UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO E ASSUNTOS ESTUDANTIS
ENGENHARIA CIVIL

Isabella França Teixeira
Larissa França Teixeira
Rafael Santana de Aranda

UTILIZAÇÃO DE PNEU COMO PARTE DE AGREGADO NA ELABORAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE PISO INTERTRAVADO

Sorocaba/SP
2023

Isabella França Teixeira
Larissa França Teixeira
Rafael Santana de Aranda

UTILIZAÇÃO DE PNEU COMO PARTE DE AGREGADO NA ELABORAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE PISO INTERTRAVADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade de Sorocaba.

Orientador: Prof. Dr. Norberto Aranha

Sorocaba/SP
2023

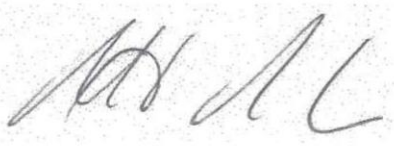
Isabella França Teixeira
Larissa França Teixeira
Rafael Santana de Aranda

UTILIZAÇÃO DE PNEU COMO PARTE DE AGREGADO NA ELABORAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE PISO INTERTRAVADO

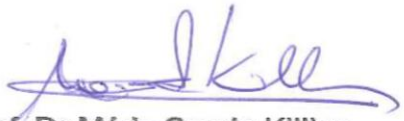
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade de Sorocaba.

Aprovado em: 07 de dezembro de 2023

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Norberto Aranha
Universidade de Sorocaba



Prof. Dr Mário Sergio Killian
Universidade de Sorocaba

Prof. Me. Paulo Sergio Salmazo
Universidade de Sorocaba

AGRADECIMENTOS

Ao concluirmos esta etapa significante em nossa jornada acadêmica, queremos expressar a nossa profunda gratidão primeiramente a Deus por nos permitir essa oportunidade e nos capacitar para concluir de uma forma excepcional, aos nossos pais, cujo o amor e o apoio foram a bússola que nos guiou ao longo de todos esses anos e por nunca terem medido esforços para nos ajudar nesse período de estudo, não há palavras suficientes para agradecer, a confiança em nós e nos nossos sonhos foram a força motriz para cada conquista. Essa conquista é tão de vocês quanto nossa.

Aos professores, cuja dedicação ao ensino e paixão pelo conhecimento foram inspiradoras, nossos mais sinceros agradecimentos. Suas orientações foram a bússola acadêmica que moldou este trabalho. Suas críticas construtivas e incentivo foram essenciais para nosso crescimento como estudante e pesquisadores.

A Universidade de Sorocaba e ao Lapec, agradecemos pela infraestrutura, recursos e oportunidades que nos proporcionaram. Aprendi não apenas teorias, mas também a importância da prática e da colaboração. Também a empresa Geraltest que nos ajudou na realização dos ensaios para a conclusão dessa pesquisa.

A cada um de vocês, nossa eterna gratidão. Este marco expressa não apenas o fim de um capítulo, mas o início de novos desafios e conquistas, que levaremos conosco as lições e memórias preciosas desta jornada. Que este agradecimento não seja apenas palavras escritas, mas um reflexo do profundo apreço que carregamos em nosso coração. Obrigado por fazerem parte desta jornada extraordinária. Nossa sincera gratidão.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo” - Martin Luther King

RESUMO

Este estudo aborda a reutilização de pneus como uma solução ambientalmente amigável. A quantidade considerável de resíduos de pneus no Brasil, gerenciada por organizações como a Reciclanip, destaca a importância da sustentabilidade na construção civil. A pesquisa proposta visa avaliar a viabilidade do uso de pneus reciclados na composição de blocos de pavimento intertravado, com foco na resistência mecânica. Os objetivos incluem revisão bibliográfica, fabricação de blocos, ensaios de resistência e classificação dos materiais. A produção dos corpos de prova foi iniciada a partir do ensaio de peneiramento, necessário para definir a granulometria dos materiais de partida. Após este ensaio, foram montados corpos de prova para analisar a resistência mecânica de um piso contendo borracha de pneu em sua composição, seguindo a ABNT NBR 5738:2018. Foram testados inicialmente dois diferentes traços antes da moldagem, sendo o Traço 2 (1:0,25:0,50:0,25:0,47) o escolhido para os testes. Foram moldados dois corpos de prova para cada porcentagem de borracha adicionada (0%, 5%, 10%, 15%), substituindo o pó de pedra. A pesquisa visou analisar a substituição parcial de agregados por borracha de pneu inservível no concreto, comparando desempenhos. Usando o cimento CP V-ARI, além do concreto de referência. Aos 7 dias, 5% e 10% tiveram desempenho próximo ao padrão, enquanto 15% foram inferiores. Aos 14 dias, 5% e 10% atingiram resistência adequada, e aos 28 dias, todas ultrapassaram os 35 MPa, exceto 15%. A resistência diminui com substituições acima de 10%. O uso de borracha de pneu na produção de pisos intertravado mostrou-se viável e traz vantagens ambientais, mas desafios incluem custos elevados, falta de práticas comuns no Brasil e regulamentação.

Palavras-chave: Pavimentação; Piso; Borracha; Reciclagem; Impacto ambiental.

ABSTRACT

This study addresses tire reuse as an environmentally friendly solution. The considerable amount of tire waste in Brazil, managed by organizations such as Reciclanip, highlights the importance of sustainability in construction. The proposed research aims to evaluate the feasibility of using recycled tires in the composition of interlocking pavement blocks, with a focus on mechanical resistance. The objectives include literature review, block manufacturing, resistance tests and material classification. The production of the test specimens began with the sieving test, necessary to define the particle size of the starting materials. After this test, test specimens were assembled to analyze the mechanical resistance of a floor containing tire rubber in its composition, following ABNT NBR 5738:2018. Two different traces were initially tested before molding, with Trace 2 (1:0,25:0,50:0,25:0,47) being chosen for the tests. Two specimens were molded for each percentage of rubber added (0%, 5%, 10%, 15%), replacing the stone powder. The research aimed to analyze the partial replacement of aggregates with unusable tire rubber in concrete, comparing performances. Using CP V-ARI cement, in addition to the reference concrete. At 7 days, 5% and 10% performed close to the standard, while 15% were inferior. At 14 days, 5% and 10% reached adequate resistance, and at 28 days, all exceeded 35 MPa, except 15%. Resistance decreases with replacements above 10%. The use of tire rubber in the production of interlocking flooring proved to be viable and brings environmental advantages, but challenges include high costs, lack of common practices in Brazil and regulation.

Keywords: Paving; Floor; Rubber; Recycling; Environmental impact.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento *Portland*
ANIP	Associação Nacional da Industria de Pneumáticos
CBR	California *Bearing Ratio*
CONAMA	Concelho Nacional do Meio Ambiente
CO_2	Dióxido de Carbono
CP	Corpo de Prova
CP I	Cimento Portland Comum sem Adição
CPV	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CPB	Cimento Portland Branco
CP II-E	Cimento Portland Composto
CP I-S	Cimento Portland Comum com adição
CP III	Cimento Portland de Alto-forno
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
D.MÁX.	Diâmetro Máximo
LAPEC	Laboratório de Práticas em Construção Civil
MÓD. FIN	Módulo de Finura
MT	Massa Total
MPa	Mega Pascal
NBR	Normas Brasileiras
NM-ISO	*International Organization for Standardization*
RG	Resíduo Gerado de Borracha
T1	Traço 1
T2	Traço 2
T3	Traço 3
T4	Traço 4
Tf	Tonelada-força
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNISO	Universidade de Sorocaba

LISTA DE FIGURAS, TABELAS E GRÁFICOS

Figura 1 – Camadas da pavimentação 19
Figura 2 – Execução da montagem espinha de peixe.....20
Figura 3 – Execução da montagem em forma de fileira 20
Tabela 1 – Seção nominal de peneiras normais e intermediária 28
Figura 4 – Conjunto de peneiras.....34
Figura 5 – Agitador mecânico 34
Figura 6 – Agregados ensaiados 35
Figura 7 – Pesagem de cada agregado.....36
Figura 8 – Amostra de areia na estufa.....36
Figura 9 – Agitador com o conjunto de peneiras 37
Figura 10 – Quantidade retida em cada peneira 38
Tabela 2 – Quantidade de materiais usados no traço 39
Figura 11 – Preparação do concreto 40
Figura 12 – Montagem dos corpos de provas 41
Figura 13 – Corpos de prova desmoldados.....41
Figura 14 – Prensa hidráulica 42
Tabela 3 – Quantidade retida de areia 43
Gráfico 1 – Curva granulométrica da areia.....44
Tabela 4 – Quantidade retida da brita 45
Gráfico 2 – Curva granulométrica da brita.....46
Tabela 5 – Quantidade retida do pó de pedra 47
Gráfico 3 – Curva granulométrica do pó de pedra.....47
Tabela 6 – Quantidade retida de borracha 48
Grafico 4 – Curva granulometrica da borracha.....49
Tabela 7 – Resistência a idade de 7 dias 50
Tabela 8 – Resistência a idade de 14 dias.....51
Tabela 9 – Resistência a idade de 28 dias.....52
Grafico 5 – Comparação de resistências dos pisos 53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA 15

2.1 A borracha e sua reciclagem 15

2.2 Reciclagem de pneu no Brasil 16
2.2.1 Gestão de residuos sólidos no Brasil 16
2.2.2 Legislação dessa gestão 16

3 PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA E SEUS COMPONENTES 18

3.1 Fabricação do intertravado 20
3.1.1 Preparação da matéria prima 21
3.1.2 Adição de pigmentos (opcional) 21
3.1.3 Moldagem 21
3.1.4 Compactação e vibração 21
3.1.5 Cura do material 21
3.1.6 Desmoldagem 21
3.1.7 Armazenamento e inspeção 22

3.2 Traços usuais para fabricação 22
3.2.1 Procedimento geral para mistura 23

3.3 Cimento 23

3.4 Compósito cimento-borracha e piso intertravado 25

4 ENSAIO DE PENEIRAMENTO 27

4.1 Definição dos agregados segundo a NBR 17054:2022 27
4.1.1 Granulometria 27
4.1.2 Série normal e intermediária 27
4.1.3 Dimensão máxima característica 28
4.1.4 Módulo de finura 28
4.1.5 Porcentagem retida 28
4.1.6 Porcentagem retida acumulada 29
4.1.7 Curva granulométrica 29
4.1.8 Dimensão máxima característica 29
4.1.9 Módulo de finura 29

4.2 Ensaio 30
4.2.1 Execução do ensaio (ABNT NBR 17054:2022) 30

4.3 Características dos agregados 31
4.3.1 Agregados miúdos 32
4.3.2 Agregados graúdos 32

5 MATERIAIS E MÉTODOS 33

5.1 Ensaio de peneiramento 33

5.2 Ensaio de resistência e montagem dos corpos de prova 38

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....43
6.1 Análise granulométrica dos agregados.....43
6.2 Ensaio mecânico de compressão 49
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....54
REFERÊNCIAS.....56

1 INTRODUÇÃO

No Brasil a construção civil tem se ampliado de forma significativa e com isso tem sido estudado e desenvolvido novas tecnologias construtivas, que visam principalmente a sustentabilidade, já que essas construções geram grandes impactos no meio ambiente, pois consomem grandes quantidades de materiais, que em muitas das vezes, são extraídos da natureza.

Uma vez que grande parte dos sistemas construtivos produzidos, não necessitam de materiais muitos sofisticados, a utilização de resíduos de pneus, como material de construção, é uma estratégia eficaz para ampliar a variedade de materiais disponíveis na construção, resultando em reduções de custos também promove práticas ambientalmente responsáveis beneficiando a sociedade como um todo, fornecendo soluções mais acessíveis e ecologicamente sustentável para a construção civil, segundo Kamimura (2002).

O pneu é um material com grande versatilidade, que pode ser incorporado em uma variedade de sistemas construtivos. Sua compatibilidade e durabilidade tornam uma opção atraente para diversas aplicações na construção civil, já que fornece propriedades importantes como melhoramento da drenagem, isolação acústicas e térmicas, segundo Kamimura (2002).

