

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUIZELE SOARES PEDROSO

**AVALIAÇÃO DE PAVERS DE CONCRETO COM AGREGADO RECICLADO
DE PET PARA APLICAÇÃO EM AMBIÊNCIA RURAL**

**ALEGRETE
2023**

LUIZELE SOARES PEDROSO

**AVALIAÇÃO DE PAVERS DE CONCRETO COM AGREGADO RECICLADO
DE PET PARA APLICAÇÃO EM AMBIÊNCIA RURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Agrícola da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Agrícola

Orientador: Dra. Simone Dornelles
Venquiaruto.

Coorientador
Eng Agrícola Giulian Gauterio

**Alegrete
2023**

LUIZELE SOARES PEDROSO

**AVALIAÇÃO DE PAVERS DE CONCRETO COM AGREGADO RECICLADO
DE PET PARA APLICAÇÃO EM AMBIÊNCIA RURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Trabalho de Conclusão de Curso 2 defendido e aprovado em 11 de dezembro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Simone Dornelles Venquiaruto
Orientador
(UNIPAMPA)

Eng Agrícola Giulian Gauterio
Coorientador
(UNIPAMPA)

Eng.Civil. Me. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira
(UNIPAMPA)

Prof.Me.Danielli Duó
Engenheira civil.



Assinado eletronicamente por **MARCELO DE JESUS DIAS DE OLIVEIRA, ENGENHEIRO-AREA**, em 13/12/2023, às 16:05, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **SIMONE DORNELLES VENQUIARUTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/12/2023, às 16:55, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GIULIAN RUBIRA GAUTERIO, ENGENHEIRO-AREA**, em 13/12/2023, às 17:35, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Danielli Duó, Usuário Externo**, em 14/12/2023, às 14:34, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1328914** e o código CRC **7070F361**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, por ter me dado forças para continuar em todos os momentos difíceis, por me conceder determinação e coragem para nunca desistir. Agradeço por tudo o que foi conquistado até aqui.

Aos meus amados pais, Salvador José Lara Pedroso e Marta Maria Soares. Pedroso (in memoriam), por todo o amor e exemplo de honestidade, sempre mostrando a importância da educação para o meu crescimento como ser humano.

Agradeço aos meus irmãos, Aline Pedroso, Custódio e Tiago Soares Pedroso e também aos meus filhos Aaron Pedroso e Abner Pedroso por serem os maiores incentivadores e as fontes inesgotáveis de apoio, amor e compreensão, pois compreenderam minha ausência em diversos momentos dessa longa jornada acadêmica.

Agradeço à minha orientadora Dr. Prof. Dr. Simone Dornelles Venquiaruto por ter aceitado o convite para essa tarefa, pelas orientações e pelo tempo disponibilizado durante a realização deste trabalho.

Agradeço ao meu co orientador, p Engenheiro Agrícola Giulian Gauterio, pela orientação, disponibilidade e paciência. Também sou grata por todas as oportunidades que me foram ofertadas durante o período da graduação. Agradeço também por todos os conselhos, os quais eu levarei para a vida.

Agradeço a toda a equipe do Laboratório de Engenharia Civil composta pelo engenheiro civil Marcelo de Jesus Dias de Oliveira e pela técnica em Edificações Raquel Machado. Grata pelas oportunidades, orientação ao longo deste trabalho e por compartilhar comigo os seus conhecimentos e experiências.

Agradeço aos bolsistas Bruna Santos Tamiosso e Otávio Freitas Nemitz pelo suporte em seu conhecimentos e incentivo que com carinho sempre dispostos a ajudar.

Agradeço ao meu amigo Victor Pedroso, acadêmico de Engenharia de Telecomunicações e o meu filho, Aaron Pedroso, acadêmico de Engenharia Software, que através de seus conhecimentos em inglês me auxiliaram com os termos técnicos.

Agradeço as orações dos meus pastores João Darci Santos e Tânia Regina Santos e amada igreja por todas orações e incentivo ao logo desses anos.

Agradeço aos engenheiros civis Me. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira e Me. Danielli Duó por aceitarem compor a banca de defesa, contribuindo com sugestões para enriquecer este trabalho.

Dedico esse trabalho à família, meus pais Salvador e Marta Pedroso (in memoriam), meus irmãos Aline e Tiago e meus filhos Aaron e Abner.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo reproduzir um produto usual (Pavers de concreto para pisos intertravados) com um material alternativo (areia de PET) e validar algumas de suas propriedades para viabilizar sua aplicação em ambiente rural (áreas de carga e descarga, pisos de armazém agrícola, pisos para depósitos, estacionamentos, apriscos, entre outras aplicações). A escolha do resíduo de PET se justifica por ser um resíduo de difícil degradação na natureza (400 anos) e também pelo fato da literatura apontar potencialidades para o seu uso em matrizes cimentícias. A metodologia desta pesquisa foi organizada em quatro etapas distintas: estudo de dosagem do traço, produção dos Pavers de concreto, ensaios de controle e análise dos resultados e conclusões. A partir de estudos preliminares de dosagem foi definido um traço (T1) visando obter uma resistência de concreto estrutural (50 MPa). A partir da definição do traço de referência foram produzidos outros dois traços com substituição parcial em volume da areia natural por areia de PET. O traço 2 (T-2) foi produzido utilizando um percentual de substituição em volume de 15% da areia natural por areia de PET e o Traço 3 (T-3) foi produzido com um percentual de substituição de 20%. A fabricação dos Pavers foi classificada como “peças dormidas”, que são peças produzidas de forma manual. Neste processo de fabricação, o concreto plástico é lançado nas formas onde fica de um dia para o outro, quando ocorre a desmoldagem (retirada dos Pavers dos moldes). Após a etapa de desmoldagem os Pavers foram identificados e submetidos a um processo de cura submersa, permanecendo nesta condição até a idade dos ensaios de controle (28 dias). Os Pavers foram ensaiados de acordo com as prescrições normativas para a determinação da resistência à compressão axial e da absorção de água por capilaridade. Os resultados dos ensaios mecânicos mostraram que todos os traços atingiram a resistência inicialmente prevista no estudo de dosagem e que a substituição parcial do agregado miúdo natural por areia de PET. A incorporação da areia de PET nas misturas contribui para um melhor fechamento da porosidade da matriz, o que refletiu na menor absorção de água por capilaridade para os traços com areia PET em relação ao traço referência (com 100% areia natural).

Palavras-chave: Pavers, concreto, areia de PET, durabilidade.

ABSTRACT

The present work aims to reproduce a common product (interlocking concrete pavers) using an alternative material (PET sand) and validate some of its properties to enable its applications in rural environments (areas for loading and unloading, agricultural warehouse floors parking lots, storage facility floors, parking lots, pens, among other applications). The choice of PET residue is justified by its difficulty in degrading in nature (400 years) and also by the literature indicating potential for its use in cementitious matrices. The methodology of this research was organized into four distinct stages: mix design study, production of concrete pavers, quality control test, and analysis of results and conclusion. From preliminary mix design studies, a mix (T1) was defined aiming to achieve structural concrete strength (50Mpa). This mix was referred to as Reference Mix as it had fine aggregate composed of 100% natural sand. Based on the definition of the reference mix, two other mixes were produced with partial replacement of natural sand by PET sand. Mix 2 (T-2) was produced using a volume replacement Percentage of 15% of natural sand by PET sand, and mix 3 (T-3) was produced with a replacement percentage of 20%. The manufacturing of the pavers was classified as "sleeper units" which are manually produced pieces. In this manufacturing process, the plastic concrete is poured into molds where it remains overnight, and the demolding removal of pavers from the molds takes place. After demolding, the pavers were identified and subjected to a submerged curing process, remaining in this condition until the age of the quality control tests (28 days). The pavers were tested according to normative prescriptions for determining axial compressive strength and water absorption by capillarity. The methodology involves dosage study, production, control test, and result analysis. T-2 and T-3 mixes partially replace natural sand with PET sand. The incorporation of PET sand in the mix contributes to better closure of the matrix porosity, resulting in lower water absorption by capillarity compared to the reference mix (with 100% natural sand)

Keywords: Pavers, Concrete, PET sand, Durability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Formato de Pavers do Tipo-I	19
Figura 2- Dimensões dos Pavers do Tipo-I	19
Figura 3-Formato de Pavers do Tipo-II	20
Figura 4-Exemplos de peças de concreto do Tipo III.	20
Figura 5-Exemplos de peças de concreto do Tipo IV	20
Figura 6- Exemplo de composição da estrutura de um pavimento intertravado	21
Figura 7--com blocos de concreto: (a) vertical; (b) horizontal; e (c) giração.....	22
Figura 8- Padrões de assentamento dos Pavers recomendado para o tráfego de pedestres: a) trama e b) fileiras (ou “de corredor”).....	23
Figura 9-Padrões de assentamento dos Pavers recomendado para o tráfego de veículos: a) espinha de peixe a 45° e b) espinha de peixe a 90°.	23
Figura 10-Processo simplificado da reciclagem do PET.	28
Figura 11-Programa Experimental.	34
Figura 12 - Agregado miúdo utilizado para a produção dos Pavers, onde: a) areia natural; b) areia de PET.	36
Figura 13-Distribuição granulométrica dos agregados.....	37
Figura 14-Detalhamento das Etapas do Programa Experimental por traço.	38
Figura 15- Prensa modelo EMIC PC 150C 1500.....	40
Figura 16- Ensaio de Absorção Total em andamento	41
Figura 17-Ensaio Absorção de água por capilaridade.....	42
Figura 18-Pavers desmoldados.....	44
Figura 19- Ensaio Inspeção Visual dos Pavers	44
Figura 20- Resistência à compressão axial média do concreto aos 28 dias	45
Figura 21- Resistência à compressão axial média dos Pavers.	45
Figura 22- Ensaio Resistência à Compressão Axial dos Pavers.....	46
Figura 23-Resultados médios de absorção total de água	47
Figura 24 - Resultados de absorção por capilaridade médios.	48
Figura 25- Efeito isolado do teor de areia de PET nos concretos.	49
Figura 26- Ranking de desempenho dos concretos por ensaio de controle.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Caracterização do cimento CPV ARI.	19
Tabela 2- Caracterização dos agregados	19
Tabela 3- Traço unitário em massa (kg).....	20
Tabela 4 -Análise de variância para os concretos com distintos teores de areia de PET frente a absorção total de água.....	20
Tabela 5- Análise de variância para os concretos com distintos teores de areia de PET frente a absorção de água por capilaridade.	20

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Revisão de trabalhos científicos com incorporação de areia de PET em matrizes cimentícias.....	19
Quadro 2 - Ensaios de caracterização dos agregados.....	19
Quadro 3 -Nomenclatura dos traços adotada.....	20

LISTA DE SIGLAS

ABIPET – Associação Brasileira De Indústria Do PET

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland

AASHTO- American Association of State Highway and Transportation Officials)

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COVs – Compostos Orgânicos Voláteis

CP – Cimento Portland

CP'S – Corpos de prova

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

NM – Norma Mercosul

NBR – Norma Brasileira

PET- Politereftalato de etileno

SIDAC– Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. OBJETIVOS	19
1.1.1. OBJETIVO GERAL	20
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1. PISO INTERTRAVADO DE CONCRETO – PAVERS	21
2.2. FORMATO DAS PEÇAS	22
2.3. ESTRUTURA TÍPICA DO PAVIMENTO INTERTRAVADO	23
2.4. TIPOS DE ASSENTAMENTOS E APLICAÇÕES	23
2.5. MATERIAIS UTILIZADOS PARA A FABRICAÇÃO DE PAVERS	28
2.5.1. PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS PAVERS	34
2.5.2. VANTAGENS DO SISTEMA DE PISO INTERTRAVADO DE CONCRETO	36
2.6. POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS	37
2.7. RECICLAGEM DO PET	38
2.8. CONCRETOS PRODUZIDOS COM AREIA DE PET	40
3. METODOLOGIA	41
3.1. ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	42
3.2. ETAPA 2: PRODUÇÃO E CURA DOS CONCRETOS	44
3.3. ETAPA 3: ENSAIOS DE CONTROLE	44
3.3.1. INSPEÇÃO VISUAL DOS PAVERS	45
3.3.2. AVALIAÇÃO MECÂNICA DOS PAVERS – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	45
3.3.3. ABSORÇÃO TOTAL DE ÁGUA	46
3.3.4. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

Concreto é um adjetivo que permite fazer alusão a algo sólido, material ou compacto. O termo opõe-se aquilo que é geral, vago ou abstrato, se refere a algo determinado e preciso.

As primeiras evidências do uso do concreto foram em Roma, a aproximadamente 2000 anos atrás. O concreto era essencialmente utilizado em aquedutos e estradas. Os romanos usavam uma matéria prima especial para seus concretos, a cinza vulcânica.

A origem do concreto moderno, como conhecemos hoje, começou no ano de 1756, quando John Smeaton o desenvolve através da mistura de agregado graúdo e cimento. Em 1793, ele construiu o farol de Eddystone Lighthouse em Cornwall, na Inglaterra. Porém, foi somente a partir de 1824, que o concreto passou a ser usado como material de construção. (Ribas *et al.*, 2020).

