água, para melhorar a umidificação e também para ter mais exatidão na temperatura. E por fim, realizou-se a avaliação do material por meio visual.

4.3.3 Ensaio de Absorção de água com os pavers

O ensaio de absorção de água é utilizado para expressar a porcentagem de um incremento de massa de um corpo sólido poroso de acordo com a penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco.

Os ensaios foram realizados pelo método de imersão em água por um período de 24 horas à uma temperatura de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, utilizando o método adaptado da NBR 9781/2013, para os pavers de concreto com o EPS.

Os corpos de prova foram pesados individualmente para verificação da massa úmida depois de 24 horas imersos em água. Sendo essa a massa saturada m^2 .

Posteriormente realizou-se a secagem dos pavers na estufa com temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ por 24 horas. Os corpos de prova foram pesados individualmente, sendo essa a massa seca m^1 .

O procedimento foi repetido a cada 2 horas, até que em duas determinações sucessivas não registrasse para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5% em relação ao valor anterior.

Os valores da massa foram utilizados para a obtenção do valor da absorção de água de cada corpo de prova, utilizando a Equação 01.

$$A = \frac{m2 - m1}{m1} \times 100 \quad (01)$$

Onde

A é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

$m1$ é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

$m2$ é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g);

4.3.4 Determinação da densidade dos pavers

Foi medida a densidade dos pavers, a fim de obter o seu valor e conferir as especificações do produto desenvolvido. Foram utilizados os seguintes materiais: balança eletrônica e um paquímetro. Mediu-se os corpos de prova com um paquímetro (altura x comprimento x espessura), com o objetivo de se obter o volume da amostra. Pesou-se a amostra para a obtenção da massa e determinou-se a sua densidade por meio da Equação 02.

$$\mu = \frac{m}{v} \quad (02)$$

Onde

μ é a densidade;

m é a massa;

v é o volume;

5. Resultados e Discussão

Os resultados são a compilação dos dados organizados de forma a entender e constatar o desenvolvimento e comportamento do material durante sua preparação e os ensaios realizados.

5.1 Resultado da avaliação dimensional dos pavers

Para a avaliação dimensional foi necessário o auxílio de uma régua para a medição dos pontos de medidas que foram estabelecidos.

A Tabela 1 apresenta os resultados médios obtidos através das medições das peças, de acordo com os respectivos pontos de medidas, realizado em três amostras de cada material.

Material	Média dos Pontos de Medida (cm)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Puro	3,8	3,8	3,8	3,8	10,1	10,1	14,0	14,0
25%	3,8	3,8	3,8	3,8	10,0	10,0	14,0	14,0
50%	3,8	3,8	3,8	3,8	10,1	10,1	14,0	14,0

Fonte: Autor Próprio (2020)

Analisaram-se todos os pontos de medida de cada tipo de paver, com relação as médias, observou-se de 0,1 a 0,2 cm de diferença em cada medição. Isso pode ser atribuído ao fato de que foi utilizada uma régua para as medições em vez do paquímetro, devido a falta do equipamento no laboratório. E podem ter ocorrido diferenças na fabricação devido as formas ou outro fator que possa ter influenciado. Conclui-se que as medidas são proporcionais comparando-as com a norma NBR 9781/2013.

5.2 Resultado da avaliação do grau de envelhecimento dos pavers

Realizado o ensaio de envelhecimento, foi possível verificar que os pavers não sofreram grandes alterações. Houve uma leve alteração de cor no material, um leve avermelhado na superfície dos pavers, observou – se que os pavers com 25% e 50% de resíduos se tornaram mais firmes, mais resistente, ou seja, menos flexível. Os pavers não apresentaram nenhuma quebra e esfarelamento.

Ao final do ensaio de envelhecimento pôde-se concluir que os resultados foram satisfatórios. Os pavers continuaram com as mesmas características que apresentavam antes do ensaio. Os pavers não sofreram nenhuma alteração exceto a cor avermelhada mesmo sendo expostos a ensaio que simularam a diferentes condições ambientais.

5.3 Resultados do ensaio de absorção de água

Os ensaios de absorção de água foram realizados de acordo com a NBR 9781/2013 para peças de concreto, adaptado para as peças com o agregado de Poliestireno Expandido (EPS).

A Tabela 2 apresenta a média dos índices de absorção de água de cada material.

Tabela 2 – Médias dos índices de absorção de água

Material	Índice de absorção de água (%)			Média
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	
Puro	10,17	10,83	10,28	10,43
25 %	12,0	12,21	11,69	11,97
50 %	12,57	12,07	12,54	12,40

Fonte: Autor Próprio (2020)

Os valores médios obtidos pela absorção de água resultaram em diferentes variações, nas quais o paver puro obteve uma absorção média de 9,89%, o paver com 25% de adição na mistura de Poliestireno Expandido (EPS) obteve um resultado médio de 10,43%, e por fim o paver com 50% de adição na mistura de Poliestireno Expandido (EPS) obteve um resultado médio de 12,40%. Os três tipos de pavers desenvolvidos apresentaram um valor alto comparado com o valor médio descrito na NBR 9781/2013, que apresentaram a absorção de água com valor médio menor ou igual 6% não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7% a partir do ensaio realizado.

Observa-se que quanto mais próximo a massa úmida e a massa seca estiverem, mais perto chegará no valor médio estabelecido pela norma.