Pneus reciclados podem ser usados em técnicas como: muros de contenção, barragens, sistemas de drenagens, diversos tipos de pavimentações para grandes impactos e pavimentação de ruas. Existe também alguns estudos que aplicam o pneu em peças como telhas, blocos sustentáveis etc., conforme RODRIGUES (2008).

A engenharia civil, por sua vez, é capaz de aproveitar esses resíduos contribuindo, assim, para a redução das explorações de jazidas e rios para obtenção de agregados naturais**.**

A execução de pavimentação de vias demanda um volume elevado de materiais, a reutilização de materiais inservíveis nesse tipo de construção oferece uma excelente alternativa na contribuição para a preservação do meio ambiente.

No Brasil e em grande parte do mundo, existe um volume significativo de resíduos oriundos da indústria de pneus. Segundo a Associação Nacional da Industria de Pneumáticos (ANIP) em um levantamento realizado em Sorocaba em 2014, são recolhidas por dia mais de duas toneladas de pneus inservíveis, um volume correspondente a quantidade de 400 pneus de carro ou a 36 pneus de caminhões.

A RECICLANIP, organização vinculada a ANIP, criada em 2007 por fabricantes de pneus com pensamentos voltados ao pós-consumo, apresentou um levantamento em que de forma ambientalmente correta os fabricantes nacionais de pneus destinaram cerca de 380 mil toneladas de pneus inservíveis em 2020. Seu levantamento aponta que de 1999 a 2020 foram recolhidos e destinados adequadamente cerca de 5,6 milhões de toneladas desses pneus. (RECICLANIP, 2022).

A sustentabilidade tem como o principal objetivo, a utilização e aplicação desses materiais hoje pensando no dia de amanhã, permitindo que o desenvolvimento e a evolução transcorram sem práticas que agridam e causem danos irreversíveis ao planeta e a qualidade de vida, conforme Sachs (1993, *apud* KRUEL, 2010).

Seguindo essa ideia de ser sustentável, a construção civil hoje tem realizado diversos produtos e desenvolvido estudos, em que materiais inservíveis são utilizados como parte da matéria-prima, e um dos principais materiais usados é o pneu, que pode ser aplico em:

Pisos de borracha anti-impacto, muito utilizado em quadras e *playgrounds*, essa pavimentação quando se agrega um composto de borracha, o seu custo diminui de forma significativa, comparado com o sintético, além disso aumenta a sua flexibilidade e permeabilidade segundo Simonette, Pereira, Tutikan, (2020).

Outro estudo é a utilização 5% de rapas de pneus em calçadas ecológicas, já que essas calçadas proporcionam segurança e sustentabilidade para quem trafega, já que a travessia de pedestre possui uma baixa carga, segundo estudo feito por Bolina *et al*. (2013).

No Brasil e alguns países do mundo é muito utilizado a borracha de pneu para incorporação pavimentação asfáltica. Esse processo faz com que a vida útil da pavimentação aumente, além de proporcionar ao pavimento melhoria nas suas propriedades elásticas., conforme D’almeida; Sena, (2000).

Eldin e Senouci (1993) iniciaram pesquisas utilizando borracha do pneu reciclável na adição do concreto, nos Estados Unidos, desde então tem se aplicado não somente o pneu, mas diversos outros materiais inservíveis, em diversos produtos e metodologias, dentro da construção civil desenvolvidos através de estudos pela engenharia civil, visando sempre a sustentabilidade.

Com tudo isso pode-se destacar que a sustentabilidade e o cuidado com o meio ambiente são questões que vêm sendo levantadas pelo mundo todo e o grande

descarte e inutilização de materiais não recicláveis vêm gerando grandes impactos na natureza, aumentando o volume de lixo de forma considerável no mundo.

A reutilização desses insumos recicláveis pode atribuir vantagens no mercado da construção civil, podendo proporcionar elaborações e criações de novos tipos de materiais, visando uma nova serventia a esses materiais proporcionando melhoria nas propriedades dos sistemas construtivos da construção civil.

Contudo, podem ser encontradas algumas desvantagens em reutilizar esses materiais, como a dificuldade e disponibilidade de encontrar essa matéria-prima em grande escala e a elevação do custo na produção desse material.

Essa pesquisa visa, assim, verificar a influência de borrachas inservíveis (pneus) em concretos empregados na fabricação de pisos intertravados e analisar sua resistência mecânica. Para isso, o objetivo geral do trabalho foca na análise da a eficiência e eficácia do uso de pneus reciclados em piso intertravado, em detrimento de agregados convencionais.

Os objetivos específicos são:

- Levantamento bibliográfico sobre a utilização de pneu na construção civil;
- Fabricar blocos de pavimento intertravado em concreto padrão e com adição de borracha inservível (pneu);
- Realizar ensaios de resistência a compressão através de corpos de prova.
- Relacionar e comparar as propriedades do concreto adicionado de borracha e concreto padrão;
- Classificar os materiais utilizados através de ensaios.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 A borracha e sua reciclagem

A borracha possui algumas características físico-químicas que a torna extremamente versátil para diversas aplicações. Com isso, a borracha transformou-se uma matéria-prima importantíssima para o desenvolvimento industrial no final do século XIX, conforme Martin e Arruda (1993).

No Brasil no ano de 2020, segundo a ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos), foram produzidos cerca de 67,9 milhões de unidades de pneus, sendo que somente 450 mil toneladas de pneus são descartadas por ano no Brasil.

Esse resíduo sólido possui uma grande quantidade de borracha, que se não descartada corretamente, pode tornar-se um problema ambiental devido ao longo tempo de decomposição no meio ambiente de acordo com Machin; Pedroso; Carvalho, (2017).

Com o avanço da industrialização, o progresso econômico e o avanço das tecnologias, pela sociedade moderna, e a grande produção e fabricação de produtos com uma durabilidade cada mais reduzida, aliado ao capitalismo desenfreado, são fatores que contribuem para a diminuição da durabilidade dos produtos e aumento da quantidade de produtos em circulação, de acordo com Lagarinhos (2011).

Esses hábitos de consumismo das populações modernas, trazem como consequência, a crescente busca por matérias-primas e como resultado o grande volume de resíduos descartados. A busca pala satisfação desses consumidores que extrapolam as necessidades básicas, acarreta a intensa degradação da natureza.

A intensa exploração e deterioração do meio ambiente além do aparecimento frequente de relevantes impactos negativos, são indícios de que certas práticas precisam ser repensadas, conforme Pourre, (2016).

Com todo esse avanço tecnológico facilidade de poder aquisitivo, um aumento expressivo na quantidade de carros que circulam e a quantidade de pneus descartados de forma incorreta, que cresce com essa mesma velocidade. Sendo que uma vez que descartados incorretamente, os pneus causam um grande impacto negativo tanto em âmbito do meio ambiente como no de saúde pública Azevedo (2011).

De acordo com Veloso (2015), os pneus por terem uma cavidade oca, quando empilhados em forma de descarte, em locais inadequados, no qual ficam expostos à

chuva tornam-se uma fonte de reprodução propícia de insetos, transmissores de doenças, como o *Aedes Aegypti*.

Outro fator que ocorre causado pelo descarte incorreto de pneus em rios e córregos, que é motivador por desabrigar a população todos os anos no Brasil, são as enchentes e alagamentos, entre esses citados ainda existem diversos outros problemas em que o pneu é o principal agravante, conforme Veloso (2015).

2.2 Reciclagem do pneu no Brasil

Os pneus são resíduos volumosos que ocupam um amplo espaço físico, tornando-se difícil a sua compactação, coleta e destinação. O acúmulo inadequado desse resíduo, resulta em uma questão ambiental que persiste e gera grandes impactos ambientais

2.2.1 Gestão dos resíduos sólidos no brasil

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) define resíduos sólidos como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, em estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos que tornam inviável o seu uso.

Os resíduos sólidos podem ser classificados em até três classes, segundo a norma ABNT NBR 10.004:2004.

De acordo com essa norma, os pneus são classificados como resíduos de Classe II – Não perigosos - classe II B – não inertes, já que possuem características de difícil degradação, que por diversas vezes o seu tempo de degradação é superior à sua vida útil, e possuem uma alta combustibilidade, com essa dificuldade de reintegração desse material na natureza, surge os grandes problemas ambientais.

Sabendo disso pode se considerar que a falta de gestão e soluções para a destinação final desses resíduos gerados pelas atividades humanas, ocasiona diversos problemas ambientais, sociais e econômicos. Para isso a legislação nacional Lei nº12.305 de 2010, propõem que como forma de redução dessas quantidades de resíduos, a reciclagem e a reutilização atuem de forma eficaz, fazendo que esses materiais inservíveis, tenham uma destinação final correta.

2.2.2 Legislações dessa gestão

Através dos estudos e pesquisas realizados, obtiveram que no Brasil uma grande parte dos pneus produzidos são descartados de forma incorreta, sendo assim surgiu a necessidade de legislações que cuidassem do descarte e destino desses resíduos.

Com isso surge a primeira resolução do Concelho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº: 258 de 1999, em que regulamentou as coletas, destino e disposição final adequada desses pneus inservíveis, decretou que fabricantes e importadores de pneumáticos superiores a 2,0 kg, tornam-se responsáveis pela coleta e destinação adequada desses materiais na proporção de para cada um pneu novo que der entrada no mercado deverá dar destinação a um pneu inservível. Trazendo em consideração também que os pneus quando depositados de forma inadequada tornam passivos ao meio ambiente, acarretando problemas ambientais, sociais em especial a saúde pública e econômicas. A última resolução vigente desse conselho é a nº: 416 de 2009, dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada e dá outras providencias.

Em 1999 surgiu o Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis, criado pela Associação Nacional de Industria de Pneumáticos (ANIP), que apresenta um trabalho de coleta e destinação de pneus inservíveis. Ao longo dos anos o programa foi se estendendo por diversas regiões do país.

Após essa repercussão surge em 2007, a RECICLANIP, criada pelos responsáveis das indústrias brasileiras de pneumáticos, essa entidade que visa a logística reversa, atendem a resolução CONAMA n°: 416 de 2009, que regulamenta essa coleta e destinação dos pneus. Esse trabalho da RECICLANIP é reconhecido pela Unesco e por diversos órgão públicos e conselhos públicos.

Segundo a RECICLANIP (2023): “Desde o início da operação até o final de 2022, reunindo mais de 1.035 pontos de coleta distribuídos por todo o país, foram coletados e destinados adequadamente mais de 5,9 milhões de toneladas de pneus inservíveis, o equivalente a 1,1 bilhão de pneus de passeio”.

3 PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA E SEUS COMPONENTES

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP). a pavimentação intertravada é uma técnica de pavimentação em que blocos pré-fabricados de concreto ou outro material, são instalados em uma superfície de maneira que se encaixem uns nos outros, criando uma estrutura contínua e resistente. Esses blocos, frequentemente chamados de "*pavers*" ou "pavimentos intertravados," são projetados para encaixar perfeitamente, o que evita o deslocamento das peças e permite a distribuição uniforme de cargas.

Esse tipo de pavimentação é utilizado em uma variedade de aplicações, incluindo calçadas, estacionamentos, praças, áreas de lazer e até mesmo estradas de baixo tráfego.