Atualmente, o concreto é o principal material e o mais utilizado na construção civil e devido a sua grande importância é muito estudado no meio científico (Brasileiro. *et al.*, 2015). Muitos pesquisadores focam suas pesquisas na busca de novas composições para o produto, a fim de melhorar suas propriedades mecânicas e minimizar o impacto ambiental que a sua produção e consumo gera para o meio ambiente.

É de consenso que a indústria da construção civil produz diversos resíduos e utiliza muitos recursos naturais finitos, impactando diretamente o meio ambiente. Com isso, também cabe a esta indústria a responsabilidade de minimizar os danos ambientais, por meio da busca de materiais alternativos para incorporação em matrizes cimentícias (Brasileiro, *et al.*, 2015).

Paralelo a isso, há uma preocupação mundial com o meio ambiente, pois a degradação ambiental, devido ao crescente aumento de geração de resíduos, que nas últimas décadas vem impactando de forma importante o nosso planeta. Em função do exposto, a indústria da construção civil há alguns anos vem tentando introduzir algumas alternativas para minimizar o impacto ambiental, de forma a reduzir os materiais rejeitados irregularmente, transformando-os em elementos que sejam úteis para a sociedade (Oliveira, 2019).

Entre os diferentes materiais alternativos com potencial para uso na construção civil está a areia de PET. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de PET –

ABIPET, foram consumidas cerca de 720 mil toneladas de embalagens de PET em 2014 e somente 314 mil toneladas foram recicladas, o que equivale a cerca 44%. As embalagens descartadas no Brasil sejam de 55% são recicladas, conforme – ABIPET apesar da taxa crescente de reciclagem, a implementação de novas utilizações para o material ainda é importante o incentivo a coleta e reciclagem, pois o PET demora cerca de 400 anos para se degradar na natureza. O processo de Reciclagem transforma resíduos em novos produtos de grande potencial e reduz o impacto ambiental, o consumo de matéria prima e diminui o consumo de energia e a poluição do ar em relação a queima dos descartes.

Algumas pesquisas, como a de Canellas (2005), Duó (2017), entre outros, têm comprovado a eficácia desse material frente a esforços mecânicos de compressão, tanto em argamassa quanto em concreto. No entanto, é importante ressaltar que para a validação de um novo material para incorporação em matrizes cimentícias é necessária uma investigação criteriosa de suas propriedades mecânicas, além do estudo do comportamento do novo produto frente a ambientes agressivos, para posteriormente, divulgar e recomendar o seu uso.

Visando a potencialidade da areia de PET em matrizes cimentícias, como já apontado na literatura, esta pesquisa propõe desenvolver Paviers de concreto com esse material alternativo (areia de PET) para destinação em zona rural.

Entre as aplicações, os Paviers podem ser usados como pisos rurais em aviários, aprisco currais, entre outros. Os Abrigos para o bem-estar animal, objetivam proporcionar um ambiente confortável e com qualidade de vida. Alguns animais, como o cordeiro da raça Dhone Merino, são delicados, e necessitam de apriscos com piso para que não sofram com as intempéries em épocas úmidas. A umidade em excesso junto com outros fatores (acúmulo de bactérias em contato com os cascos, ambiente sem devida higiene, etc.) podem ocasionar doenças nos cascos, como a “podridão”.

O aproveitamento de Paviers na área rural, também pode ser feito em áreas de carga e descarga, pisos de armazém agrícola, pisos para depósitos industriais agrícolas e estacionamentos, entre outras aplicações, o que justifica a relevância desta pesquisa.

No entanto, segundo Dacheri (2019) é importante ressaltar que para a validação de um novo material em matrizes cimentícias é necessária uma investigação criteriosa do produto criado e de suas propriedades, para posteriormente, divulgar e recomendar o seu uso. Esta pesquisa contribuirá neste sentido,

reproduzindo um produto usual com um material alternativo (areia de PET), e testando algumas de suas propriedades mecânicas (resistência à compressão axial) e de durabilidade (absorção de água) para a sua validação e aplicação em ambiente rural.

1.1. Objetivos

Os objetivos que nortearão este trabalho estão apresentados nos itens 1.1.1 e 1.1.2, respectivamente.

1.1.1. Objetivo geral

Estudar o comportamento mecânico e de indicativo de durabilidade de PAVERS de concretos convencionais e de concretos com materiais alternativos - areia de PET.

1.1.2. Objetivos específicos

- Avaliar o aspecto visual dos Pavers de acordo com as recomendações da NBR 9781/ 2013;
- Verificar a propriedade mecânica de resistência à compressão axial dos concretos produzidos;
- Observar o indicativo de durabilidade dos concretos produzidos através do ensaio de absorção de água por capilaridade;
- Avaliar o desempenho dos concretos com e sem areia de PET através do comparativo dos resultados obtidos nos ensaios de controle.
- Analisar se o teor de areia de PET foi suficiente para manter e/ou melhorar as propriedades avaliadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão da literatura, necessária para o embasamento teórico deste trabalho, será apresentada nos tópicos 2.1 a 2.4.

2.1. Piso Intertravado de Concreto – Pavers

Hallack (1998) define piso intertravado de concreto como um tipo de piso feito com blocos de concreto pré-fabricados, assentados sobre uma camada de areia e travados entre si por contenção lateral e por atrito entre as peças. Dessa forma, o intertravamento das peças, estado desejável para o bom desempenho do pavimento, é obtido.

Segundo Hallack (2001), essa pavimentação foi desenvolvida nos Países Baixos, no final da década 40. É formada por blocos de concreto e veio para suceder os tijolos compostos por barro. Com o fim da segunda grande guerra, a reedificação do continente europeu serviu de incentivo para a troca das peças feitas com argila pelos blocos de concreto. A técnica chegou ao Brasil na década de 70, mas a falta de critérios definidos prejudicou a implantação e a execução do produto. Consequentemente, o uso dos Pavers foi desacreditado como um bom material para compor a pavimentação do país.

Todavia, houve uma evolução ao longo das últimas décadas, assim consolidando-se atualmente no setor da construção como solução de excelente desempenho, estética versátil e agradável e baixos custos. Atualmente, existem diferentes formas de fabricação, que vão desde o formato com argamassa prensada até o concreto “polido” Hallack (2001),. A opção polida do Paver possui grande conforto para o rolamento: é agradável andar a pé sobre o piso, bem como transitar com veículos.

A facilidade de instalação do Paver é grande, uma vez que seus modelos já vêm prontos para o travamento. Imediatamente após sua finalização, o tráfego já está liberado (diferente do concreto usinado, por exemplo, que necessita de um tempo de espera para secagem). Em caso de obra em local onde já existam Pavers instalados (reformas, passagem de galerias públicas ou outros), o bloco pode ser retirado e recolocado sem necessitar de destruição (como em locais com contrapiso, por exemplo), o que é uma grande vantagem.

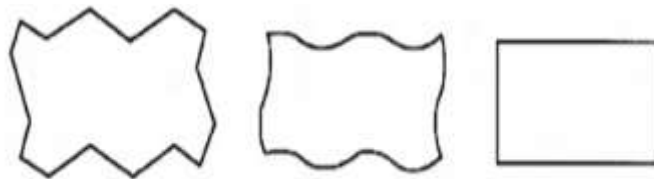
Os Pavers atendem os requisitos de acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida, são naturalmente antiderrapantes e reduzem a absorção de calor na superfície, melhorando o conforto térmico do ambiente.

No Brasil, existem normas técnicas específicas para a fabricação dos Pavers, garantindo resistência e durabilidade para diferentes tipos de aplicação (tráfego leve/pesado). A sua manutenção é praticamente nula (para pisos produzidos de acordo com as normas técnicas).

2.2. Formato das peças

A NBR 9781 (ABNT,2013) classifica o formato dos Pavers em três categorias (Tipo –I; Tipo-II, Tipo-III e Tipo IV). As peças do Tipo – I (Figura 1) são peças de concreto com o formato próximo ao retangular, com relação comprimento/largura igual a dois, que se arranjam entre si nos quatro lados.

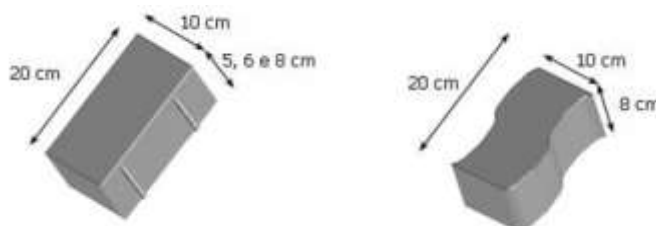
Figura 1- Formato de Pavers do Tipo-I



Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

Dentro da categoria Tipo- I, os Pavers com dimensões 10x20x5cm, Figura 2, são recomendados para uso em tráfego leve, como passeios, calçadas e quintais. Os Pavers com dimensões 10x20x6 cm (Figura 1) são recomendados para tráfego médio. Por fim, os Pavers com dimensões de 8X10X20 cm são recomendados para tráfego de veículos pesados, como posto de gasolina supermercado, estacionamentos em geral.

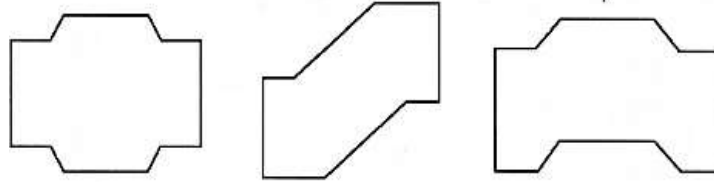
Figura 2- Dimensões dos Pavers do Tipo-I



Fonte: Geocities w.s

As peças do Tipo – II, Figura 3, são peças de concreto com o formato único, diferente do retangular, e que, em função do seu formato, só podem ser assentadas em fileiras.

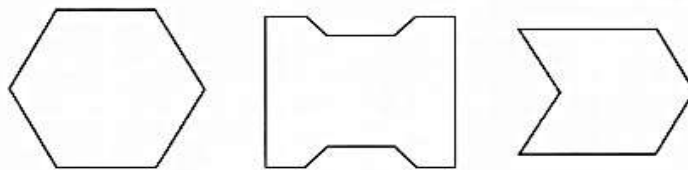
Figura 3-Formato de Pavers do Tipo-II



Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

As peças do Tipo – II,I Figura 4, são peças de concreto com o formato geométrico característicos, como trapézios, hexágonos, triedros etc. Em geral, as peças apresentam pesos superiores a 4 kg.

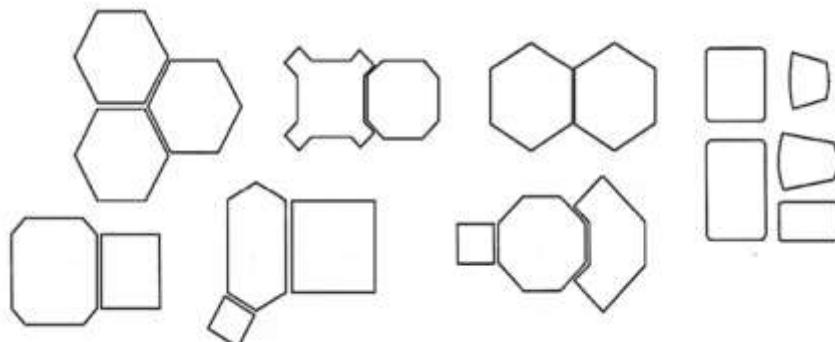
Figura 4-Exemplos de peças de concreto do Tipo III.



Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

As peças do Tipo – IV, Figura 5, são peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento.

Figura 5-Exemplos de peças de concreto do Tipo IV



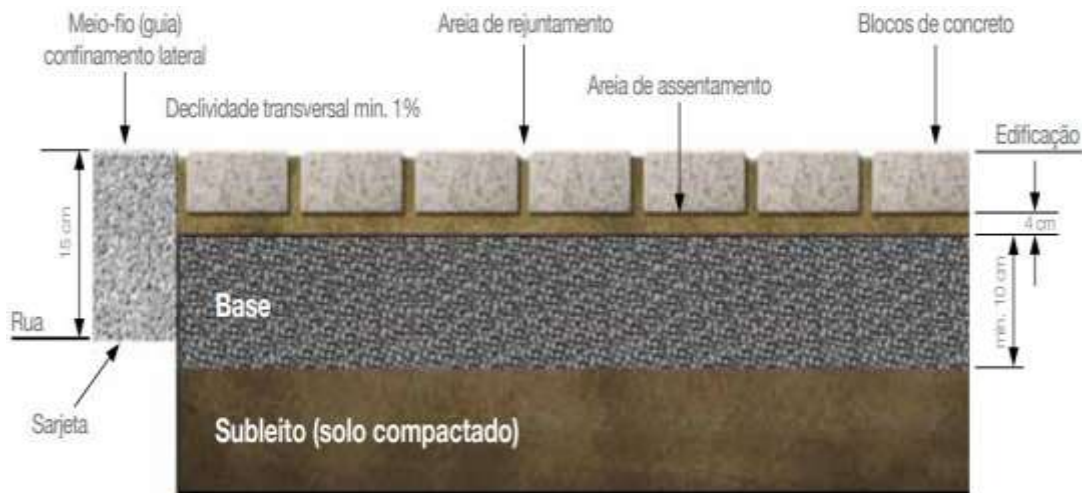
Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

2.3. Estrutura típica do Pavimento Intertravado

O sistema de pavimentos intertravados é constituído do revestimento de peças de concreto e por camadas granulares – assentamento, base e sub-base - composta de agregados segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2010,) as quais se caracterizam como materiais incombustíveis (classe I) conforme a norma ABNT NBR 9442.