O Poliestireno Expandido (EPS) possui baixa absorção de água, pois, comparando ao paver puro com os pavers com agregado, houve uma pequena diferença entre eles. Pode-se atribuir a estes resultados, o fato de o Poliestireno Expandido (EPS) ter sua estrutura de células fechadas e as paredes das células serem permeáveis, fazendo com que a umidade fique retida.

5.4 Resultados da densidade dos pavers

Para a determinação da densidade dos pavers, baseou-se na metodologia utilizada por CAMPOS (2017) e foi necessário o auxílio de um paquímetro, mas com a falta do equipamento utilizou-se uma régua e uma balança eletrônica para a obtenção dos valores e compará-los com as especificações do produto desenvolvido.

A Tabela 3 apresenta a média das densidades de três amostras de cada material, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Tabela 3 – Densidade média, desvio padrão e coeficiente de variação

Material	Densidade Média (kg/m ³)				Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média		
Puro	1.829,25	1.646,86	1.659,96	1.712,02	101,73	5,94%
25 %	1.419,26	1.217,79	1.123,60	1.253,55	151,04	12,05%
50 %	1.180,72	977,72	1072,07	1.076,84	101,58	9,43%

Fonte: Autor Próprio (2020)

Um desvio padrão alto representa uma maior dispersão dos dados em torno da média, e quanto menor o desvio-padrão, mais baixo é a dispersão dos dados em torno da média (INTERPRETAR, 2019).

Ao analisar os gráficos observou-se que o paver puro e o paver com adição de 50% de EPS obtiveram valores menores com relação ao desvio padrão. Concluiu-se então que o paver com 50 % apresenta bom resultado com relação a densidade, pois ele apresenta uma baixa dispersão em torno da média.

6. Conclusão

Os resultados obtidos com a pesquisa mostraram a possibilidade da utilização do Poliestireno Expandido (EPS) como agregado dos pavers de concreto, pelo fato de apresentarem características físicas que os qualificam para a produção de um produto com qualidade, quando comparado com o produto convencional.

O paver de concreto com o agregado de Poliestireno Expandido (EPS) apresentou certa leveza, quando comparado com o paver convencional, o que pode facilitar o transporte e o manuseio para a pavimentação.

Com o ensaio de avaliação dimensional observou-se que as medidas dos pavers são proporcionais com relação a norma NBR 9781/2013, sendo assim, as peças estão dentro das dimensões permitidas.

No ensaio de absorção de água os pavers com Poliestireno Expandido (EPS) apresentaram maior absorção quando comparado ao paver puro (comercial), resultando numa diferença considerável. Pode-se atribuir essa diferença à estufa e a balança, devido a calibragem dos equipamentos, isso pode ter alterado os valores dos resultados.

No ensaio de densidade concluiu-se que o paver com 50% de adição a mistura, quando comparado com os outros, demonstrou melhor desempenho, apresentando valor baixo do desvio padrão. Ao realizar este ensaio utilizou-se uma régua em vez do paquímetro, devido à falta de equipamentos no laboratório. Sendo assim, podem ter ocorridos erros com relação ao volume dos materiais analisados.

Por fim, essa pesquisa apresenta uma proposta de reutilização de resíduos para o desenvolvimento de novos produtos, que são gerados em grandes quantidades e dispostos de forma inadequada no ambiente. Assim pode-se dizer que os objetivos do projeto foram atingidos, pois os pavers com a adição de poliestireno expandido mostraram resultados satisfatórios para a utilização, tanto a leveza quanto a parte físico-química. Sendo assim, acredita-se que os pavers poderão contribuir para o desenvolvimento sustentável e também para sociedade.

8. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (2013). **NBR – 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual Técnico para Implementação da Habitação 10**. São Paulo, 2002, 88p.

SANTOS, J. R. Betão com agregados grossos reciclados de betão. São Paulo, SP. **Revista Concreto**, ISSN 1806- 9673, IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, 2005, p.10-14

SIMIELI, Daniel; et al. Utilização de Agregados Reciclados em Pavimentos Intertravados. **Revista Exata**. Centro Universitário Nove de Julho. São Paulo, 2007, 4-5p.

BILODEAU, A.; MALHOTRA, M. High-volume fly ash sytem: concrete solutions for sustainable development. **ACI Materials Journal**. 2000, p. 41-48. (2000).

CAMPOS, M. V. R. **Aproveitamento de resíduos de gesso da CONSTRUÇÃO CIVIL E RESÍDUOS FIBROSOS COMO MATÉRIA PRIMA PARA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE**

GESSO ACARTONADO. 2017. 150 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá,

ONU. Organização das Nações Unidas. **Humanidade produz mais de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano, diz ONU em dia mundial.** Nações Unidas Brasil. Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/humanidade-produz-mais-de-2-bilhoes-de-toneladas-de-lixo-por-ano-diz-onu-em-dia-mundial/>>. Acesso em: 02 Jul. 2020.

INTERPRETAR as estatísticas para armazenar estatísticas descritivas. **Suporte ao Minitab 18,** 2019. Disponível em : <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/store-descriptive-statistics/interpret-the-statistics/interpret-the-statistics/>>. Acesso em: 18 de Set. de 2020.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil.** 2000. 102 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.