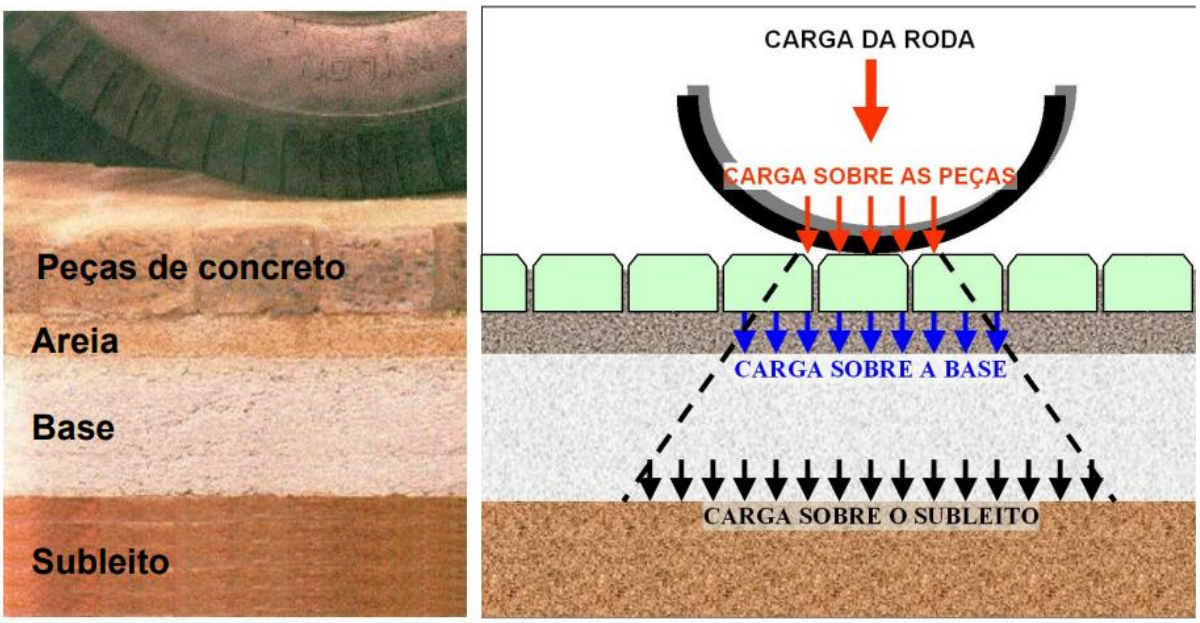
Algumas das vantagens em utilizar esse tipo de pavimento são:

- **Durabilidade:** Os blocos intertravados são resistentes e podem suportar o tráfego de veículos e pedestres por muitos anos, tendo uma resistência mínima em cada bloco de 35 MPa;
- **Manutenção Fácil:** Se algum bloco ao decorrer do tempo quebrar, ele pode ser substituído individualmente sem a necessidade de refazer toda a pavimentação;
- **Drenagem:** Esse tipo de pavimentação permite a drenagem eficiente da água da chuva, ajudando a reduzir o acúmulo de poças e a prevenir enchentes;
- **Variedade de *Design***: Blocos intertravados estão disponíveis em várias cores, formas e padrões, permitindo a criação de designs personalizados e esteticamente agradáveis;
- **Desempenho Térmico:** 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.

Para a execução correta da pavimentação intertravada, precisa-se preparar a base adequadamente e garantir que a superfície fique nivelada e com a inclinação adequada para a drenagem. Além disso, a escolha dos blocos intertravados certos para a aplicação específica é fundamental para garantir a durabilidade e o desempenho do sistema de pavimentação.

A execução de um piso intertravado envolve várias etapas importantes para garantir que a pavimentação seja durável, segura e esteticamente agradável, como mostra a figura 1, onde é possível observar toda a composição do sistema construtivo.

Figura 1 – Camadas da pavimentação



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)

- **Subleito**

O primeiro passo que deve ser feito, é verificar a camada de subleito, aquela que será a base do pavimento. Esta camada pode ser de solo natural do local ou solo de “empréstimo”, que seria um solo comprado. A superfície não deve apresentar relevo sem ser nivelado.

Segundo a NBR 15.953 de 2011, o subleito também deve apresentar um Índice de Suporte Califórnia (CBR) maior que 2% e expansão volumétrica menor ou igual a 2%;

- **Base**

Normalmente usa-se bica corrida, os principais aspectos da construção que justificam atenção incluem a regularização e a compactação da camada de base. A superfície da camada de base deve ficar a mais fechada possível, ou seja, com o mínimo de vazios, para que não se perca muita areia da camada de assentamento das peças de concreto;

- **Areia**

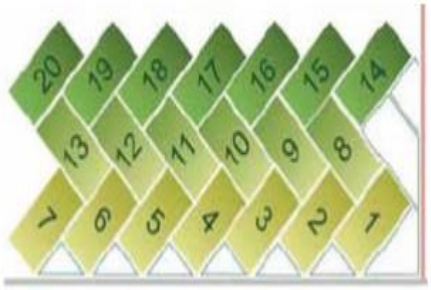
A camada de areia deve ser nivelada manualmente por meio de uma régua niveladora (sarrafo) correndo sobre mestras. A espessura dessa camada não pode

ser nem muito grande e nem muito pequena. Há uma espessura em que o pavimento “funciona” adequadamente. Se a camada for muito espessa, haverá deformação (afundamento); se for insuficiente, haverá quebra dos blocos. Então a camada deve estar em torno de 3 cm e 4 cm;

- **Camada de Revestimento**

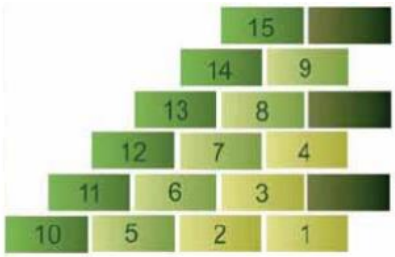
Após a sequência de execução das camadas corretas, assenta-se o bloco de concreto, na forma espinha de peixe ou fileira, de acordo com as figuras 2 e 3.

Figura 2 - Execução da montagem espinha de peixe



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)

Figura 3 - Execução da montagem em forma de fileira



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)

Após o assentamento, é necessário fazer a compactação em duas etapas, com a placa vibratória. A primeira etapa consiste em cobrir toda a área em uma direção longitudinal, por exemplo.

Após feito isso, precisa ser realizada a selagem das juntas com areia, que consiste em espalhar a areia por cima dos blocos e retirar o excesso, esse serviço pode ser feito com uma vassoura. Logo em seguida realiza-se a última compactação com a placa vibratória.

3.1 Fabricação do intertravado

As peças de concreto são produzidas industrialmente, fabricada a partir de uma mistura de materiais, geralmente concreto moldada em uma vibro prensa, que oferecem uma elevada compactação às peças, aumentando sua resistência mecânica

e durabilidade, segundo a Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP). A seguir, de acordo com T & A Blocos e pisos (2004) são apresentados os passos gerais do processo de fabricação de uma peça de intertravado, de acordo com o manual técnico de piso intertravado de concreto:

3.1.1 Preparação da matéria-prima

O principal componente da peça de intertravado é o concreto. A preparação começa com a mistura de cimento Portland, agregados (areia e brita) e água em proporções específicas para criar uma mistura de concreto adequada.

3.1.2 Adição de pigmentos (opcional)

Se desejar, podem ser adicionados pigmentos à mistura para dar cor ao bloco intertravado. Isso é comum quando se deseja criar peças de cores variadas.

3.1.3 Moldagem

A mistura de concreto é transferida para moldes com o formato desejado para o bloco intertravado. Os moldes são frequentemente feitos de aço ou plástico e podem ter cavidades com formatos diferentes, dependendo do *design* do bloco.

3.1.4 Compactação e Vibração

Após o preenchimento dos moldes, a mistura de concreto é compactada e vibrada para eliminar bolhas de ar e garantir uma densidade uniforme. A vibração ajuda a garantir que o concreto preencha completamente o molde, resultando em um bloco mais resistente.

3.1.5 Cura do material

Os blocos intertravados são deixados nos moldes por um período para curar geralmente de 28 dias. Durante esse processo, o concreto endurece e adquire a resistência necessária para suportar cargas.

3.1.6 Desmoldagem

Após a cura do concreto, os blocos são retirados dos moldes. Eles agora têm a forma desejada e estão prontos para uso.

3.1.7 Armazenamento e inspeção

Os blocos intertravados são armazenados em um local adequado para continuar o processo de cura, o piso intertravado deve ser armazenado em um local coberto e protegido contra intempéries, como chuva, sol intensos e temperaturas extremas até chegar na sua resistência ideal, essa resistência total ocorre em 28 dias de cura. Eles também passam por uma inspeção para garantir que atendam aos padrões de qualidade e que não apresentem defeitos.

É importante observar que a qualidade da matéria-prima, a mistura precisa, o processo de cura e outros fatores de produção desempenham um papel crítico na qualidade final do bloco intertravado. Fabricantes respeitáveis seguem rigorosos padrões de produção para garantir que seus produtos atendam às especificações técnicas e de desempenho necessárias.

3.2 Traços usuais para fabricação

O traço para a fabricação de blocos intertravados de concreto envolve a mistura de materiais específicos para produzir um concreto de qualidade que atenda aos requisitos de resistência, durabilidade e manuseio. O traço do concreto pode variar de acordo com os padrões regionais, as necessidades do projeto e as especificações do fabricante. A seguir, de acordo com o manual técnico de piso intertravado de concreto (T & A Blocos e pisos, 2004), um exemplo de um traço comum para blocos intertravados de concreto:

- **Cimento:** O cimento *Portland* é o principal ligante do concreto. A quantidade de cimento depende da resistência desejada e das condições locais;
- **Agregados:** São utilizados dois tipos de agregados: areia fina e brita (agregado graúdo). A proporção entre eles pode variar, mas um traço comum é de aproximadamente 1 parte de cimento para 3 partes iguais de agregado (areia e brita juntas);
- **Água:** A quantidade de água necessária depende da consistência desejada do concreto. Geralmente, utiliza-se uma relação água/cimento (A/C) entre 0,50 a 0,70 de acordo com ABCP - Associação Brasileira de Cimento *Portland*, baixa para obter concreto mais resistente;

O traço exato pode variar dependendo dos objetivos de resistência, exposição ao ambiente e outras condições específicas do projeto. É importante seguir as

especificações do fabricante dos blocos ou as normas técnicas locais para obter o traço adequado.

3.2.1 Procedimento geral para mistura

- Combine o cimento, a areia e a brita em um misturador ou betoneira, garantindo que todos os materiais estejam bem misturados;
- Adicione a água gradualmente enquanto mistura os materiais. A quantidade de água deve ser controlada para evitar um concreto muito úmido, o que pode comprometer a resistência;
- Continue misturando até que a mistura esteja homogênea e tenha a consistência desejada;
- Se for utilizado algum aditivo, siga as instruções do fabricante para adicionar o aditivo corretamente;
- Após a mistura, o concreto estará pronto para ser colocado nos moldes para a fabricação dos blocos intertravados.

Lembrando de que o traço exato pode variar de acordo com as especificações do projeto, as normas locais e as condições específicas. É sempre recomendável seguir as orientações do fabricante e fazer testes de laboratório para garantir que o concreto atenda aos requisitos de qualidade e desempenho de norma.

3.3 Cimento

Atualmente a NBR 16.697 de 2018 norma técnica brasileira que estabelece as especificações e requisitos do cimento *Portland*. Ele um dos materiais de construção mais amplamente utilizados em todo o mundo. Ele desempenha um papel fundamental na construção de estruturas de concreto, como edifícios, pontes, estradas e infraestrutura em geral. No entanto, a produção de cimento também é uma das fontes significativas de emissões de dióxido de carbono (CO_2) relacionadas à atividade humana, o que levou a esforços para tornar a produção de cimento mais sustentável e ambientalmente amigável.

O cimento Portland é classificado com base em suas propriedades e aplicações específicas. A classificação do cimento *Portland* ajuda a determinar quais tipos de projetos e condições de construção são mais adequados para cada classe.