A estrutura típica do pavimento de blocos intertravados é aquela composta pela base (podendo existir sub-base, pela sequência da camada do revestimento, composta pelos blocos alocadas sobre o assentamento, onde, entre os encontros das peças, há a presença do material de rejunte e o travamento é fornecido pela contenção lateral, segundo as recomendações da NBR 15953 da ABNT (2011). A Figura 6 apresenta um exemplo de composição da estrutura de um pavimento intertravado.

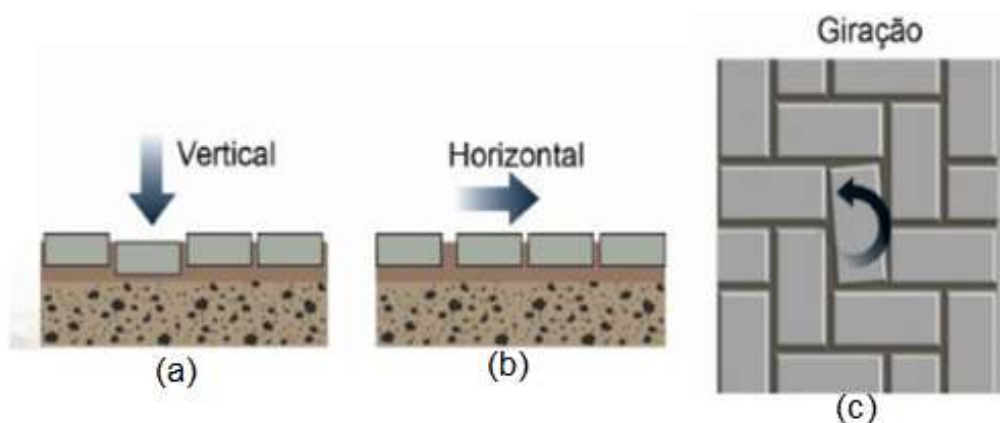
Figura 6- Exemplo de composição da estrutura de um pavimento intertravado



Fonte: Adaptado de SB Pavimentos (2018).

Existem três principais tipos de Intertravamentos que uma estrutura típica deve apresentar: vertical, horizontal e de giração. A Figura 7, exemplifica os tipos de intertravamentos em uma estrutura de pisos com Pavers.

Figura 7--com blocos de concreto: (a) vertical; (b) horizontal; e (c) giração



Fonte: Adaptado de SB Pavimentos (2018).

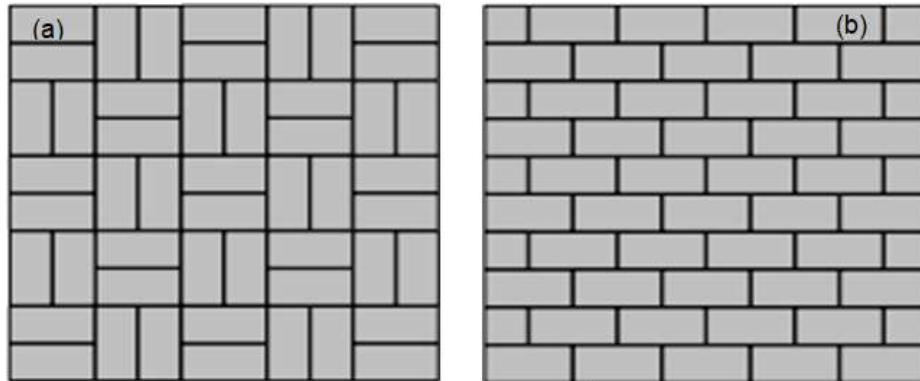
O pavimento intertravado, sob a ação do tráfego, tende gradualmente a acumular deformações semelhantes ao que ocorre com um pavimento flexíveis de asfalto. No entanto, a quantidade e taxa de acúmulo de deformação das camadas de um pavimento intertravado tende a ser menor do que as observadas em pavimentos de asfalto de espessura semelhante (CMA, 20043).

2.4. Tipos de assentamentos e aplicações

Os pisos em blocos de concreto, também conhecidos como intertravados, são encaixados de forma manual, um ao lado do outro, conforme o projeto de pavimentação. O assentamento de pisos intertravados é uma tarefa simples, mas que exige comprometimento com uma execução precisa e atenta aos detalhes. Hallack (1998). Nesse processo de trabalho, primeiramente, é distribuída no piso uma camada de pó de pedra ou areia, com espessura uniforme em todo o trajeto, mesmo nos desníveis. Colocados de forma próxima, encostados, os blocos de concreto são assentados sobre a camada de areia. O processo de colocação é manual, cada bloco é posicionado conforme a orientação desejada. Isso significa que um bloco retangular pode formar diferentes desenhos no piso (Figura 8 e Figura 9). Linhas garantem o esquadro e desenho do piso, já recortes proporcionam o encaixe perfeito dos blocos ao longo da pavimentação. Nas bordas são aplicados sarjetas, meio-fio e outros tipos de contenções laterais que travam os blocos e evitam a movimentação lateral do piso. O rejunte é feito com pó de pedra, a camada fina penetra nas juntas e garante uma

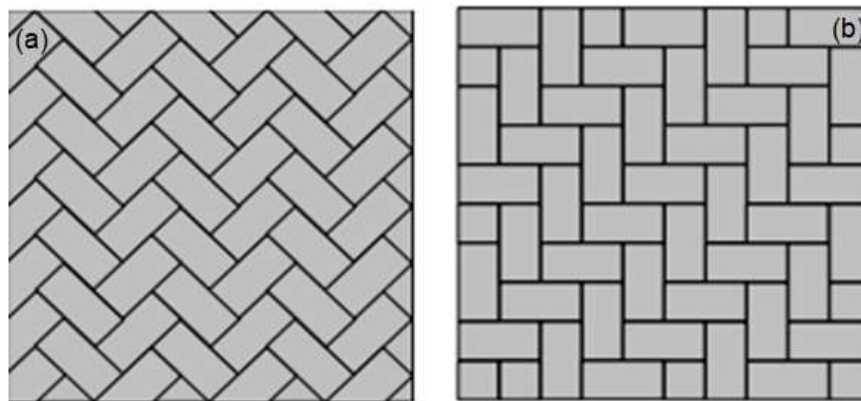
fixação firme das peças. Para auxiliar nesse processo, é utilizada a placa vibratória, que é passada inúmeras vezes até garantir firmeza no assentamento dos blocos.

Figura 8- Padrões de assentamento dos Pavers recomendado para o tráfego de pedestres: a) trama e b) fileiras (ou “de corredor”).



Fonte: Hallack (1998)

Figura 9- Padrões de assentamento dos Pavers recomendado para o tráfego de veículos: a) espinha de peixe a 45° e b) espinha de peixe a 90°.



Fonte: Hallack (1998).

2.5. Materiais Utilizados para a fabricação de Pavers

Na fabricação dos blocos e Pavers de concreto são usadas as seguintes matérias primas: pedrisco, pó de pedra, filler areia, água e aditivos químicos.

O pedrisco é uma pedra britada, usada na construção civil, cuja granulometria varia de 3 a 6 mm. O pedrisco é também chamado de brita 0. Esse produto é o primeiro

tipo que aparece na classificação logo após o pó de brita conforme a NBR 7211(ABNT,2009).

O pó de brita é também conhecido como pó de pedra, areia industrial ou areia sintética. É um material de construção utilizado em calçadas, asfaltos e na fabricação de elementos pré-moldados. De textura fina (semelhante a uma areia média) cujo tamanho varia de 0,5 mm até 2,9 mm.

Areia é um material granular inerte de origem natural, proveniente de extração de rio ou de cava. Em função de ser um produto extraído da natureza, pode ter características granulométricas distintas, sendo classificada quanto a sua composição granulométrica em fina, média e grossa. Para produção de Paviers pode ser usado no traço de concreto composições de areias de granulometrias distintas para promover melhor fechamento dos poros.

O Filler é o material mais fino de todos, ou seja, é a sobra do pó de pedra lembra um talco com tamanho inferior 0,4 mm. Este material é utilizado com a finalidade de fechamento de vazios na produção de Paviers.

Os aditivos químicos são produtos industrializados que podem melhorar as propriedades dos concretos tanto no estado fresco (facilitando a moldagem), quanto no estado endurecido (melhorando as propriedades mecânicas). Permitem uma melhor reação química entre o cimento e a água, tornando o concreto mais resistente e bem-acabado.

2.5.1. Processo de Produção dos Paviers

A fabricação dos Paviers é classificada em três tipos distintos: peças dormidas, peças viradas e as peças vibro prensadas (Bittencourt, 2012).

As peças dormidas são produzidas de forma manual. Neste processo o concreto plástico é lançado nas formas onde fica de um dia para o outro, procedendo a desmoldagem no dia seguinte da moldagem. Como os moldes são de plástico, aço ou fibra este processo gera peças com um acabamento superficial mais liso, resultando em uma aparência estética mais agradável (Fernandes, 2018).

O processo de produção de peças viradas é aquele que necessita apenas de betoneira para misturar o concreto, mesa vibratória e um jogo de 4 a 6 formas metálicas. Segundo Fernandes (2012), neste processo o concreto é produzido e as formas são preenchidas e imediatamente viradas para baixo sobre uma superfície

plana, lisa e untada com óleo. O consumo de cimento é baixo, por empregar uma camada fina de acabamento sobre uma camada grossa caracterizada por bastante agregado graúdo. Apresenta mau acabamento devido a desforma do concreto em estado fresco e baixa produtividade em relação ao processo prensado.

O Paver vibro prensado leva esse nome devido a seu processo de fabricação, pelo qual é vibrado e prensado. O processo de fabricação deste tipo de material requer um maquinário específico, ambiente fabril capaz de controlar quantidades de agregado, cimento e água, bem como o lançamento, processo de cura, armazenamento e preparação para transporte. Diferente dos elementos de concreto moldados e produzidos de maneira tradicional, o processo de vibração tem a função de expulsar acúmulo de ar e a prensagem, assim permite a compactação do concreto. Este processo, é viável e possível desformar a peça logo em sequência e encaminhá-la para o processo de cura

A escolha do processo de produção dos Pavers vai impactar no seu aspecto final do produto. O Paver liso é normalmente obtido pelo processo virado, enquanto, que a peça que possui um acabamento superficial mais poroso é obtida pelo processo prensado, ou virado.

Independente do processo de fabricação, Pavers de boa qualidade apresentam boa compactação do concreto, além de poucos vazios em seu interior, garantindo resistência uniforme e densidade adequada.

2.5.2. Vantagens do sistema de Piso intertravado de concreto

A contribuição do sistema de piso em relação ao desempenho térmico está relacionada a sua refletância e emissividade térmica. As peças de concreto, por conta das características do material, normalmente apresentam coeficiente de refletância maior e menor emissividade, se comparado aos materiais escuros normalmente utilizados em pavimentos de asfalto. Essas características do concreto resultam em menor temperatura superficial do pavimento intertravado (ASTM E 1980)

Os pavimentos intertravados também são utilizados nas cidades com o conceito de pavimentos frios (cool pavements) e para diminuir o efeito de ilhas de calor nos centros urbanos mais adensados. (ASTM E 1980)

Além disso, para Silva (2022) a geração de ruído proporcionada pelas juntas do pavimento também é muito bem aceita quando se trata da pavimentação de

estradas-parque, sendo o pavimento intertravado o único sistema adequado, para usar em aprisco para bem-estar animal. Na geração de ruído, auxilia no alerta antecipado de animais em travessia de via, há também a indução de redução de velocidade, o maior coeficiente de atrito se comparado ao asfalto e a menor temperatura superficial do pavimento (Silva, Cláudio Oliveira/2022).

As peças de concreto para pavimento intertravado também podem contribuir com a melhoria da qualidade do ar pois o concreto absorve o CO₂ da atmosfera ao longo de sua vida útil. Esse fenômeno, chamado de sequestro de carbono, absorve quimicamente o CO₂ no concreto e está sendo estudado por alguns pesquisadores, como Pederneiras *et al.* (2022) e Kamal *et al.* (2020). De qualquer modo, a captura de CO₂ por estruturas de concreto, principalmente pavimentos de concreto, tem sido avaliada como uma importante medida de mitigação do gás carbono na atmosfera.

2.6. Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Resolução nº 313/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA define como “resíduos nos estados sólido e semissólido, todo material resultante de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição cujas particularidades tornem inviável seu reaproveitamento através de soluções técnicas”.

Dentro desta categoria, encontram-se os resíduos plásticos (BRASIL, 2002). No caso da reciclagem, o Brasil é um exemplo mundial na criação de novos destinos para o PET reciclado. O País conta com inúmeras aplicações que impulsionaram a demanda e criaram uma verdadeira indústria da reciclagem do PET. O termo “plástico” originou-se do grego *plastikos*, que significa “capaz de ser moldado”. Os plásticos pertencem à família dos polímeros, ou seja, estruturas macromoleculares com as unidades de repetição (meros) presentes dezenas de milhares de vezes (poli) e unidas por ligação covalente.