De acordo com a NBR 16.697 de 2018 são algumas classes de cimento Portland:

- **Cimento *Portland* Comum (CP I):** São cimentos com subtipo, sem adição, com classe de resistência 25, 32 ou 40 MPa e sufixo RS, resistente a sulfatos, se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos no item 5.3 da NBR 16.697 de 2018 ou BC baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos no item 5.4 da norma;
- **Cimento *Portland* Comum (CP I-S):** São cimento com subtipo, com adição, com classes de resistências de 25, 32 ou 40 MPa e sufixo RS, resistente a sulfatos, se aplica a qualquer tipo de cimento *Portland* que atenda aos requisitos estabelecidos no item 5.3 da NBR 16.697 de 2018 ou BC baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento *Portland* que atenda aos requisitos estabelecidos no item 5.4 da mesma norma;
- **Cimento *Portland* Composto (CP II-E):** São cimento com subtipo, com escória granulada de alto forno, com classe de resistência 25, 32 ou 40 MPa e sufixo RS resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos no tópico 5.3 da NBR 16697 de 2018 ou BC baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos no tópico 5.4 da norma;
- **Cimento *Portland* de Alto-forno (CP III):** São cimentos, com classe de resistência 25, 32 ou 40 MPa e sufixo RS, resistente a sulfatos, se aplica a qualquer tipo de cimento *Portland* que atenda aos requisitos estabelecidos no tópico 5.3 da NBR 16697 de 2018 ou BC baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos no item 5.4 da norma;
- **Cimento *Portland* Pozolânico (CP IV):** São cimento, com classe de resistência 25,32 ou 40 MPa e sufixo RS, resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento *Portland* que atenda aos requisitos estabelecidos no tópico 5.3 da NBR 16697 de 2018 ou BC baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos no item 5.4 da norma;
- **Cimento *Portland* de alta resistência inicial (CP V):** São cimento, com classe de resistência ARI que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa e sufixo RS, resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento

Portland que atenda aos requisitos estabelecidos no típico 5.3 da NBR 16697 de 2018 ou BC baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos no tópico 5.4 da norma;

- **Cimento *Portland* branco (CPB):** São cimento com subtipo, estrutural, com classe de resistência 25,32 ou 40 MPa e sufixo RS resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos no tópico 5.3 da NBR 16697 de 2018 ou BC baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento *Portland* que atenda aos requisitos estabelecidos, no item 5.4 da norma;
- **Cimento *Portland* branco (CPB):** São cimento com subtipo, não estrutural.

3.4 Compósito cimento-borracha e piso intertravado

A reciclagem de resíduos sólidos em forma de agregado na incorporação do concreto, como partículas de borracha de pneu, é uma solução eficaz para lidar com o descarte desse material no meio ambiente. De acordo com Lintz; Barbosa, Seydell, Jacintho (2010). O concreto graças as suas características, possibilita a incorporação de diversos materiais, aumentando a suas possibilidades de aplicações em diversas áreas.

Segundo Lintz; Barbosa, Seydell, Jacintho (2010) esses compósitos de cimentos apresentam grande facilidade de absorver os resíduos sólidos, dessa forma os órgãos governamentais e privados realizam diversos estudos, afim de obter formas adequadas e viáveis para a utilização desses resíduos aplicados no concreto, visando sempre a redução e custos e a qualidade.

O concreto emborrachado apresenta características necessárias para variadas aplicações, que incluem a construção de elementos que não passam por altas resistências, barreiras sujeitas a impactos e isolamento acústico, e também pode ser aplicado em sistemas ferroviários para fixação de trilhos como esclarece Topçu (1995).

Segundo Tezuka (1999), as primeiras pesquisas e utilização do concreto com resíduos foram realizadas nos Estados Unidos no ano de 1971 e em alguns anos posteriores foi utilizado também no Reino Unido e no Japão.

Quando se refere as características mecânicas desse concreto com adição de borracha, pode-se observar que a resistência a compressão diminui à medida que é

adicionado borracha na mistura, de acordo com Ghaly E Cahill (2005). Já quanto a sua tenacidade, de acordo com Garrick (2004), o concreto com borracha apresenta resultados superiores ao concreto comum, sendo assim o principal benefício em agregar borracha de pneu a mistura é a eficiência na absorção de cargas dinâmicas e na sua resistência a absorção de cargas dinâmicas e na resistência à propagação de trincas.

De acordo com Farias (2007), deve ser incorporado de 5% a 10% de borracha em concretos, para a fabricação de pisos intertravados, pois essas porcentagens apresentam melhores resultados. Quando adicionado um valor acima dessas porcentagens há uma queda da resistência, mas, contudo, os pisos intertravados ainda apresentam uma grande capacidade de absorção de energia.

Segundo a normatização da ABNT NBR 9.781 de 2013, a resistência característica de compressão aos 28 dias, deve ser maior que 35 Mpa, quando se trata de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, já para tráfego de veículos especiais e situações que podem causar efeitos de abrasão consideráveis, a resistência deve ser superior a 50 Mpa.

4 ENSAIO DE PENEIRAMENTO

A classificação do tamanho dos agregados é realizada a partir de ensaios de peneiramento em laboratório, onde se analisa a granulometria dos solos e a sua caracterização. O ensaio é um procedimento importante na engenharia civil, em que permite determinar a distribuição e dimensão das partículas de cada material, solo ou agregado, proporcionando entender suas características e comportamentos em projetos de construção.

Segundo Botelho (2015), o ensaio está baseado em analisar uma amostra do agregado em um conjunto de peneiras com variações de aberturas padronizadas e furos de tamanhos diferentes. Com peneiras de tamanhos decrescentes, de cima para baixo, as amostras são lançadas ficando retida em cada peneira uma quantidade de solo, tendo como objetivo saber exatamente a variação da granulometria da amostra, com base na quantidade que cada peneira reteve.

Capaz de fornecer informações sobre o tamanho das partículas e suas proporções relativas, sendo importante para classificar o agregado e a previsão de seu desempenho em diferentes aplicações.

A partir dos resultados obtidos no ensaio de peneiramento, chega-se à construção de uma curva granulométrica, classificando a dimensão do agregado e o seu tipo. Esta determinação só pode ser obtida através deste ensaio.

4.1 Definições dos agregados segundo a NBR 17054 de 2022

4.1.1 Granulometria

Este ensaio consiste no peneiramento do agregado em um conjunto de peneiras para classificar a sua granulometria. A ABNT NBR 17054 de 2022 detalha como deve ser realizada a avaliação destes agregados.

4.1.2 Série normal e intermediária

Série normal e intermediaria está relacionada ao conjunto de peneiras utilizadas no ensaio, que deverão atender as normas NM-ISO 3310-1, com aberturas de malha conforme descrito na tabela 1.

Tabela 1- Seção Nominal de Peneiras Normais e Intermediárias

Série normal	Série intermediária
75 mm	–
–	63 mm
–	50 mm
37,5 mm	–
–	31,5 mm
–	25 mm
19 mm	–
–	12,5 mm
9,5 mm	–
–	6,3 mm

Fonte: ABNT NBR 17054 de 2022

4.1.3 Dimensão máxima característica

A ABNT NBR 17054 de 2022 determina como grandeza, a distribuição granulométrica do agregado, correspondendo a abertura nominal, em milímetros, das malhas de peneira, onde o agregado possa apresentar uma quantidade retida acumulada igual ou inferior a 5% em massa.

4.1.4 Módulo de finura

Modulo de finura é a soma das porcentagens que ficaram retidas e acumuladas em massa nas peneiras de série normal, a ABNT NBR 17054 de 2022 pontua que, essa porcentagem deve ser dividida por 100 (cem).

4.1.5 Porcentagem retida

Porcentagem retida é considerado num ensaio de peneiramento, como a quantidade da amostra que ficou retida em uma peneira, relacionada a quantidade da amostra total. Essa peneira pode ser de serie normal ou intermediaria superior.

4.1.6 Porcentagem retida acumulada

A porcentagem retida acumulada é definida como a porcentagem retida na peneira que contenha a maior e igual abertura de malha em uma determinada peneira.

4.1.7 Curva granulométrica

Curva granulométrica consiste na representação gráfica das porcentagens de massa do agregado, que ficaram retidas e acumuladas nas peneiras durante o ensaio. Essa porcentagem deverá ser representada em escala natural e a abertura das peneiras em escala logarítmica.

Segundo Neville (1997) e Farias e Palmeira (2007), a curva granulométrica é a forma mais fácil de avaliar a composição de um agregado, pois a partir de um simples relance é possível observar em qual especificação o material estudado se enquadra, essa padronização da representação das curvas auxilia na velocidade dessa análise.

Kwan *et al* (1999) afirma que em materiais compostos de diversas granulometrias essa caracterização não é tão precisa, já que partículas alongadas podem passar por peneiras de malhas inferiores e que nesses casos a interpretação dos resultados estariam distorcidas uma vez que agregados de tamanhos maiores estariam e grupos de peneiras menores.

Essa ideia apresentada por Kwan *et al* (1999) pode ser considerada para materiais de diversas origens que apresentam uma granulometria variada, essa ideia não cabe aos materiais utilizados nos traços aqui na região de Sorocaba, uma vez que os agregados apresentam características uniformes, não atrapalhando no estudo das suas características.

4.1.8 Dimensão máxima característica

A dimensão máxima característica é a grandeza que corresponde a abertura nominal e em milímetros da malha da peneira, sendo ela em serie ou intermediária, onde é apresentada a porcentagem de massa retida acumulada, igual ou inferior a 5%.

4.1.9 Módulo de finura

O módulo de finura é determinado a partir das somas das porcentagens retidas acumuladas dos agregados ensaiados nas peneiras de série normal, esta soma deve

ser dívida por 100 e seu módulo de finura deverá ser apresentado com uma aproximação de 0,01 de grandeza adimensional.

4.2 Ensaio

Para realizar o ensaio, segundo a NBR 17054 de 2022, é preciso de algumas aparelhagens para aferir as quantidades retidas e agitar o material.

- Balança: com precisão de 0,1%, para pesar a quantidade do agregado ensaiado;
- Estufa: Capaz de manter a temperatura em um intervalo de (105 ± 5) °C, para retirar a umidade do material;
- Peneiras: De série normal e intermediaria, com tampa e fundo.

Há outras ferramentas que não precisam de requisitos específicos como:

- Agitador mecânico de peneiras: para agitar as peneiras;
- Bandejas;
- Escova ou pincel: de cerdas macias;
- Fundo avulso de peneira: Para armazena o que ficou retido e passou por todas as peneiras.

4.2.1 Execução do ensaio (ABNT NBR 17054 de 2022)

Segundo a norma o ensaio deve ser executado da seguinte maneira:

- As amostras devem ser secas em estufa e esfriar a temperatura ambiente para determinar as massas;
- As peneiras devem ser previamente limpas, a modo de formar um único conjunto de peneiras, com as aberturas das malhas em ordem crescente da base para o topo. Este conjunto deve prover de um fundo de peneiras para o conjunto;
- As amostras devem ser depositadas sobre a peneira superior do conjunto, com o cuidado para evitar a formação de uma camada muito espessa de material. O acúmulo de material sobre a peneira pode impedir o acesso de todos os grãos a peneira durante a agitação, podendo provocar a deformação da tela;
- Deverá ser promovida uma agitação, podendo ser mecânica, do conjunto de peneiras por um determinável tempo, para permitir a separação e classificação do agregado. Caso a agitação mecânica não seja possível, deverá ser classificada

manualmente a amostra em uma peneira para depois passar para a outra. As peneiras deverão ser agitadas por um tempo não inferior a 2 minutos;

- A peneira superior do conjunto, deverá ser destacada e agitada manualmente, (com a tampa e fundo falso) por aproximadamente um minuto contínuo de agitação, a massa do material que passar pela peneira não pode ser inferior a 1% da massa do material retido. Essa agitação deve ser executada em movimentos laterais e circulares alternados, tanto na horizontal quanto no plano inclinado.

Em casos de agregados graúdos, a norma exemplifica que o peneiramento pode ser realizado de forma manual, experimentando passar os grãos pela tela, não podendo exercer pressão sobre ela;

- Após o tempo de peneiramento, o material que for retido na peneira deverá ser despejado em uma bandeja. A tela deverá ser escovada em ambos os lados para limpar qualquer tipo de resíduo. O material que for retirado pelo lado interno é considerado como retido, e o que ficar na parte superior como passante. Essa etapa deve ser repetida até o fim de todas as peneiras;
- Após essa verificação deverá ser determinada a quantidade de massa retida em cada peneira e no fundo do conjunto.

4.3 Característica dos agregados

Os fragmentos de rochas ou agregados que são os mais conhecidos popularmente, originam dois tipos de materiais, as pedras e as areias. São grão de volume sem forma definida, inertes e com dimensões adequadas para serem usadas em obras no ramo da construção civil.

Para Petrucci (1998), os agregados são considerados materiais granulares que podem apresentar características adequadas para o uso em obras civis. Inseridos no concreto, são capazes de reduzir custos e aumentar a resistência ao desgaste sem diminuir a resistência mecânica.

Para cada finalidade na construção civil, há um agregado ideal, levando em consideração a sua classificação, conforme suas dimensões, composições mineralógicas e massa unitária. As areias, agregado miúdo, são ideais para concretos, argamassas, contrapisos e reboco. Já os agregados graúdos, como pedras, são úteis na fabricação de concretos, contenções e pavimentações.

De acordo com Metha e Monteiro (2008), há três classificações que podem ser empregadas aos agregados, quanto a sua dimensão, agregados graúdos e miúdos.

Em relação a sua densidade, pode variar entre pesado, normais e leves. Quanto a sua origem, podem ser classificados em minerais naturais e artificiais.

A pavimentação é uma atividade que emprega uma boa quantidade de agregado, segundo Ceratti (2011), o asfalto é um agente aglomerante capaz de unir as partículas dos agregados, mantendo-as numa posição apropriada para transmitir as cargas aplicadas pelas rodas dos veículos as camadas inferiores. O agregado determinado para a utilização deve apresentar propriedades que suportem as tensões impostas na superfície do pavimento e no seu interior.

4.3.1 Agregados miúdos

Os agregados miúdos apresentam algumas características empregadas pela norma ABNT NBR 16916 de 2021, onde define que os agregados, em relação ao tamanho do seu grão, passam pela peneira de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira de malha 150 μm.

Bauer (2008) pontua que as areias podem ser classificadas em níveis granulométricos, sendo areia grossa, as quais apresentam uma granulometria de 2,4 a 4,8 mm, areia média de 0,6 a 2,4 mm e a areia fina de 0,15 a 0,06 mm.

4.3.2 Agregados graúdos

Segundo a norma ABNT NBR 7211 de 2022, agregado graúdo é aquele cujo grão passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na de 4,75 mm.

Com o diâmetro máximo sendo uma das suas características mais importantes, o *ACI Manual of Concrete practic* (1980) atribui que pelo diâmetro máximo do agregado graúdo é capaz de estimar o consumo de água, peso específico e o volume quando dentro do concreto.

5 MATERIAIS E METODOS

O material desenvolvido nesta pesquisa, será de um piso intertravado com borracha de pneu que substituirá parcialmente um agregado miúdo no traço escolhido.

O piso irá utilizar de agregados como pó de pedra, cimento de alta resistência inicial, areia média, brita e a borracha de pneu como substituição de agregado.

A fabricação desse material será realizada de forma manual, no Laboratório de Práticas em Construção Civil (LAPEC) na Universidade de Sorocaba (UNISO). Foram realizados ensaios de peneiramento, para definição do diâmetro dos agregados utilizados, definição e fabricação de traços de cimentos, formação e cura de corpos de prova e por fim o ensaio de compressão e tração realizados em prensa.

5.1 Ensaio de peneiramento

Todo o ensaio de peneiramento foi desenvolvido conforme a NBR 17054 de 2022, onde são necessários alguns aparelhos para aferir as quantidades retidas e agitar o material, como: balança, estufa, peneiras, agitador mecânico, bandejas, escovas, pinceis e fundo avulso de peneiras.

- **Balança**

A balança utilizada nesse ensaio para aferir a quantidade dos materiais, foi uma de precisão da Marte, modelo AD16K, com uma capacidade máxima de 16 kg, com mínima de 5 g, possui uma sensibilidade de 0,1 g e adaptação para pesagem hidrostática;

- **Estufa**

A estufa usada para retirar a umidade dos materiais é da marca Deleo, com uma temperatura máxima de até 300 ºC;

- **Peneiras**

Para determinar o diâmetro dos agregados foram utilizadas peneiras de série normal e intermediarias, com abertura de 75 µm a 37,5 mm, com 21 cm de diâmetro e 5 cm de altura, possuindo conjunto de tampa e fundo, peneiras da marca Solocap, como mostra a figura 4;

Figura 4 – Conjunto de peneiras

Fonte: Autor (2023)

- **Agitador de peneiras**

Para agitar o material presente no conjunto de peneira foi usado um agitador de peneiras da Solocap, conforme a figura 6, eletromecânico, de bancada e com capacidade para até 8 peneiras. Possui um controlador de tempo eletrônico para até 99 minutos e frequência de vibração;

Figura 5 - Agitador mecânico

Fonte: Autor (2023)

- **Bandejas**

Para realizar o ensaio foram utilizadas bandejas de vidro, para pesar os materiais, armazenar e colocar na estufa;

- **Escova ou pincel**

A escova e o pincel foram usados para limpar as peneiras e descartar qualquer resíduo que ficou sobre a balança, interferindo na pesagem do material retido na peneira seguinte.

- **Fundo avulso de peneira**:

Neste ensaio foi usado para armazenar o que ficou retido e passou por todas as peneiras.

- **Procedimento**

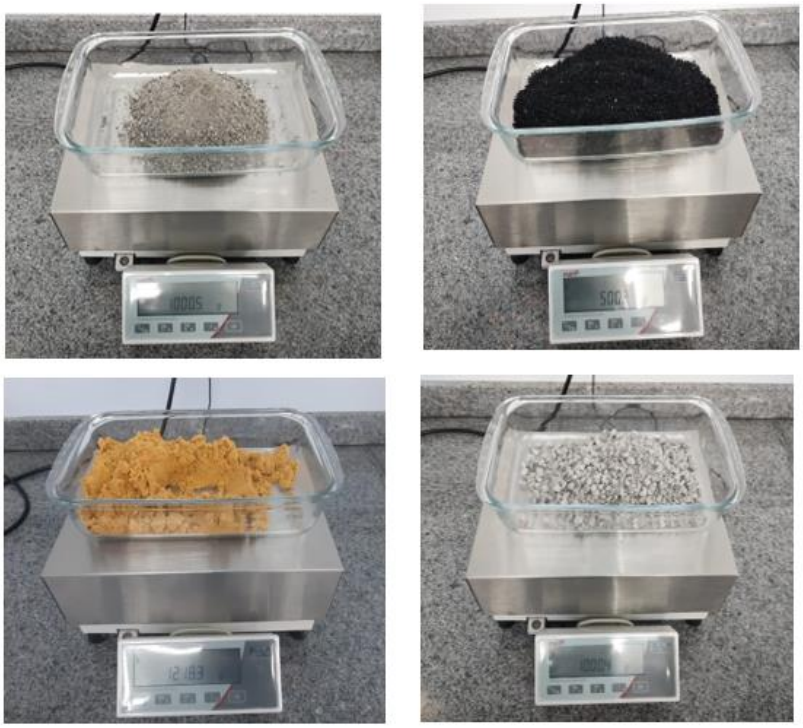
O ensaio foi desenvolvido conforme a NBR NM 248 de 2001. A amostra de materiais usadas no laboratório para esse ensaio, foram brita, areia, pó de pedra e borracha de pneu, de acordo com a figura 6.

Figura 6 - Agregados ensaiados

Fonte: Autor (2023)

A quantidade ensaiada de cada material foi igual a 1 kg, conforme apresenta a figura 7, exceto a borracha, que foi ensaiada 500 g. Colocadas individualmente em cada conjunto de peneiras para obter o diâmetro do agregado e sua classificação na curva granulométrica.

Figura 7 - Pesagem de cada agregado



Fonte: Autor (2023)

Após as quantidades das amostras serem separadas, foi necessário colocá-las na estufa para serem secas e após esfriarem até a temperatura ambiente, serem pesadas para determinar suas massas. Nesse ensaio, conforme mostra a figura 8, apenas a areia foi para estufa, em um tempo de 1h e 20 minutos em 200 ºC. A sua massa chegou a 1,120 kg após o tempo de resfriamento, porém no conjunto de peneiras foram ensaiadas somente 1kg.

Figura 8 – Amostra de areia na estufa

Fonte: Autor (2023).

Com todas as quantidades de materiais pesadas e separadas, com as peneiras limpas sem a presença de nenhum vestígio de material, iniciou-se a peneiração. As peneiras de serie normal e intermediaria foram colocas de forma crescente, da base para o topo.

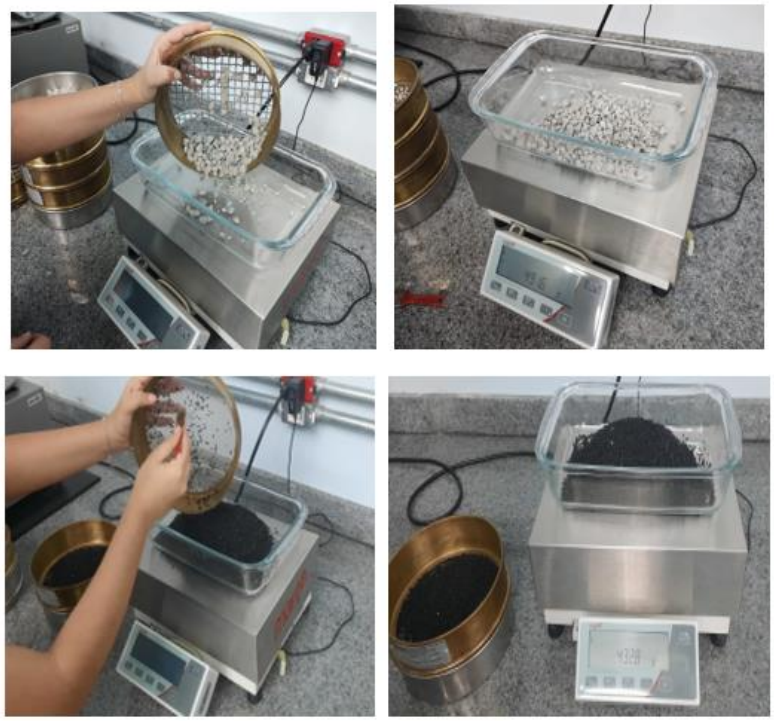
Iniciou-se o ensaio com os agregados maiores como a brita, pó de pedra e a borracha, a areia foi a última amostra a ser ensaiado, por ser um agregado mais fino e que se aloja mais facilmente entre as malhas das peneiras. Toda a quantidade foi depositada no conjunto de peneiras, protegida com a tampa do conjunto e colocadas no agitador por aproximadamente 4 minutos cada amostra, conforme a figura 9.

Figura 9 – Agitador com Conjunto de Peneiras

Fonte: Autor (2023)

Após a agitação mecânica as peneiras foram destacadas do conjunto, prosseguindo de cima para baixo, pesando separadamente a massa retida em cada uma delas. Com a ajuda de um pincel e a balança foi possível obter a quantidade de massa que ficou retida em cada peneira, chegando à conclusão do diâmetro de cada agregado estudado. O ensaio se repetiu para cada um dos agregados, conforme mostra a figura 10.

Figura 10 – Quantidade retida em cada peneira



Fonte: Autor (2023)

5.2 Ensaio de resistência e montagem dos corpos de prova

Após a execução do ensaio de peneiramento, deu-se início a execução e montagem dos corpos de prova, para análise da resistência mecânica de um piso com borracha de pneu em sua composição. Todo o ensaio foi baseado na ABNT NBR 5739 de 2018.

Antes de começar a moldagem foi definido, por meio de pesquisas e estudos, dois traços de concreto com as proporções seguintes, cimento, areia, pó de pedra, brita e água:

Traço 1 – 1: 0,8: 2,5: 1,2: 0,5

Traço 2 – 1: 0,25: 0,50: 0,25: 0,47

Os resultados preliminares mostraram que o traço 2 apresentou resultados melhores em questão de resistência a compressão quando comparado ao traço 1, sendo assim o traço 2 acima foi escolhido para a confecção dos corpos de prova.

Foram moldados dois corpos de prova para cada porcentagem de borracha adicionada ao concreto. Também definidos quatro traços diferentes com a substituição do pó de pedra pela borracha de pneu, conforme mostra a tabela 2, chegando a um traço comum sem borracha, um com substituição de 5%, outro com substituição de

10% e por fim, outro com substituição de 15%. Todos foram moldados e testados no LAPEC na Universidade de Sorocaba (UNISO).