A história do Poli (Tereftalato de Etileno), ou simplesmente PET, iniciou sua trajetória na indústria têxtil. Teve sua primeira amostra da resina foi desenvolvida pelos ingleses Whinfield e Dickson, em 1941. No período da Segunda Guerra, assim desabastecimento de vários setores, incluindo a indústria têxtil, que na época ainda se baseava em fibras como algodão, linho, lã, entre outras. Nos USA surgiram as

primeiras embalagens nos anos 1970. Com isso, a evolução tecnológica contribuiu para a construção de novas fábricas com capacidades que se multiplicavam a cada década.

No Brasil, o uso do PET para embalagens foi impulsionado no final da década de 1980. Porém, somente a partir de 1993 é que passou a ter forte evolução mercadológica, com aplicações no setor de refrigerantes e sucos.

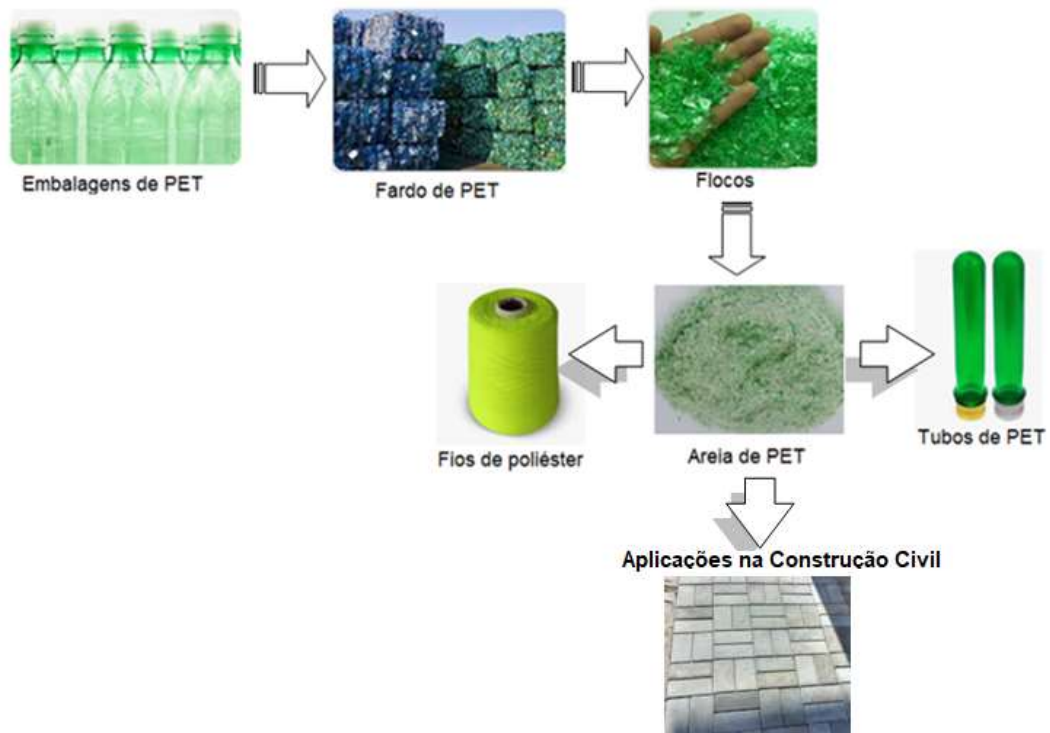
Em função das suas características, o PET apresenta elevada durabilidade e boa resistência à umidade e aos produtos químicos, apresentando uma decomposição mais lenta (de no mínimo 100 anos). Quando descartado após uso, as embalagens de PET se tornaram um grande problema ambiental, pois muitas vezes os envazes são descartados de forma incorreta nos rios, nos córregos e em aterros sanitários, entupindo bueiros e contribuindo para a poluição e para a degradação do solo.

O consumo anual de unidades PET no Brasil é de aproximadamente 250 bilhões. Deste total, cerca de 4,7 bilhões são lançadas indiscriminadamente no meio ambiente e 294 mil toneladas são recicladas anualmente, segundo dados do 9º Censo da Reciclagem do PET – realizado pela Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET). Estes índices tornaram o Brasil um dos líderes mundiais em reciclagem, se igualando aos países de primeiro mundo. Entretanto, a reciclagem de PET é um longo processo, pois esse sistema completo tem suas etapas de remoção e separação de tampas e rótulos, moagem, lavagem a quente e secagem. (ABIPET).

2.7. Reciclagem do PET

As embalagens de PET após serem coletadas passam nas empresas recicladoras por um sistema seletivo de triagem para separá-las por cor. Para viabilizar o transporte para as fábricas recicladoras é necessário, em muitos casos, o enfardamento, utilizando prensas hidráulicas ou manuais. Após o produto chegar as recicladoras, ocorre a lavagem e moagem das embalagens. Nesta etapa, são retirados os rótulos e as tampas dos envazes. Após a finalização desta etapa, o PET passa por um processo de moagem, sendo transformado em grânulos, os chamados flocos ou pellets. Dependendo do tempo da moagem, o produto adquire uma granulometria mais fina, sendo chamado de areia de PET. Após este processo inicial a matéria prima é destinada para a produção de novos produtos como fios de poliéster, tubos de PET ou uso como agregado miúdos em produtos cimentícios. A Figura 10 apresenta o processo simplificado do PET.

Figura 10-Processo simplificado da reciclagem do PET.



Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (Imagens Google).

A versatilidade do PET é considerada uma das principais vantagens para a sua utilização como resíduo na produção de concreto, seja na forma de fibras como reforço, assim a substituição dos agregados na produção de Pavers e/ou blocos de concreto.

2.8. Concretos produzidos com areia de PET

Nas últimas décadas muitos pesquisadores como Lazzeris (2019), Veríssimo (2014), Sousa (2020), Ferrari (2020), entre outros, tem voltado as suas pesquisas para o estudo de concretos com a incorporação de areia de PET.

Veríssimo (2014) avaliou a incorporação de areia de PET (teores de 10%, 25%, 50%,100%) em concretos. Os resultados dos ensaios de (absorção de água e resistência à compressão axial) mostraram que a melhor porcentagem de substituição ficou entre 10% e 25%. Ao analisar a resistência do concreto moldado com 100% de PET o autor concluiu que a adição dos agregados alternativos colaborou para uma

melhor resistência no produto, mesmo assim não obteve êxito em alcançar a resistência inicialmente proposta, de 35 MPa.

Duó (2017) avaliou a influência da utilização da areia de PET na substituição parcial ao agregado miúdo natural em diferentes traços da argamassa e avaliou algumas propriedades físicas e mecânicas. A areia de PET foi utilizada em substituição parcial ao agregado miúdo natural nos teores de 5%, 15% e 30%. Também foi produzido um traço de referência (sem PET) para servir como referência. A autora concluiu que foi viável a incorporação de agregado miúdo reciclado de PET em substituição ao agregado natural como função de revestimento sobre blocos cerâmicos. Segundo a autora, a argamassa com areia de PET apresentou melhorias nas características físicas e mecânicas das argamassas, uma vez que atendeu os parâmetros da NBR 13749 (ABNT, 2013), quanto aos aspectos de resistência à tração do revestimento.

Fernandes (2017) avaliou as propriedades mecânicas (resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral) de concretos com 10% e 15% de areia de PET em substituição ao agregado miúdo em comparação a um concreto de referência (sem PET). O autor concluiu que a substituição do agregado miúdo natural por agregado de resíduo reciclado de PET não interferiu nas propriedades mecânicas das misturas. Para Fernandes (2017) a incorporação de PET nos concretos é viável tecnicamente e ecologicamente correta, porque minimiza o impacto ambiental do descarte do envase no ambiente.

Ferrari (2017) estudou a utilização de areia de PET em pavimentos intertravados nos teores de 10%, 25%, 50%, 100% em substituição a areia natural em concretos. Ferrari (2017) observou diversas vantagens, como a não utilização de equipamentos sofisticados e de mão-de-obra especializada na execução. O autor também apontou a coloração clara do Paver como um dos pontos positivos, uma vez que promoveu redução da absorção de calor na superfície do pavimento diminuindo as ilhas de calor formadas nos centros urbanos. Os resultados dos ensaios mecânicos (resistência à compressão axial) dos corpos de prova mostraram que a utilização do resíduo plástico na confecção de blocos de concreto é possível e viável. Os resultados dos ensaios de (absorção de água e resistência à compressão axial) mostraram que a melhor porcentagem de substituição ficou entre 10% e 25%. Ao analisar a resistência do concreto moldado com 100% de PET o autor concluiu que a adição dos agregados alternativos colaborou para uma melhor resistência no produto, mesmo

assim não obteve êxito em alcançar a resistência inicialmente proposta, de 35 MPa (que pode ser comparada à alguns tipos de blocos de concreto comerciais utilizados para vedação). As propriedades físicas que foram avaliadas (absorção de água - Índice de vazios - massa específica) também apresentaram resultados favoráveis. Em função do exposto, o pesquisador concluiu que é viável e ecologicamente correto o uso do resíduo em matrizes cimentícias.

Vaz (2016) avaliou o desempenho de uma argamassa com substituição de areia natural por areia de PET. Os traços foram feitos com substituição de 5%, 15% e 30% de agregado de plástico por agregado natural convencional. A substituição foi feita em volume e apenas na fração granulométrica 1-2mm. Foram realizados ensaios no estado fresco (índice de consistência, densidade e teor de ar incorporado) e no estado endurecido (absorção por capilaridade, resistência à compressão axial e tração na flexão). Após análise dos ensaios no estado fresco, o autor conclui-se que a densidade da argamassa diminuiu com o aumento das substituições dos agregados plásticos. Esse fato pode ser explicado pela menor densidade dos agregados plásticos em relação a areia natural. Com relação ao ensaio de absorção de água por capilaridade, as amostras com substituições de PET apresentaram uma redução da absorção em relação à amostra de referência. A amostra que apresentou melhor desempenho foi a mistura com 15% de areia de PET.

Lira (2017) estudou diferentes percentuais de incorporação de resíduo de PET em argamassas e a incorporação com melhor resultado foi a de 30% PET, corroborando com os resultados encontrados por Modro (2009). Segundo o autor, para este teor de substituição, as argamassas não apresentaram divergências considerativas para as propriedades avaliadas (análise dimensional, resistência à compressão) em relação as argamassas de referência (sem resíduo). No entanto, o autor ressalta que é necessário avaliar outras propriedades e desempenhos, para enfim definir um uso adequado para as argamassas incorporadas com o PET micronizado.

Dacheri (2019) pesquisou sobre as propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto endurecido com substituição parcial do agregado miúdo por areia de PET nos teores de 20% e 25% e submetidos a elevadas temperaturas. Concluiu que os concretos com areia de PET no teor de 20% apresentaram resultados de resistência à compressão axial semelhantes ao traço referência (sem areia de PET), não havendo redução expressiva dessa propriedade ao serem expostos até a temperatura de 400

celsius. No entanto, o traço com substituição de 50% de areia de PET se mostrou inviável, pela redução significativa das propriedades avaliadas.

Lazzeris (2019) estudou a incorporação de agregados plásticos (areia de PET) em blocos de concreto para pavimentação nos teores de substituição de 1%, 2%, 3%, 4% e 5% e avaliou as propriedades mecânicas dos Pavers. O autor concluiu que o uso de agregados plásticos em blocos de concreto para pavimentação é tecnicamente viável, desde que o tipo adequado de plástico seja escolhido e os teores sejam compatíveis com as resistências mínimas requeridas para o concreto, de acordo com as normas vigentes. Lazzeris (2019) observou valores baixos de absorção de água nas amostras ensaiadas, o que sinalizam a presença de poucos vazios no concreto e, de uma forma indireta, uma porosidade baixa para o material, o que, segundo o autor, é bastante positivo.

Souza et. al (2020) avaliou a incorporação de resíduo de PET na confecção de Pavers e avaliou as propriedades físicas e mecânicas das peças (resistência a compressão, avaliação dimensional, ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica). O autor concluiu que a substituição parcial do agregado miúdo para a fabricação de Pavers é considerada viável tecnicamente para os teores de 3% e 6% de substituição para peças destinadas a ambientes de tráfego leve e médio. Concluiu também que o teor de substituição de 9% apesar de ter representado o maior ganho em leveza das peças, não se mostrou viável para estas aplicações, porque a resistência não se enquadrou na faixa de emprego considerada da norma vigentes.

O Quadro 1 apresenta uma compilação da literatura consultada sobre a utilização de areia de PET em matrizes cimentícias (argamassas e concretos), bem como as propriedades avaliadas e as conclusões obtidas pelos respectivos pesquisadores.

Quadro 1 - Revisão de trabalhos científicos com incorporação de areia de PET em matrizes cimentícias.