Tabela 2 – Quantidade de materiais usados no traço

Traço 2				
Quantidade	Sem adição de borracha	Substituição de 5%	Substituição de 10%	Substituição de 15%
	T1	**T2**	**T3**	**T4**
Cimento	16 kg	16 kg	16 kg	16 kg
Areia	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg
Pó de pedra	8 kg	7,6 kg	7,2 kg	6,8 kg
Brita	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg
Borracha	0	0,4 kg	0,8 kg	1,2 kg
Água	7 L	7 L	7 L	7 L

Fonte: Autor (2023)

Para todos os traços foram utilizados o cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial CP-V (ARI), da marca Holcim, adquirido em distribuidora.

No traço “T1” não houve adição de borracha, as quantidades do traço não sofreram alteração, conforme mostra a tabela 2.

No “T2” as quantidades de cimento, areia e brita não sofreram alterações, porém o pó de pedra sofreu uma alteração de 5% de sua quantidade total, sendo substituído pela borracha de pneu.

O “T3” seguiu a mesma lógica do T2, as quantidades de cimento, areia e brita não se alteraram, porém houve uma substituição de 10% de pó de pedra pela quantidade de 800 g de borracha.

Para o “T4” foi substituído 15% do pó de pedra pela borracha chegando a uma quantidade de 1,2 kg.

Para cada traço foram moldados dois corpos de prova, sendo considerado posteriormente o que apresentasse um maior resultado de resistência. Apesar de não ter sido realizado um estudo aprofundado de *slump* e características, todos os traços não apresentaram mudanças visuais da sua aparência e nem consistência.

A massa foi preparada e batida na mão, adicionando primeiro os agregados secos, a brita e água, levando sempre em conta a relação água/cimento para que não houvesse influência na resistência do concreto. A borracha foi adicionada após a homogeneização de toda a massa, conforme ilustrado na figura 11.

Figura 11 – Preparação do concreto

Fonte: Autor (2023)

- **Corpos de prova cilíndrico**

Para facilitar a desmoldagem desses corpos de provas foram utilizados desmoldantes para concreto da marca Vedacit.

Após a mistura deu-se início a montagem dos corpos de prova, na moldagem foram utilizados moldes para CP cilíndricos em aço, com dimensão de 10 x 20 cm. A massa foi transferida para os moldes cilíndricos, que foram selados com desmoldantes para concreto da marca Vedacit, que facilita da desmoldagem. Foram testados dois corpos de prova, para cada respectiva porcentagem, por tempo de cura, sendo rompidos em 7, 14 e 28 dias, conforme a norma ABNT NBR 5739 de 2018. A figura 12 representa todos os corpos moldados;

Figura 12 – Montagem dos corpos de prova

Fonte: Autor (2023)

- **Tanque de água**

Após 24 horas, da realização dos traços em concretos, os corpos de provas foram desmoldados e submersos em água em um tanque para cura, esse processo protege o concreto, nas primeiras idades de vida, de possíveis retrações, agentes agressivos externos e perda de umidade, que é grande causador de fissuras;

- **Prensa hidráulica**

Após passar o período de cura do material, os corpos de provas foram tirados do tanque para sua secagem total, como mostra a figura 13 abaixo. Foram testados dois corpos para cada porcentagem.

Figura 13 – Corpos de prova desmoldados

Fonte: Autor (2023)

Após a secagem total as peças, estas foram colocadas em uma prensa hidráulica, conforme figura 14, para teste de resistência, a prensa disponibilizada pela faculdade é da marca Viatest e possui capacidade para 150 toneladas e painel

eletrônico para visualização dos dados. Esse teste foi repetido para todas as idades de cura, conforme explicado posteriormente.

Figura 14 – Prensa hidráulica

Fonte: Manual Lapec (2023)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise granulométrica dos agregados

Para se chegar à determinação de um traço para a formação de um corpo de prova e realizar a substituição do agregado foi preciso conhecer o diâmetro e granulometria de cada agregado.

Com a relação dos pesos retidos em cada peneira foi possível determinar o diâmetro de cada agregado e a sua granulometria para a definição do traço.

Para a areia obteve-se os resultados representados na tabela 3, sendo D.máx. o diâmetro máximo do agregado e o Mód. Finura o seu modulo de finura.

Tabela 3 – Quantidade retida da areia

Areia				
Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida em cada peneira	% Retida acumulada	% Passa na peneira
6,3	0	0,00	0,00	100,0
4,75	0	0,00	0,00	100,0
2,36	0	0,00	0,00	100,0
2	2,9	0,29	0,29	99,7
1,18	17,8	1,79	2,08	97,9
0,6	133,6	13,41	15,49	84,5
0,425	189,6	19,03	34,52	65,5
0,3	338,5	33,98	68,50	31,5
0,15	278,3	27,94	96,44	3,6
0,075	29,5	2,96	99,40	0,6
Fundo	6	0,60	100,00	0,0
Mt) Total	996,2	**D.max** = 0,3	**Mód. Finura** =	1,83

Fonte: Autor (2023)

Com uma massa total de 1 kg, ao final do ensaio resultou em uma perda total de massa (Mt Total) equivalente de 3,8 g de agregado, sendo esta perda considerada pequena, resultando em uma amostra final de 996,2 g, conforme representa na tabela 3. Pode-se observar que a maior quantidade de massa retida está na peneira de abertura 0,3 mm, retendo uma quantidade de 338,5 g.

A partir do módulo de finura é possível ter uma breve definição se o agregado é considerado miúdo ou graúdo, quanto menor essa grandeza, o material é considerado mais fino. Esse módulo é obtido através da soma de todas as quantidades retidas em massa, nas peneiras de serie normal, divido por 100 e representado na forma decimal de 0,1, conforme especifica a ABNT NBR 17054 de 2022.

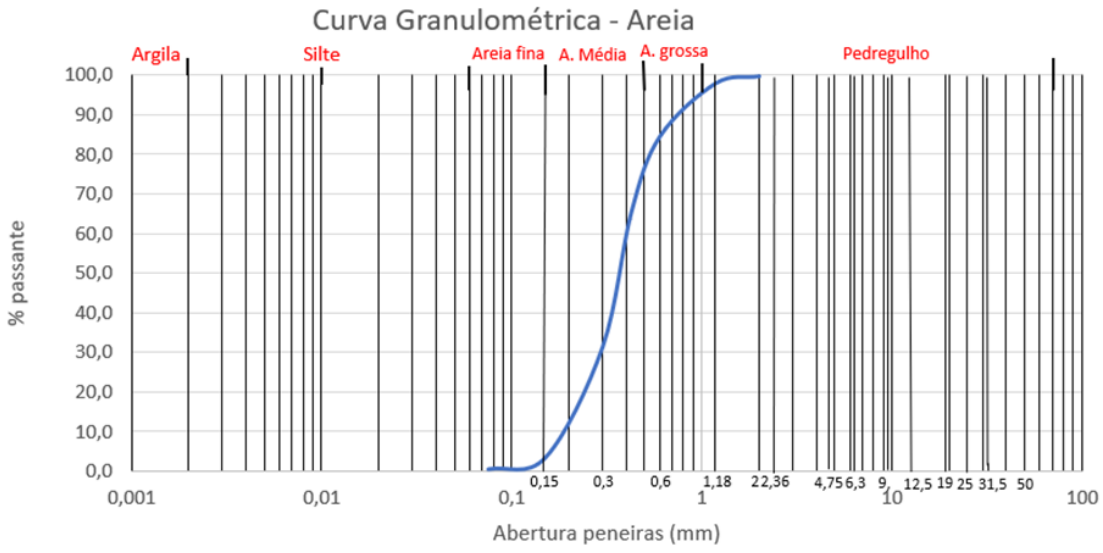
O valor alcançado do modulo de finura igual a 1,83, definindo a areia ensaiada como um material miúdo. O diâmetro máximo alcançado foi de 0,3 mm, onde uma quantidade maior de material ficou retida, a ABNT NBR 16916 de 2021 define como agregado miúdo aquele em que seus grãos passam pela peneira de malha 4,75 mm.

Bauer (2008) em seu trabalho define areia média aquela em que seus grãos apresentam um diâmetro de 0,6 a 2,4 mm, estando a amostra de agregado ensaiada neste trabalho abaixo do valor mínimo dessa especificação, sendo, portanto, definida como areia fina.

A partir dos dados de massa retida e abertura de peneiras, como mostra a tabela 3, e com a ajuda do *Excel*, foi possível montar a curva de análise granulométrica. Neville (1997) e Farias & Palmeira (2007) abordam que a curva granulométrica facilita a avaliação da composição do agregado, é possível observar se o material se enquadra em uma especificação, sendo a granulometria grossa ou muito fina.

O gráfico 1 apresenta a curva granulométrica decorrente dos dados alcançados na tabela 3, relacionando os resultados das porcentagens passantes com a abertura das peneiras, onde é possível observar que o maior desempenho da curva se encontra entre as aberturas de peneiras 0,15 a 0,6 mm, representadas no eixo x do gráfico, essa faixa de classificação se enquadra em areia média, conforme legenda superior presente no gráfico 1. Os resultados representados no gráfico confirmam as informações trazidas pelas normas e literatura presentes nessa pesquisa.

Gráfico 1 - Curva Granulométrica da areia



Fonte: Autor (2023)

A mesma forma de análise se aplicou aos demais agregados.

Com uma massa inicial de 1 kg, ao fim do ensaio de peneiramento obteve-se uma perda de 4,6 g, tendo uma massa final de 995,4 g, pode-se notar que também houve uma quantidade pequena de perda. Com os dados obtidos no ensaio da brita, chegou-se a definição que o módulo de finura, na linha inferior da tabela 4, é de 2,13 e o diâmetro máximo do agregado é de 6,3 mm, abertura da peneira em que há uma maior quantidade de massa retida. Segundo a norma ABNT NBR 7211 de 2022, agregado graúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos até a de abertura de 4,75 mm, estando o material ensaio classificado em agregado graúdo.

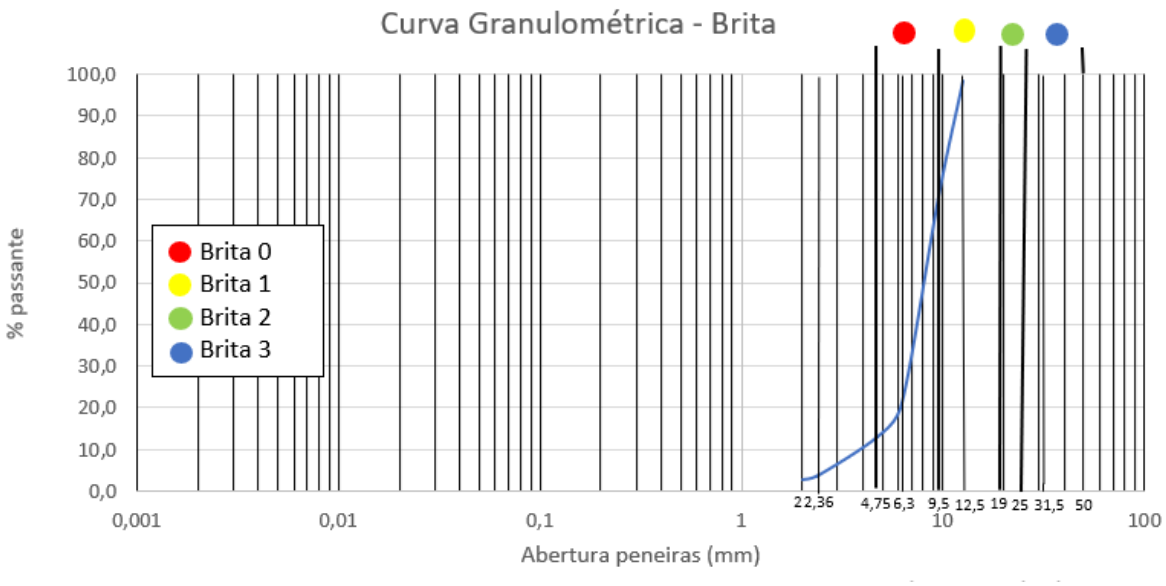
Tabela 4 – Quantidade retida da Brita

Brita				
Abertura da peneira (mm)	**Massa retida (g)**	**% Retida em cada peneira**	**% Retida acumulada**	**% Passa na peneira**
75	0	0	0	100,0
63	0	0	0	100,0
50	0	0	0	100,0
37,5	0	0	0	100,0
31,5	0	0	0	100,0
25	0	0	0	100,0
19	0	0	0	100,0
12,5	16,7	1,68	1,68	98,3
9,5	275,8	27,71	29,39	70,6
6,3	491,7	49,40	78,78	21,2
4,75	80	8,04	86,82	13,2
2,36	96,1	9,65	96,48	3,5
2	9	0,90	97,38	2,6
Fundo	26,1	2,62	100,00	0,0
Mt) Total	995,4	**D.max =** 6,3	**Mód. Finura =** 2,13	

Fonte: Autor 2023

A curva granulométrica representou o tipo de agregado presente na amostra, podendo ser classificado como brita 0 ou pedrisco, assim como está representado no gráfico 2, assim como a areia, o maior desempenho da curva encontra-se entre as malhas de aberturas de 4,75 a 9,5 mm, podendo ser classificada como brita 0, conforme mostra a legenda de cores do gráfico. Todos os gráficos de curva granulométrica foram construídos levando em consideração a quantidade da porcentagem passante de material e a abertura da malha das peneiras.