Autor	Matriz Cimentícia	Teor de areia de PET utilizado (%)	Propriedades avaliadas	Conclusões
Dacheri (2019)	Concreto	20% e 50%	Propriedade mecânicas (compressão axial) e durabilidade do concreto endurecido	Concluíram que os concretos com areia de PET no teor de 20% apresentaram resultados de resistência à compressão axial semelhantes aos do traço de referência (sem areia de PET), não havendo redução expressiva dessa propriedade ao serem expostos até a temperatura de 400 célsius. Contudo o traço com substituição de 50% de areia de PET se mostrou inviável, pois obteve redução significativa das propriedades avaliadas e não alcançou os critérios estabelecido pela norma vigente.
Lazzeris et al. (2019).	Concreto	1%,2%.3%.4%.5%e10%	Resistência à compressão axial e a absorção de água	O autor concluiu que o uso de agregados plásticos em blocos de concreto para pavimentação é tecnicamente viável, desde que o tipo adequado de plástico seja escolhido e os teores sejam compatíveis com as resistências mínimas requeridas para o concreto, de acordo com as normas vigentes ,observou valores baixos de absorção de água nas amostras ensaiadas, o que sinalizam a presença depoucos vazios no concreto e, de uma forma indireta, uma porosidade baixa para o material, o que, segundo o autor, é bastante positivo.
Veríssimo (2014)	Concreto	10%,25%,.50%,100%.	Propriedades mecânicas (resistência à compressão axial) e de durabilidade (absorção de água)	Os resultados dos ensaios de (absorção de água e resistência à compressão axial) mostraram que a melhor porcentagem de substituição ficou entre 10% e 25%. Ao analisar a resistência do concreto moldado com 100% de PET o autor concluiu que a adição dos agregados alternativos colaborou para uma melhor resistência no produto, mesmo assim não obteve êxito em alcançar a resistência inicialmente proposta, de 35 MPa
Sousa (2020)	Concreto	3%, 6% e 9%	Físicas (Absorção de água; índice de vazios; massa específica) Avaliação dimensional e Resistência Mecânica à compressão axial	A utilização do resíduo plástico pode ser considerada ambientalmente viável, pois contribui para a preservação do meio ambiente e de seus recursos naturais, bem como no aumento da reciclagem de resíduos industriais e pós-consumo, neste caso de polipropileno. O autor é conclui ser viável tecnicamente para os teores de 3% e 6% de substituição para peças destinadas a ambientes de tráfego leve e médio.
Ferrari (2017)	Concreto	15%,30%,45%	Mecânica: - Resistência à compressão Físicas: - Absorção de água - Índice de vazios - Massa específica	Os resultados dos ensaios de (absorção de água e resistência à compressão axial) mostraram que a melhor porcentagem de substituição ficou entre 10% e 25%. Ao analisar a resistência do concreto moldado com 100% de PET o autor concluiu que a adição dos agregados alternativos colaborou para uma melhor resistência no produto, mesmo assim não obteve êxito em alcançar a resistência inicialmente proposta, das normas vigente.
Fernandes (2017)	Concreto	10% e15%	Propriedades mecânicas (resistência à compressão axial, resistência à tração) e retração por secagem.	Conclui-se, que a incorporação de agregado reciclado de PET é viável, já que a substituição não trouxe prejuízo ao concreto com isso avisando a sustentabilidade e a viabilidade que, para este trabalho, a utilização de agregado reciclado de PET é viável, já que a substituição não trouxe prejuízo ao concreto que se refere a resistência à compressão axial, resistência à tração e retração por secagem. Os teores 10% e 15 % de areia de PET em substituição ao agregado miúdo obtiveram resultados favoráveis em comparação a um concreto de referência (sem PET).

... Continua

...Continuação

Autor	Matriz cimentícia	Teor de areia de PET utilizado (%)	Propriedades avaliadas	Conclusões
Lira (2017)	Argamassa	20% e 30%	Propriedades mecânicas - - Resistência à compressão Físicas: - Absorção de água	Segundo o autor, objetivou-se com este trabalho avaliar a microestrutura de argamassas incorporadas com PET micronizado em substituição parcial ao agregado miúdo nos teores 20% e 30%. Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 5 cm x 10 cm e avaliados as propriedades físicas, mecânicas e microestrutura das argamassas aos 7, 14 e 28 dias. Verificou-se, em comparação com as argamassas de referência, um aumento na absorção de água e índice de vazios. Os ensaios de compressão simples indicaram que a resistência das argamassas diminui a medida que aumenta o percentual de incorporação de PET, e, para ambos os teores, os resultados foram inferiores aos das amostras de referência. A investigação através de MEV identificou que as argamassas incorporadas com PET possuem uma matriz irregular e heterogênea, com presença de vazios na estrutura. argamassas não apresentaram divergências considerativas para as propriedades avaliadas (análise dimensional, resistência à compressão) em relação as argamassas de referência (sem resíduo).
Duó (2017).	Argamassa	5%, 15% e 30%	Análise dimensional, resistência à compressão axial e resistência térmica	Com isso o autor conclui que viável a incorporação de agregado miúdo reciclado de PET em substituição ao agregado natural como função de revestimento sobre blocos cerâmicos (foi utilizada em substituição parcial ao agregado miúdo natural nos teores de 5%, 15% e 30%. Também foi produzido um traço de referência (sem PET). Segundo a autora, a argamassa com areia de PET apresentou melhorias nas características físicas e mecânicas das argamassas, uma vez que atendeu os parâmetros da NBR 13749 (ABNT, 2013), quanto aos aspectos de resistência à tração do revestimento, ao avaliar a influência da utilização da areia de PET na substituição parcial ao agregado miúdo natural em diferentes traços da argamassa e avaliou algumas propriedades físicas e mecânicas.

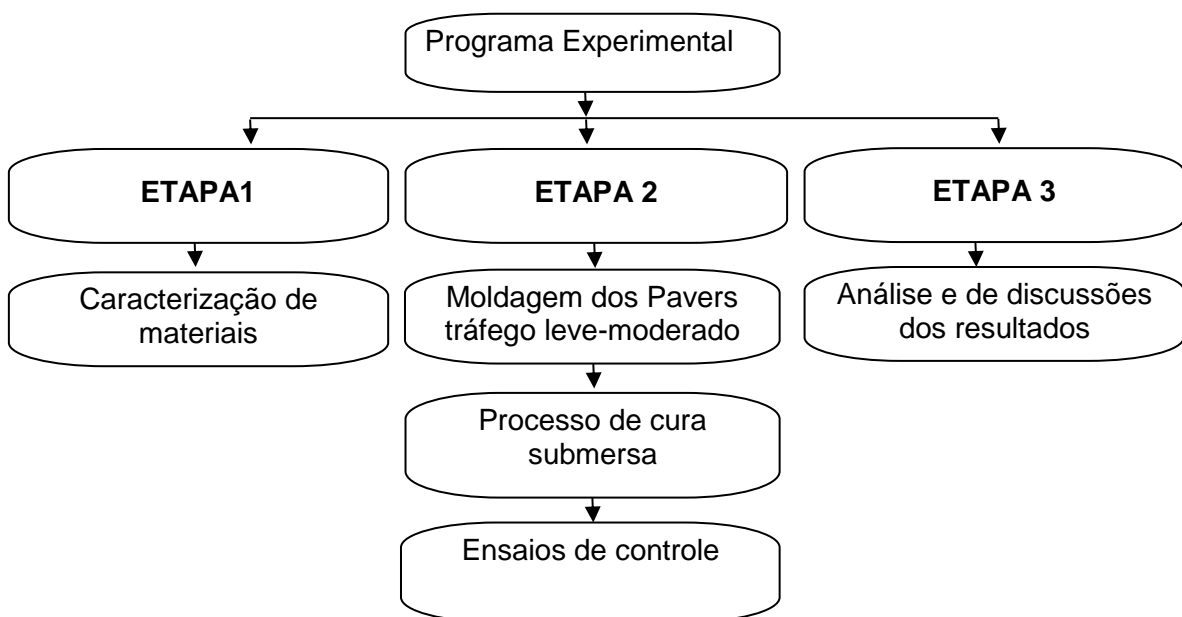
Fonte: Elaborado pelo autor.

3. METODOLOGIA

Nos itens 3.1 a 3.3 desse tópico são apresentados os materiais e os métodos que foram utilizados para o desenvolvimento da pesquisa. O experimento foi executado no município de Alegrete-RS, no Laboratório de Materiais do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa.

O programa experimental foi organizado em três etapas distintas, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11-Programa Experimental.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1. Etapa 1: Caracterização dos Materiais

A Etapa- 1 corresponde ao conjunto de ensaios executados para determinar as propriedades dos materiais selecionados para a confecção dos concretos.

Para a produção dos concretos foi utilizado cimento Portland CPV-ARI RS da marca Votorantim, que atendem aos critérios estabelecidos pela NBR 16697 – Cimento Portland de alta resistência inicial (ABNT,2018) A Caracterização do cimento Portland foi fornecida pelo fabricante, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1- Caracterização do cimento CPV ARI.

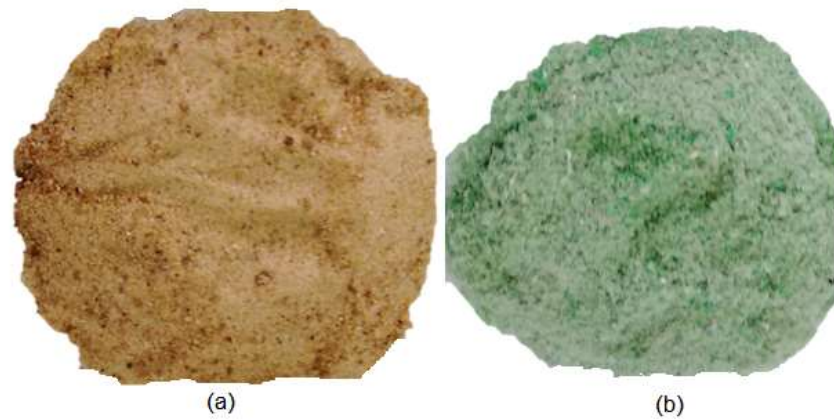
ENSAIOS QUÍMICOS			
Ensaíos	UN.	Resultados	Exigências
Resíduo Insolúvel - RI	%	0,83	≤ 1,0
Perda ao Fogo - PF	%	3,80	≤ 4,5
Óxido de Magnésio - MgO	%	4,11	≤ 6,5
Trióxido de Enxofre – SO ₃	%	3,42	≤ 4,0
Anidrido Carbônico – CO ₂	%	2,95	≤ 3,0
ENSAIOS FÍSICOS			
Ensaíos	UN.	Resultados	Exigências
Área Específica (Blaine)	cm ² /g	4719	≥ 3000
Massa Específica	g/cm ³	3,05	Não aplicável
Índice de finura fundo - #75µm (nr. 200)	%	0,20	< 6,0
Resíduo na peneira #325	%	2,24	Não aplicável
Água de consistência normal	%	28,8	Não aplicável
Início de pega	minutos	124	> 6,0
Fim de pega	minutos	183	< 600
Expansibilidade à quente	mm	0,00	≤ 5,0
ENSAIOS MECÂNICOS			
Ensaíos	UN.	Resultados	Exigências
Resistência à Compressão – 3 dia	MPa	34,6	24,0
Resistência à Compressão – 7 dia	MPa	37,2	34,0

Fonte: Votorantin.cimentos.

Os agregados (areia natural, areia de PET e brita) foram caracterizados anteriormente à produção dos concretos, no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LEMAC). A Figura 12 apresenta os agregados miúdos utilizados nesta pesquisa.

A areia de PET utilizada em substituição parcial ao agregado miúdo natural (areia) para fabricação dos Paviers é proveniente da moagem de garrafas *de descarte* do tipo *PET* e foi disponibilizada *pela* empresa PETCEU (Paraná/PR). O produto foi adquirido moído e está armazenado no Laboratório de Materiais do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa. A granulometria foi realizada de acordo com as recomendações normativas da NBR NM 248 (ABNT, 2003). O Quadro 2 apresenta os ensaios que foram executados para a caracterização dos materiais e suas respectivas normas técnicas.

Figura 12 - Agregado miúdo utilizado para a produção dos Pavers, onde: a) areia natural; b) areia de PET.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 2 - Ensaio de caracterização dos agregados.

Material	Propriedades	Obtenção	Norma Regulamentadora
Agregado Miúdo	Granulometria	Ensaio Laboratoriais	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
	Massa Específica		NBR 16916 (ABNT, 2021)
Agregado Graúdo	Granulometria	Ensaio Laboratoriais	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
	Massa Específica		NBR 16917 (ABNT, 2021)

Fonte: Elaborado pelo autor.

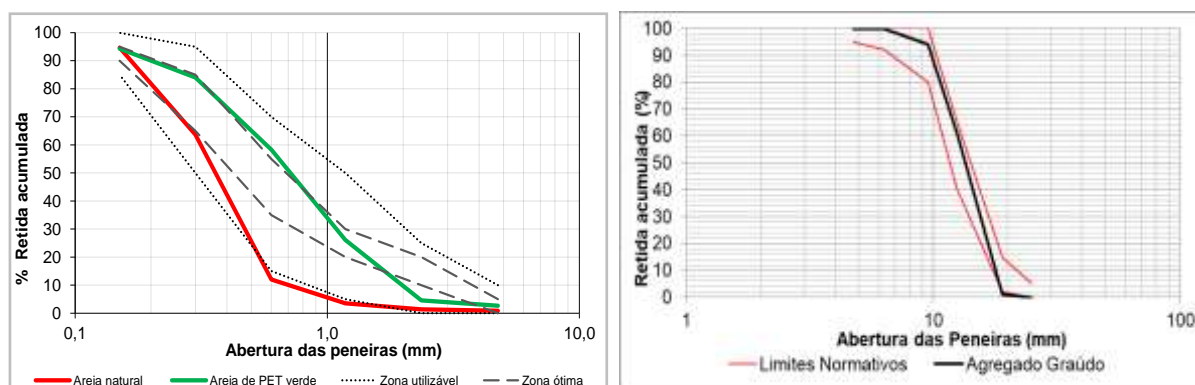
Os resultados dos ensaios de granulometria dos agregados (areia natural, areia de PET e brita) são apresentados na Tabela 2 e na Figura 13.

Tabela 2- Caracterização dos agregados

Agregado Miúdo	Dimensão Máxima (mm)	Módulo de Finura
Agregado miúdo natural	1,18	1,77
Areia de PET	2,36	2,65
Agregado graúdo		
Diâmetro máximo	19 mm	
Módulo de Finura	6,95	
Massa específica do agregado seco (g/cm ³)	2,72	
Absorção de água (%)	2,08	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13-Distribuição granulométrica dos agregados



Fonte: Elaborado pelo autor.

A leitura do gráfico da Figura 13 mostra que a composição granulométrica da areia de PET está situada em parte na zona ótima e totalmente dentro da zona utilizável, o que demonstra que a granulometria do material atende os padrões normativos e está adequada para uso em concretos.

A areia natural é caracterizada como areia fina e o agregado graúdo possui distribuição granulométrica que atende também os padrões normativos.

3.2. Etapa 2: Produção e Cura dos Concretos

O programa experimental foi desenvolvido tomando como base um traço de concreto de resistência de 50MPa, atendendo os requisitos normativos para Paviers destinados a tráfego pesado conforme a NBR. 9781(ABNT 2013). O traço foi previamente definido em um estudo de dosagem, preliminarmente ao desenvolvimento da pesquisa. A partir do traço de referência foram produzidos mais dois traços como a incorporação de areia de PET. Em função da areia de PET apresentar menor densidade do que a areia natural, a substituição dos materiais no traço ocorreu em volume, nos teores de 10% e 20% de substituição.

O desenvolvimento do Programa Experimental foi realizado com a execução dos três traços, apresentados na Tabela 3, com consumo de cimento de 420 kg/m³. O traço T1 foi chamado de traço de referência por ser composto por 100% de agregado miúdo natural (areia).

A partir do traço de referência (T1) foram produzidos mais dois traços com substituição parcial em volume da areia natural pela areia de PET em distintos teores. O traço T2 foi produzido com areia de PET em substituição de 10% em volume sobre

o agregado miúdo natural (areia) e o traço T3 foi produzido com substituição parcial em volume de 20% do agregado miúdo por areia de PET.

A escolha dos teores de 10% e 20% se justifica pelo fato de na literatura muitos pesquisadores como Dachherri (2019), Ferrari (2017) e Veríssimo (2014) apontarem bons resultados em suas pesquisas com concretos e argamassas dentro deste limite de substituição.

Tabela 3- Traço unitário em massa (kg)

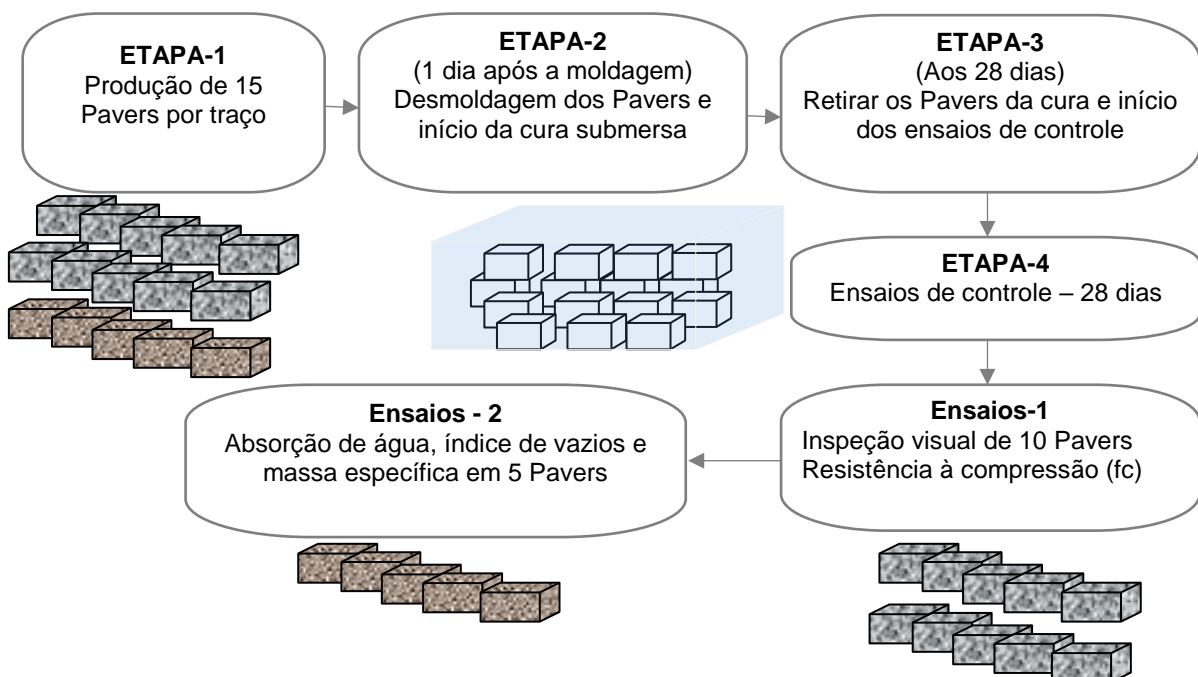
Traço	Cimento	Areia Natural	Areia de PET	Pedrisco	a/c
T1	1	1,64	0	2,86	0,45

Consumo de cimento: 420 kg/m³

Fonte: Elaborado pelo autor.

A trabalhabilidade dos concretos foi fixada em 8±2cm e foi monitorada pelo ensaio de abatimento de tronco de cone (ABNT NM 67, 1998). Após a produção dos concretos, os corpos de prova foram moldados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015). O detalhamento dos processos que foram realizados no Programa Experimental - por traço produzido – é apresentado na Figura 14.

Figura 14-Detalhamento das Etapas do Programa Experimental por traço.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente foi realizada a produção dos pavers de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2015) e um dia após a moldagem, os corpos de prova foram retirados dos moldes e acondicionados à cura submersa (ETAPA-2).

Na idade de 28 dias todas as amostras foram retiradas da cura submersa (ETAPA 3) para o início dos ensaios de controle (ETAPA 4). Nesta idade, dez (10) corpos de prova foram inspecionados visualmente e posteriormente rompidos para determinação da resistência à compressão axial. Nesta mesma idade (28 dias), cinco (5) amostras foram acondicionadas em estufa, com finalidade de homogeneização da umidade interna para o ensaio de absorção de água por capilaridade (NBR 9781, 2013). A retirada do excesso de umidade dos Pavers foi realizada mantendo as amostras em estufa à temperatura de 50°C, até atingirem constância de massa. Após o procedimento, as amostras permaneceram em ambiente de laboratório até o seu completo resfriamento. Posteriormente, as amostras foram ensaiadas quanto a absorção de água por capilaridade.

3.3. Etapa 3: Ensaios de Controle

Os ensaios de controle para avaliação das propriedades mecânicas e de indicativo de durabilidade foram iniciados a partir dos 29 dias de idade dos concretos.

3.3.1. Inspeção Visual dos Pavers

O ensaio de inspeção visual dos Pavers seguiu as prescrições da NBR 9781 (ABNT, ano 2013) e foi realizado após a idade de 28 dias. É esta Norma Brasileira que define a segurança e a performance dos materiais de concreto dedicados a aplicação em pisos e que regula a produção e aplicação de peças de concreto para pavimentação de vias urbanas, pátios e estacionamentos, entre outros. Também cria regulamentações para a produção do piso intertravado. Para melhor atender as necessidades diárias impostas em diferentes ocasiões, seja trânsito de pessoas, automóveis e máquinas.

Segunda a NBR 9781 as dimensões dos Pavers devem ser padronizadas com largura mínima de 100mm e comprimento máximo de 400mm (ambas com tolerância de 3,0mm) e a espessura mínima de 60mm com tolerância de 5,0mm. Além disso,

devem apresentar comprovadamente 35MPa de resistência para tráfego leve e moderado e 50MPa para tráfego pesado.

São vários os fatores (geométricos, mecânicos e de carregamento) que podem influenciar no dimensionamento do pavimento flexível e no seu desempenho quanto ao aparecimento de fissuras por fadiga. Por isso, os métodos mecânico -empíricos para o dimensionamento são amplamente aceitos e utilizados no âmbito da engenharia de pavimentação.

3.3.2. Avaliação Mecânica dos Pavers – Resistência à Compressão Axial

Após o processo em cura submersa, os Pavers foram submetidos a um processo de capeamento para garantir que suas bases fiquem regularizadas e promova uma homogeneização das forças aplicadas pela prensa nas suas superfícies, conforme NBR 12118/2006. Para esta análise, serão utilizados dez corpos de prova por traço.

A determinação da Resistência à compressão axial foi realizada seguindo as recomendações da NBR-9780/1987. Para laboratórios de ensaio, a máquina de ensaio deve ser classe 1 ou melhor. Para laboratórios instalados em fábricas admite-se a utilização de máquina de ensaio classe 2. Para este ensaio, foi utilizada uma prensa modelo PC 150C, marca EMIC apresentada na Figura 15, com capacidade máxima de 1500kN, classe 1. O carregamento foi aplicado com uma velocidade de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s. A resistência mecânica à compressão axial dos concretos foi avaliada pela NBR 5739 (ABNT, 2018) na idade de 28 dias.

Figura 15- Prensa modelo EMIC PC 150C 1500



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.3. Absorção total de água

O ensaio de absorção total (Figura 16) foi realizado aos 28 dias em cinco corpos de prova para cada traço. O ensaio seguiu as especificações da NBR 9781: 2013, anexo B.

Figura 16- Ensaio de Absorção Total em andamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.4. Absorção de água por capilaridade

O ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade (Figura 17) seguiu as prescrições da NBR 9779 (ABNT, 2012). Este ensaio foi realizado após a idade de 28 dias. Os Paviers foram previamente secos em estufa a temperatura de $(50 \pm 5^\circ\text{C})$, até constância de massa. Após o processo de pré-secagem em estufa, os corpos de prova foram resfriados ao ar em temperatura ambiente $(23 \pm 2^\circ\text{C})$ e tiveram a sua massa seca determinada. Após o resfriamento, as amostras foram acomodadas em um recipiente com água com altura de coluna água controlada (a 5 ± 1 mm acima de sua face inferior) e na sequência foram realizadas pesagens periódicas de cada amostra com a periodicidade de tempo de 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água. Antes das pesagens, os Paviers eram previamente enxugados com pano úmido para a retirada do excesso de umidade.

Figura 17-Ensaio Absorção de água por capilaridade



Fonte: Elaborado pelo autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados alcançados com a realização dos ensaios de controle. No tópico 4.1 estão organizadas as informações referentes às inspeções visuais dos Pavers. No tópico 4.2, os resultados e discussões dos ensaios mecânicos e por fim, no item 4.4 as informações referentes aos ensaios de absorção de água (absorção total e absorção por capilaridade).

Para melhor organização dos resultados foram adotadas nomenclaturas para os traços desta pesquisa. O quadro 3, apresenta a nomenclatura adotada para cada traço, assim como suas correspondentes abreviaturas utilizadas nessa seção.

Quadro 3 -Nomenclatura dos traços adotada

Traço	Abreviatura
Traço referência (convencional) com 100% de areia natural	T1-REF
Traço com 10% de areia de PET em substituição a areia natural	T2-10PET
Traço com 20% de areia de PET em substituição a areia natural	T3-20PET

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1. Inspeção Visual dos Pavers

O ensaio de inspeção visual dos Pavers (Figura 18 e Figura19) seguiu as prescrições da NBR 9781 (ABNT, ano 2013) e foi realizado após a idade de 28 dias. Segundo a NBR 9781 as dimensões dos Pavers devem ser padronizadas com largura mínima de 100mm e comprimento máximo de 400mm (ambas com tolerância de 3,0mm) e a espessura mínima de 60mm com tolerância de 5,0mm.

Ambos os traços apresentaram medidas similares. Para o comprimento houve uma variação média de 2 mm (com dimensões variando de 198 a 200 mm), para a largura também se observou uma variação média de 2mm (com as medidas oscilando de 98 a 100 mm) e para a espessura dos Pavers, os resultados variaram de 80 a 100mm (a norma recomenda uma espessura mínima de 60mm). Analisando as tolerâncias, todas as amostras verificadas estão dentro das especificações da norma.