Gráfico 2 - Curva Granulométrica da Brita



Fonte: Autor (2023)

Para a análise do pó de pedra, foi colocado inicialmente no conjunto de peneiras um total de 1 kg da amostra de pó de pedra. Após o termino do ensaio houve uma perda de 2,6 g, chegando a uma amostra final de 997,4 g; esta perda não influencia no desenvolvimento do ensaio. Para o pó de pedra obtive-se um diâmetro do grão do agregado de 2,36 mm em que se concentrou a maior massa retida e seu módulo de finura de 4,13, conforme apresentado na tabela 5. A ABNT 16916 de 2021, onde define que os agregados miúdos são os que apresentam tamanho do seu grão passa pela peneira de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira de malha 150 µm. Sendo o agregado analisado definido como miúdo.

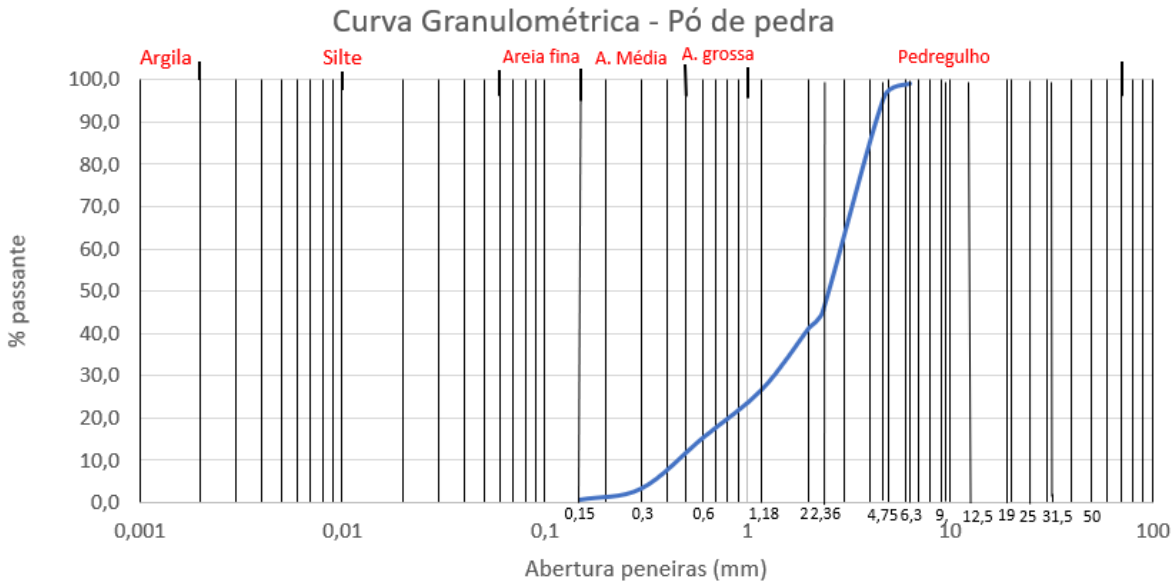
Tabela 5 – Quantidade retida do pó de pedra

Pó de pedra				
Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida em cada peneira	% Retida acumulada	% Passa na peneira
9,5	0	0,00	0,00	100,0
6,3	9	0,90	0,90	99,1
4,75	31,5	3,16	4,06	95,9
2,36	503,6	50,49	54,55	45,4
2	42,6	4,27	58,82	41,2
1,18	143,9	14,43	73,25	26,7
0,6	115,5	11,58	84,83	15,2
0,3	118,9	11,92	96,75	3,2
0,15	26,3	2,64	99,39	0,6
Fundo	6,1	0,61	100,00	0,0
Mt) Total	997,4	D.max = 2,36	Mód. Finura = 4,13	

Fonte: Autor (2023)

Com os dados obtidos na tabela 5, construiu-se o gráfico 3 de curva granulométrica. Na curva granulométrica pode-se observar que esse material está classificado entre areia grossa e pedregulho, já que o maior desempenho da curva se encontra entre as aberturas de peneiras 0,3 a 2,36 mm, isso significa que o material possui uma granulometria diversificada.

Gráfico 3 – Curva granulométrica do pó de pedra



Fonte: Autor (2023)

Para a borracha não existe nenhuma norma que a classifique, mas como a principal motivação da pesquisa é a sua substituição parcial no traço por algum agregado, foi realizado o ensaio de peneiramento para comparação dos valores

granulométricos, sendo a mesma substituída posteriormente pelo agregado que apresente uma granulometria próxima.

Para o ensaio foi colocado inicialmente uma amostra de 500g de borracha, após o ensaio chegou-se a uma amostra final de 498,3g, resultando em uma perda de 1,7g de material, perda essa considerada adequada visto a quantidade inicial do agregado.

Conforme a tabela 6 a maior quantidade de massa retida está na peneira de abertura de 2,36mm e sendo seu módulo de finura de 2,79mm. A partir desses valores obtidos e comparando-os com os valores dos outros agregados a substituição será feita pelo pó de pedra, pois ambos apresentaram diâmetros iguais.

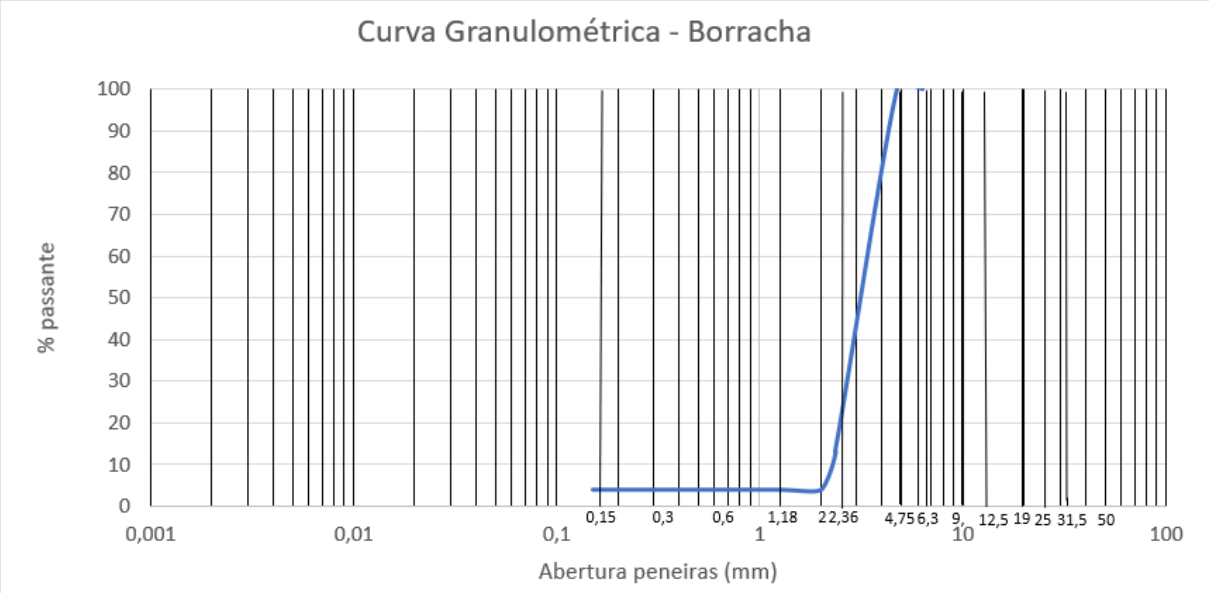
Tabela 6 – Quantidade retida de borracha

Borracha				
Abertura da peneira (mm)	**Massa retida (g)**	**% Retida em cada peneira**	**% Retida acumulada**	**% Passa na peneira**
12,5	0	0	0	100,0
9,5	0	0,00	0,00	100,0
6,3	0	0,00	0,00	100,0
4,75	0	0,00	0,00	100,0
2,36	432,8	86,86	86,86	13,1
2	45,4	9,11	95,97	4,0
1,18	0	0,00	95,97	4,0
0,6	0	0,00	95,97	4,0
Fundo	20,1	4,03	100,00	0,0
Mt) Total	498,3	**D.max** = 2,36	**Mód. Finura** = **2,79**	

Fonte: Autor (2023)

A curva granulométrica apresentada no gráfico 4, mostra a relação entre a abertura de peneiras e a porcentagem passante do material, onde observa-se que até a peneira 2,00 mm a sua quantidade passante é praticamente nula, já que quase todo o material passa por essa peneira. A partir da malha 2,36 mm a curva cresce proporcionalmente, apresentando um desenvolvimento próximo ao “gráfico 3 – Curva granulométrica do pó de pedra”, indicando que a substituição entre os materiais é viável. A borracha usada nesse ensaio é a RG2, raspas de pneu de caminhão.

Gráfico 4 – Curva granulométrica da borracha



Fonte: Autor (2023)

6.2 Ensaio mecânico de compressão

Após a montagem dos corpos de prova, aguardou-se um período de 7 dias para realizar o teste de compressão e resistência. Pelo fato de ter sido utilizado um Cimento de Alta Resistência Inicial CP-V ARI, logo no início já foi possível alcançar uma alta resistência. A ABNT NBR 9781 de 2013 pontua que para o piso intertravado, a sua resistência aos 28 dias tem que ser de 35 MPa.

Primeiro iniciou-se pelo corpo de prova sem adição de borracha, representado na “Tabela 2 – Quantidade de materiais usados no traço”, como o traço T1. Para a idade de 7 dias, conforme Tabela 7, obtivemos uma resistência de 31,46 MPa. Em seguida testamos o traço T2, com a substituição de 5%, chegando a uma resistência final de 31,63 MPa, a melhor até o momento. O terceiro traço a ser ensaiado foi o T3, com substituição de 10%, alcançando uma resistência de 30,76 MPa e o último traço T4, atingiu uma resistência de 27,04 MPa, sendo considerada a pior situação a ser utilizada.

O equipamento utilizado para ruptura dos corpos de prova, a prensa hidráulica, fornece um valor em Tonelada-força (Tf), que deve ser convertido para uma força representada pela unidade Mega Pascal (MPa), visto que a norma classifica as resistências de tensão nessa unidade. Utilizou-se a equação da Lei de Pascal, conforme exemplifica Yunus A. Cengel e John M. Cimbala (2015), para o cálculo de tensão:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{Tf * 1000}{\pi . r^2}$$

Foi considerado **F** sendo a força expressa em Tf (tonelada-força) e convertida em MPa (Mega Pascal) após a multiplicação por 1000, **A** sendo a área da seção reta do corpo de prova cilíndrico (em cm^2), e **r** o raio da seção reta do corpo de prova.