Figura 18-Pavers desmoldados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19- Ensaio Inspeção Visual dos Pavers



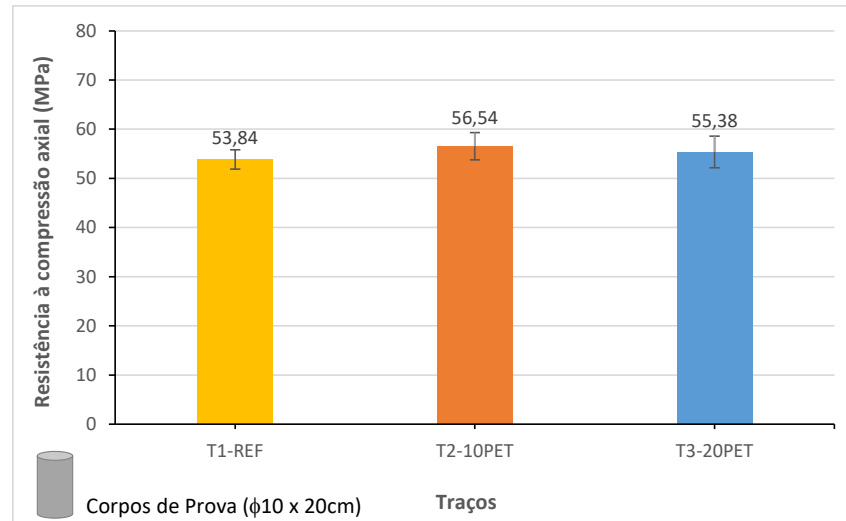
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2. Avaliação Mecânica

A avaliação mecânica dos Pavers (Figura 22) foi realizada em duas idades distintas, aos 28 e aos 56 dias. Segundo a NBR 9781, os Pavers devem apresentar comprovadamente 35MPa de resistência para tráfego leve e moderado e 50MPa, para tráfego pesado.

Paralelamente ao controle mecânico dos Pavers, foram moldados corpos de prova cilíndricos ($\phi 10 \times 20$ cm) para o controle de resistência à compressão axial do concreto aos 28 dias, sendo que para cada traço foram ensaiados três corpos-de-prova cilíndricos. A Figura 20 apresenta os resultados médios obtidos deste controle

Figura 20- Resistência à compressão axial média do concreto aos 28 dias

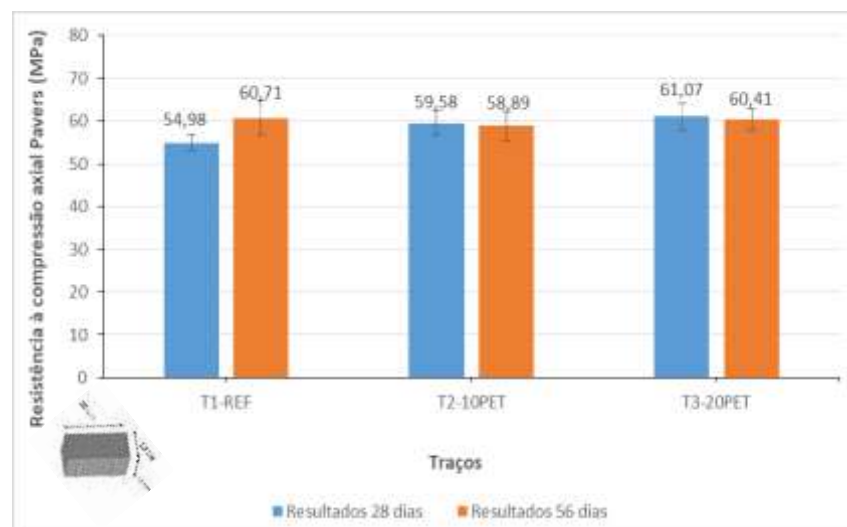


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados apresentados na Figura 10 indicam que todos os traços apresentaram concretos com resistência à compressão axial superior ao previsto na dosagem (50MPa).

A Figura 21 apresenta para os traços estudados os resultados médios dos ensaios mecânicos dos Paviers nas idades de controle de 28 e 56 dias. Os resultados foram obtidos pela ruptura à compressão axial de 10 exemplares (Paviers) por traço.

Figura 21- Resistência à compressão axial média dos Paviers.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 21 indica que para a idade de controle de 28 dias os traços executados atingiram a resistência inicialmente prevista de 50MPa, que corresponde a resistência

mecânica necessária para que os Pavers possam ser empregados em situações de tráfego pesado. A inserção de areia de PET nas misturas promoveu um aumento da resistência mecânica dos Pavers, superando o traço de referência (T1-REF).

Para maiores idades (56 dias) observou-se um incremento na resistência à compressão axial de todos os concretos, porém com pequena amplitude. Entre os traços investigados, o traço T3-20PET apresentou o melhor desempenho mecânico.

Figura 22- Ensaio Resistência à Compressão Axial dos Pavers



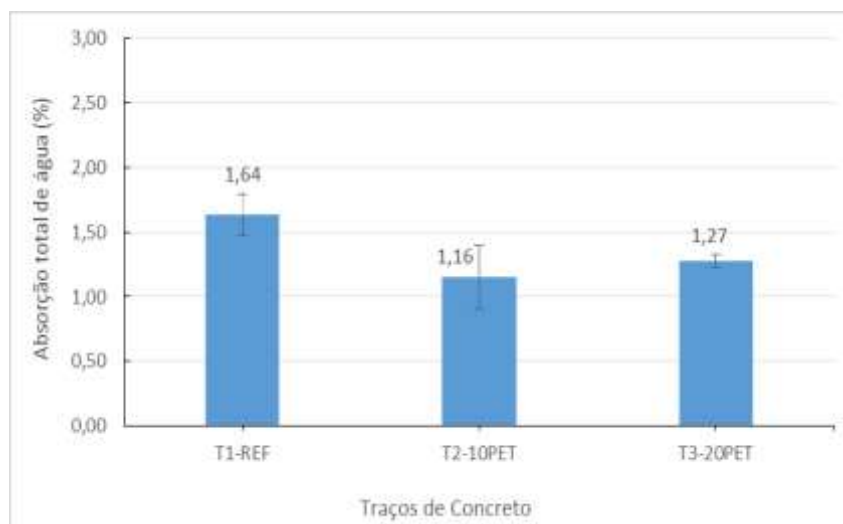
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3. Absorção Total de água

O ensaio para determinação da absorção total de água foi realizado aos 28 dias e seguiu as prescrições da NBR 9778 (ABNT, 2009). Para este procedimento foram utilizados três Pavers por traço e os resultados apresentados neste tópico correspondem aos valores médios obtidos ao final do ensaio.

A Figura 23 apresenta os resultados médios do ensaio de absorção total de água para os traços investigados.

Figura 23-Resultados médios de absorção total de água



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que a incorporação de areia de PET nos traços promoveu uma redução da absorção de água nos concretos. Para esta propriedade, o melhor desempenho foi observado para o traço T2-10PET. No entanto, de acordo com os desvios padrões apresentados no gráfico da Figura 23 parece não haver diferença estatística significativa entre os valores de absorção total de água para os concretos com areia de PET.

Para certificação desta afirmação foi realizada uma análise de variância (ANOVA) com um nível de confiança de 95%. Na análise ANOVA, os valores de probabilidade abaixo de 0,05 ($p \leq 0,05$), para cada comparação entre as médias, indica haver diferença estatística significativa entre os parâmetros testados. Valor de probabilidade acima de 0,05 ($p > 0,05$) indicam não haver diferença estatística. Os resultados são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 -Análise de variância para os concretos com distintos teores de areia de PET frente a absorção total de água.

Efeitos	SQ	GL	MQ	Teste - f	p	Significância
Intercessão	14,75274	1	14,75274	471,9054	0,000000	-
Teor de PET	0,03540	1	0,03540	1,1324	0,318329	Não
Erro	0,25010	8	0,03126			

SQ: Soma quadrática; GL: grau de liberdade; MQ: média quadrática; Teste F: valor calculado de F; p: nível de significância; Se $p < 5\%$ = efeito significativo

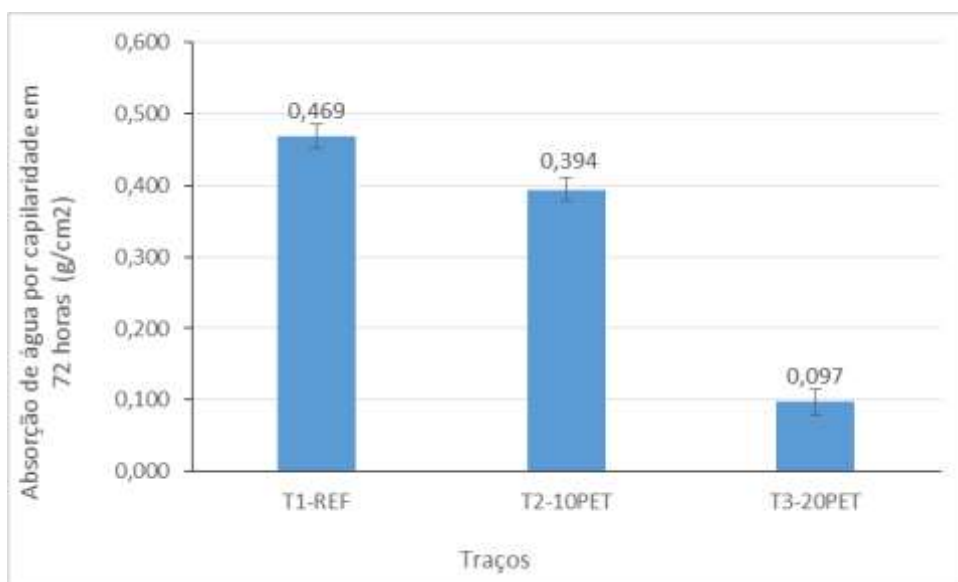
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados da análise de variância, Tabela 4, mostram que não há diferença significativa na absorção total de água aos 28 dias entre os concretos com areia de PET. Ou seja, matematicamente, os valores obtidos no ensaio de absorção de água para os traços com PET (T2-10PET e T3-20PET) são “estaticamente” iguais.

4.4. Absorção de água por capilaridade

O ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade foi realizado na idade de 28 dias e seguiu as prescrições da NBR 9779 (ABNT, 2012). A Figura 24 apresenta os resultados médios da absorção de água por capilaridade após as 72 horas de ensaio. Observa-se na Figura 24 que a incorporação de areia de PET nas misturas favoreceu o fechamento da porosidade do concreto, uma vez que os traços com areia de PET apresentaram melhor desempenho (menor absorção de água por capilaridade) do que o traço de referência (sem areia de PET). Entre as misturas estudadas, o traço T3-20PET apresentou o melhor resultado (menor absorção capilar).

Figura 24 - Resultados de absorção por capilaridade médios.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 5 apresenta a análise de variância (ANOVA) para os resultados de absorção capilar de água para os traços investigados.

Tabela 5- Análise de variância para os concretos com distintos teores de areia de PET frente a absorção de água por capilaridade.

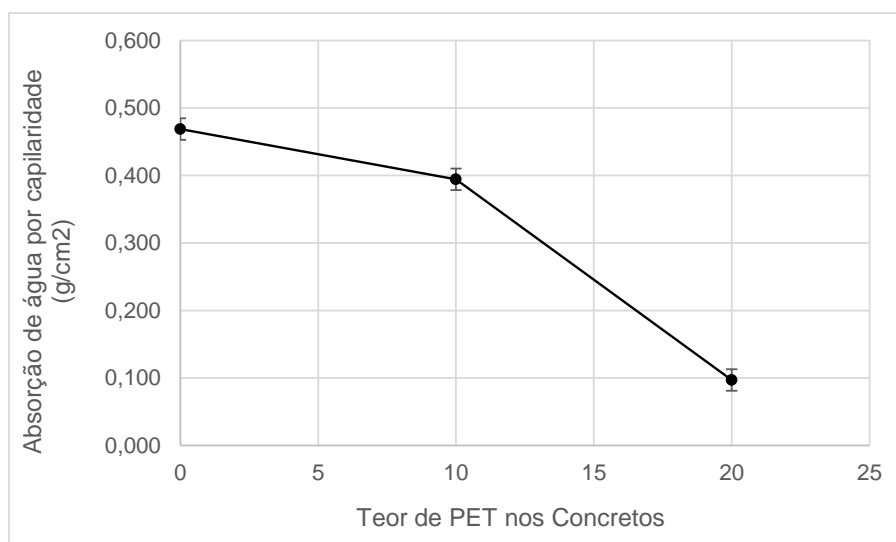
Efeitos	SQ	GL	MQ	Teste - f	p	Significância
Interação	1,535260	1	1,535260	5714,868	0,000000	-
Teor de PET	0,387080	2	0,193540	720,436	0,000000	Sim
Erro	0,003224	12	0,000269			

SQ: Soma quadrática; GL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Teste F: valor calculado de F; p: nível de significância; Se $p < 5\%$ = efeito significativo

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 5 indica que o teor de PET utilizado nos traços de concreto apresentou significância nos resultados de absorção de água por capilaridade. Ou seja, a variação do teor de PET nos concretos influenciou de forma relevante os resultados de absorção de água por capilaridade. O gráfico da Figura 25 mostra o efeito isolado do teor de PET na absorção capilar dos concretos estudados.

Figura 25- Efeito isolado do teor de areia de PET nos concretos.

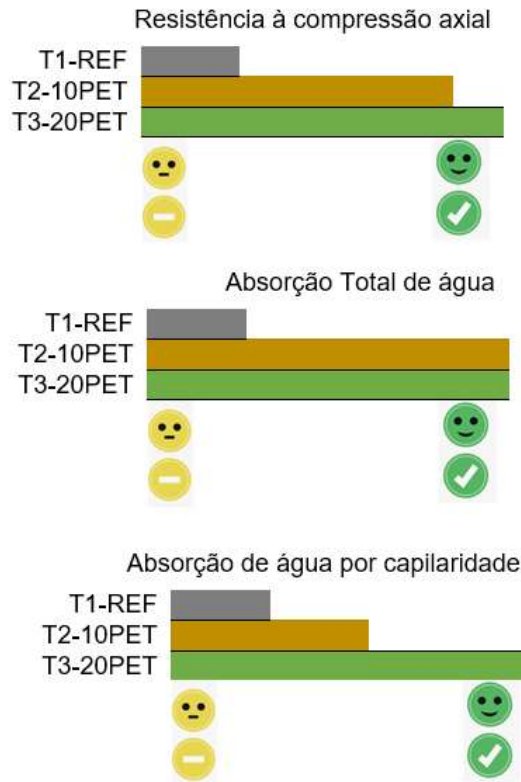


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 25 mostra que a incorporação da areia de PET reduziu a porosidade dos concretos de forma significativa. O traço com maior teor de areia de PET (20%) apresentou os melhores resultados de absorção por capilaridade, apresentando uma menor penetração de água entre as misturas investigadas.

A Figura 26 apresenta um ranking de desempenho dos traços executados de acordo com as propriedades avaliadas (resistência à compressão axial, absorção total de água e absorção de água por capilaridade).

Figura 26- Ranking de desempenho dos concretos por ensaio de controle



Fonte: Elaborado pelo autor.

Entre as misturas investigadas, os traços com areia de PET (T2-10PET e T3-20PET) apresentaram um melhor desempenho para as propriedades avaliadas, superando o concreto de referência (sem areia de PET). Os resultados encontrados permitem concluir que teores de substituição do agregado miúdo natural por areia de PET nos percentuais investigados podem trazer viabilidade técnica para os concretos produzidos, além de contribuírem com a sustentabilidade pelo aproveitamento de um resíduo altamente poluente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa visou estudar o comportamento mecânico e de indicativo de durabilidade de PAVERS de concretos convencionais e de concretos com materiais alternativos - areia de PET para aplicação em ambiente rural. As conclusões sobre a pesquisa são apresentadas abaixo:

As amostras analisadas cumpriram as especificações normativas dos ensaios de controle. Com relação ao aspecto visual, os Pavers apresentaram as tolerâncias dentro dos limites normativos.

A pesquisa mostrou que todos os traços atingiram a resistência mecânica esperada para a idade de controle de 28 dias (50 MPa). Os concretos com incorporação de areia de PET superaram os resultados obtidos para os concretos de referência. Entre as misturas investigadas, o traço T3- 20 PET apresentou o melhor desempenho para a propriedade de resistência mecânica.

Os ensaios de absorção de água indicaram que a incorporação de areia de PET foi benéfica para os concretos, pois promoveu um refinamento dos poros e uma menor absorção de água.

Com relação aos ensaios de absorção de água total e de absorção de água por capilaridade conclui-se que teores de substituição do agregado miúdo natural por areia de PET nos percentuais investigados podem trazer viabilidade técnica para os concretos produzidos, além de contribuírem com a sustentabilidade pelo aproveitamento de um resíduo altamente poluente, colaborando para a minimização do impacto ambiental gerado por estes resíduos. Entre as misturas estudadas, o traço T3-20PET apresentou o melhor desempenho, indicando a viabilidade técnica da incorporação da areia de PET em misturas cimentícias.

Para melhor do domínio sobre o tema da utilização de resíduos de areia de PET para a produção de Pavers, sugere-se que novas pesquisas explorem melhor o tema, utilizando outros tipos de cimento, explorando diferentes idades de controle (principalmente em maiores idades), bem como diferentes teores de substituição.

REFERÊNCIAS

AASHTO, Guide. Guide for design of pavement structures. **American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC**, 1993.

ABCP. Associação Brasileira De Cimento Portland.. Disponível: <https://abcp.org.br/pavimento-intertravado-de-concreto-e-opcao-economica-ao-asfalto> Acesso em em 5de jun. 2023

ABCP. Associação Brasileira De Cimento Portland.. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cimentos/tipos/> Acesso em: 25 de ago 2023.

ABIPET. Associação Brasileira da Indústria do PET. 5° Censo da Reciclagem de PET no Brasil. Brasília. 2008. 25 p. Disponível em:. Acesso em: 10 maio 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto Rio de Janeiro ABNT, 2009.

_____. **7215**. Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro/RJ: ABNT.2019

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro ABNT , 2003.

_____. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro ABNT, 2015.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT 2018.

_____. **NBR 5753**: Cimento Portland-Ensaio de pozolanicidade Rio de Janeiro, ABNT,2016.

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro ABNT, 2012.

_____. **NBR 9.781**. Peças de concreto para pavimentação □ Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro ABNT, 2013

_____. **NBR 16416**. Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro ABNT, 2015.

_____. **NBR 16697**. CIMENTO Portland- Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em 8 maio. 2023.

BITTENCOURT, S. F.. **Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de**

fundição. 2012. Tese de Doutorado. [sn]. Disponível em <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/850357>. Acesso em 10 jun 2023.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS., J. M. E. de.. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015. Disponível em <https://www.scielo.br/j/ce/a/8v5cGYtby3Xm3Snd6NjNdtQ/>. Acesso em 02 jun 2023.

CANELLAS, S. S.; D'ABREU, J.C.. Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas. **ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, ENTME**, v. 21, p. 299-304, 2005.

DACHERI, M. E. F.. **Avaliação do comportamento de concretos com Politereftalato de etileno submetidos a elevadas temperaturas.** 2019. Disponível em <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/4866>. Acesso em 10 ago 2023.

DE JESUS L. J.; Q., P. H. M.; RICARDO, D.. AVALIAÇÃO DE BLOCO INTERTRAVADO DE CONCRETO UTILIZANDO PLÁSTICO COMO AGREGADO MIÚDO. **HUMANIDADES E TECNOLOGIA (FINOM)**, v. 22, n. 1, p. 39-55, 2020. Disponível em http://revistas.icesp.br/index.php/FINOM_Humanidade_Tecnologia/article/view/1090. Acesso em 24 ago 2023. :

DUÓ, D.. **Estudo da aderência e da absorção de água em argamassas de revestimento com agregados reciclados de PET em substratos de blocos cerâmicos.** 2017. Disponível em <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/2129>. Acesso em 03 de 3jul 2023.

FERNANDES, Idário. Blocos e Pavers: produção e controle de qualidade. **Jaraguá do Sul: Editora Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda**, 2012.

FERNANDES, Andriellen Paz. Estudo da viabilidade da substituição parcial de areia natural por agregado reciclado de PET nas propriedades mecânicas e de retração por secagem de concretos convencionais. 2017. Disponível em <https://repositorio.unipampa.edu.br/handle/riu/2131> . Acesso em 03 jun. 2023.

GIONGO, J. S. . **Concreto armado: projeto estrutural de edifícios..** Sao Carlos, SP: EESC, 2007. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51790191/CONCRETO_ARMADO_-_PROJETO_ESTRUTURAL_-_USP-libre.pdf?1487076232=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDADE_DE_SAO_PAULO_ESCOLA_DE_ENGE.pdf&Expires=1702942719&Signature=PYh-FOH76c6HIqhUORHH8IRC6SbQUQ1fLD8Kmpuz~f9nSe~8t3O~NdmmR~xBKhfYq0r84IIDazew8qmgku931AQwudxNOVtNKnzCQu0fUr2iQKqa8s4cTS1aPpLCuMF87NGlWCTrafhpXdTcvs71eBXDYr9vO0LCW9fYoATjDAdeIYdtYwexTU1dulYheWsSFO11z8Up4wlhThcMFQ3FgJVxaBZKgTdwVgHQcGo~V6ZfSIzbr5PhUNPIIYe1UxLdooohAsfE6vV~cB~Sjx7NqKtdb5OUIpXZ-gBCYiV5FumGF38h-T~TgarAiy1LTmXIIAlgHHZ7MDHwjIKfwRMAAQg_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA Acesso em: 05 jun. 2023.

GODINHO, D. P.. **Pavimento intertravado: uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade**. 2009. 158 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

HALLACK, . **Dimensionamento de pavimentos com revestimento de peças pré-moldadas de concreto para áreas portuárias e industriais**. 1998. 116 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Disponível em <https://repositorio.usp.br/item/001038056>. Acesso em 10 de jun. 2023.

KAMALL, et al.. **Carbon Dioxide Sequestered Concrete: A Review Paper**. Preprints. 2020. <<https://www.preprints.org/manuscript/202008.0187/v1>>. Acesso em: 18 dez. 2023.

LAZZERIS, F. D.; ALIONÇO, H.; DUARTE, T. R. S.. **Estudo de viabilidade técnica da produção de blocos de concreto de alta resistência com uma blenda de PE+PET para uso em pavimentação intertravada**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em : <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7974>. Acesso em 10 jun. 2023.

LIEBERNBERG, .Optical Standards And The American Society For Testing And Materials (ASTM). In: **Los Alamos Conference on Optics 1979**. SPIE, 1980. p. 127-157.

MATTAR, Danilo Charbel e VIANA, Ednilson. **Utilização de resíduos poliméricos da indústria de reciclagem de plástico em blocos de concreto**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 8, n. 8, p. 1722-1733, 2012Tradução . . Disponível em: <https://doi.org/10.5902/223611706471>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MODRO, N. L. R. **Desenvolvimento e Caracterização de Concreto de Cimento Portland Contendo Resíduos Poliméricos de PET**. 2008. Tese de Doutorado. Dissertação de M.Sc., UNIVILLE, Joinville, SC, Brasil, 200. Disponível em: <https://www.univille.edu.br/account/mep/VirtualDisk.html/downloadDirect/2826307/Dissertacao_Neilson_Luiz_Ribeiro_Modro.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.

NEVILLE, A. M.. **Propriedades do Concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NEVILLE, A. M **Tecnologia do Concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010 v1.

OLIVEIRA, T. C. M. de. **Estudo dos efeitos da incorporação do resíduo de vidro temperado como agregado graúdo no concreto de cimento Portland..** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. NATAL, 2019. Disponível em <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/40466>. Acesso em Acesso em: 18 jul. 2023.

PEDERNEIRAS, C. M. BRAZÃO C. F.. **Carbonation Potential of Cementitious Structures in Service and Post-Demolition: A Review**. Civil Eng. 2022, 3, 211–

223. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2673-4109/3/2/13>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

PEREIRA, C. **Piso Intertravado: O que é, principais tipos, vantagens e desvantagens.** *Escola Engenharia*, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/piso-intertravado/>. Acesso em: 5 de junho de 2023.

RIBAS, I. M. O.; OKONSKI, M. E. P. da S.. **Resíduos para incorporação em traços de concreto convencional.** 2020. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/45e769e5-06ae-45ad-a0ad-6d35fb5efe08>>. Acesso em: 5 jun. 2023.

SANTOS, A.G.; FERRARI, A.K. Influência do resíduo de PVC como agregado no concreto para peças de pavimentos intertravados. **Ambiente Construído**, v. 19, p. 39-51, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/MGf7Kwxs36SmxH6K5NyQL5t/?lang=pt>. Acesso em 4 maio 2023.

SIDAC. – **Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção – permite calcular indicadores de desempenho ambiental do berço ao portão da fábrica para produtos de construção**, com base em dados brasileiros verificados. Sidac. Org.br. Disponível em: <<https://sidac.org.br/>>. Acesso em: 15 de jun. de 2023.

SILVA, 2022. **Sistema de piso com peças de concreto [livro eletrônico]: pavimento intertravado: manual de desempenho** /. --1. ed. -- São Paulo, SP: Disponível em: <https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2022/08/Manual-de-Desempenho-Pavimento-Intertravado_4.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2023. [historia-do-concreto/](https://www.historia-do-concreto.com.br/). Acesso em 2 de maio de 2023.

SOUSA, C.S. De; . **Análise da viabilidade técnica da utilização do resíduo de polipropileno como agregado miúdo reciclado para produção de pavers.** 2020. (Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – pela Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2020. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/4552/1/TCC_AnaliseViabilidadeTecnica.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2023.

VAZ, C. E.. **Avaliação de desempenho de argamassa modificada: com areia de pet.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete., 2016. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br/handle/rii/1893>>. Acesso em: 18 ago. 2023.

VERISSIMO, R. **Utilização de Resíduo de Plásticos para a Produção de Blocos Intertravados - Pavers.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá 2014. Disponível em: <<http://www.peu.uem.br/RafaelVerissimo3.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

VOTORANTIN. **Boletim de ensaios de cimento.** [São Paulo], 2019. Disponível em: <https://www.votorantincimentos.com.br/>. Acesso em 23 de agosto de 2023