Para essa análise, levou-se em consideração o maior valor de tensão representado em unidade de Mega Pascal (MPa) entre as duas amostras de cada traço rompido, conforme especifica a NBR 5739 de 2018.

Tabela 7 – Resistências a idade de 7 dias

IDADE DE 7 DIAS		
TRAÇO	**TF**	**MPA**
S/ BORRACHA	24,37	**31,03**
	24,71	**31,46**
5%	24,84	**31,63**
	22,15	**28,20**
10%	23,68	**30,15**
	24,16	**30,76**
15%	21,24	**27,04**
	21,04	**26,79**

Fonte: Autor (2023)

Para a idade de 14 dias, os resultados foram melhores que o teste realizado na primeira idade, conforme mostra a tabela 8. O traço sem a adição de borracha atingiu uma resistência de 40,20 MPa, ultrapassando o que é exigido pela norma ABNT NBR 9781 de 2013. O traço com substituição de 5% de borracha apresentou um resultado final de 34,96 MPa, podendo ser considerado o mais próximo a resistência exigida pela norma. O corpo com 10% de substituição alcançou uma resistência de 33,21 MPa e o com substituição de 15%, a uma resistência de 28 MPa, sendo ainda considerado como a pior opção em questão de resistência, ficando a melhor para o traço com substituição de 5%.

Tabela 8 – resistência a idade de 14 dias

IDADE DE 14 DIAS		
TRAÇO	TF	MPA
S/ BORRACHA	29,21	37,19
	31,57	40,20
5%	20,05	25,53
	27,46	34,96
10%	23,2	29,54
	26,08	33,21
15%	21,39	27,24
	21,99	28,00

Fonte: Autor (2023)

Aos 28 dias os corpos de provas ensaiados chegaram a sua resistência total e apresentaram resultados satisfatório. Como o esperado o traço sem adição de borracha apresentou uma resistência de 43,25 MPa, ainda estando acima do recomendado pela NBR 9781 de 2013. Já os traços de 5% e 10% não apresentaram grande variação na sua resistência quando comparados aos 14 dias, a resistência de ambos ficou próxima, com tensões de 39,22 para o de 5% e 37,13 para o de 10%, como mostra a tabela 9 ainda sim estando dentro da norma.

O corpo de prova de 15% sofreu uma alteração quase imperceptível em sua resistência comparado com o ensaio anterior, apresentando uma variação de 0,41MPa, também o primeiro corpo de prova ensaiado apresentou uma resistência de 22,97 MPa menor quando comparado aos 14 dias, isso pode ocorrer por diversos fatores, como: problemas na execução e rompimentos do corpo de provas, erros de precisão da máquina, problemas na homogeneização do traço e outros fatores, já que todos os traços foram feitos de uma única vez, mas os valores apresentados não interferiram em nada no resultado final de comparação, pois em todos os casos foram considerados apenas o corpo de prova que apresentou uma maior resistência a tensão, conforme a ABNT NBR 5739 de 2018.

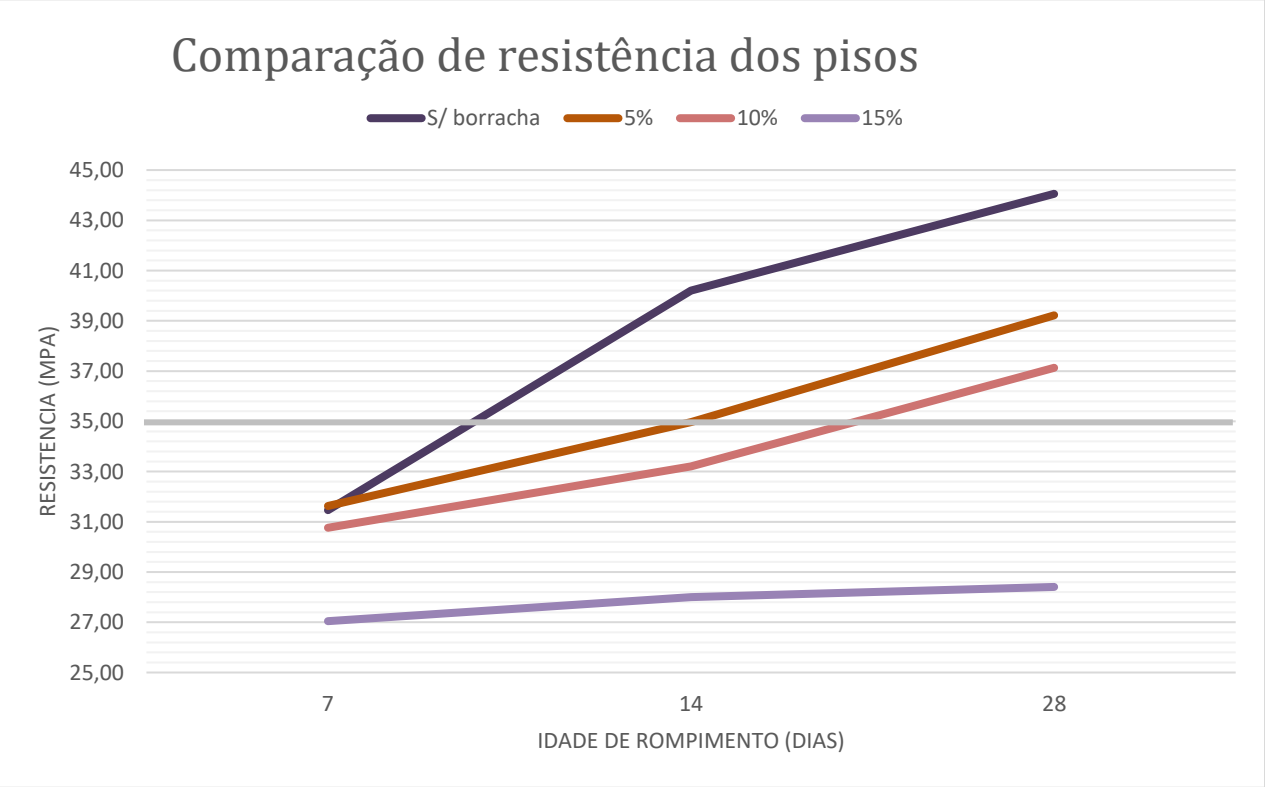
Tabela 9 – Resistência a idade de 28 dias

IDADE DE 28 DIAS		
TRAÇO	TF	MPA
S/ BORRACHA	33,97	43,25
	34,6	44,06
5%	30,8	39,22
	29,32	37,33
10%	29,16	37,13
	28,11	35,79
15%	18,04	22,97
	22,31	28,41

Fonte: Autor (2023)

Ao comparar todos os corpos de provas juntos, como mostra o gráfico 5 pode-se observar mais claramente que os traços com substituição de 5% e 10% de borracha, apresentaram resultados muito próximos ao longo de todo período de cura.

Gráfico 5 - Comparação de resistências dos pisos



Fonte: Autor (2023)

A resistência destes dois traços aos 28 dias ficou abaixo se comparado com o traço sem borracha, porém, pode ser aceita uma vez que ficou acima do valor preconizado pela norma, que é de 35 Mpa. Então para que seja viável utilizar a borracha na composição é necessário um controle muito eficiente na realização dos

traços, para que os mesmos atendam as resistências e se enquadrem na ABNT NBR 9781 de 2013, que diz que a resistência características de compressão aos 28 dias, que deve ser maior que 35 MPa, quando utilizado para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.

Já o traço de 15% apesar de não ter atingido a resistência característica a compressão aceitável para pisos, ainda assim apresentou uma resistência muito boa, isso confirma a literatura de Farias (2007), que para fabricação de pisos intertravados deve ser incorporado apenas de 5% a 10% de borracha de pneus, pois apresenta melhores resultados, contudo o piso com porcentagem maior ainda apresenta uma capacidade muito boa de absorção de energia.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito principal dessa pesquisa constituiu no estudo da análise característica de resistência a compressão no piso com substituição de parte do agregado pela borracha inservível de pneu, além de comparar o desempenho do concreto com 5, 10 e 15% de resíduo com o concreto de referência.

A princípio foi realizado o ensaio de peneiramento de todos os agregados utilizados no traço para efeito de comparação e determinação de qual agregado seria mais viável fazer a substituição pela borracha, todos apresentaram resultados satisfatórios e condizentes com a literatura. O material que apresentou uma boa compatibilidade granulométrica com a borracha de pneu foi o pó de pedra, sendo esse o definido para ser substituído no traço.

O traço utilizado para a produção do piso foi o 1:0,5:0,25:0,25:0,5, sendo elaborado *in loco* com o controle da relação água/cimento. Foram moldados dois corpos de provas cilíndricos para cada traço, e a incorporação da borracha não apresentou nenhuma dificuldade durante a mistura dos componentes.

Os corpos de provas foram rompidos, em uma prensa hidráulica, nas idades de 7, 14 e 28 dias.

Para chegar em uma eficiência de resistência de acordo com a ABNT NBR 9781 de 2013, que é de 35 MPa, foi utilizado o Cimento Portland CP40-ARI pois possui uma alta resistência inicial logo nos primeiros dias.

Para a idade de 7 dias os traços de 5% e 10% apresentaram valores bem próximos ao sem borracha, já o de 15% apresentou uma eficiência bem inferior.

Na idade de 14 dias os resultados foram satisfatórios, o traço sem borracha atingiu uma resistência superior ao exigido pela norma, os traços de 5% e 10% ainda apresentaram um desempenho próximo, sendo que o de 5% teve uma resistência melhor, a substituição de 15% ainda não alcançou os resultados requeridos.

Nos 28 dias os corpos alcançaram a sua resistência final, assim como era de se esperar os corpos de provas sem borracha, 5% e 10% de substituição ultrapassaram a resistência requerida pela norma de 35MPa, podendo ser usado para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.

O traço de substituição de 15% ao final dos resultados não atingiu a resistência para os fins que a normatização determina, tornando-se inviável a sua utilização, como afirma a literatura de Freitas (2007). Contudo a sua resistência ainda é muito

boa podendo ser empregadas em outros sistemas construtivos, que não necessitam de uma resistência tão elevada quanto aos pisos intertravados.

Quando relacionamos a resistência, o emprego de quantidades superiores a 10%, diminuem a resistência do material, tornando-o mais frágil e suscetível a futuras anomalias.

Para que seja viável, os traços com adição de borracha devem ter um melhor controle durante a sua execução de modo a garantir uma melhor homogeneização dos constituintes.

Apesar das leis que garantem a reciclagem desses pneus, ainda sim existem descartes inapropriados no meio ambiente, empregar essa borracha para outros fins é um dos meios de reciclar esse material. A construção civil por sua vez viabiliza a reciclagem desse tipo de material em seu meio, uma vez que grande parte dos sistemas construtivos produzidos, não necessitam de materiais muitos sofisticados, isso faz com que haja uma redução de custos, também promove práticas ambientalmente responsáveis beneficiando a sociedade como um todo.

Usar a borracha de pneu na composição tem muitas vantagens, uma vez que ao substituir parte de um agregado na composição do traço, diminui-se a quantidade de materiais retirados das jazidas.

É importante destacar que, apesar das vantagens em se utilizar pneu na construção civil, a sua produção ainda pode ter um custo elevado, visto que no Brasil a utilização desses resíduos na construção não é muito comum, apesar da grande quantidade de pneus disponíveis para a reciclagem. Para empregá-lo na construção civil é necessário passar por alguns processos, como a retirada do aço e a moagem do pneu, para só assim torná-lo utilizável, isso de certa forma encarece o produto final, sendo necessário mais estudos e investimentos. Também não existem normas que regulamentam o uso desse material na incorporação do concreto, dificultando assim a sua classificação.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR NM 248**: agregados - determinação da composição granulométrica. 1. ed. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT. **ABNT NBR 5739:** concreto - ensaio de compressão de corpos de provas cilíndricos. 3. ed. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT. **ABNT NBR 7211:** agregados para concreto – requisitos. 4. ed. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT 9781**. ABNT NBR 9781:** peças de Concreto para pavimentação - Especificações e Métodos de Ensino. 2. ed. Rio de Janeiro**,** 2013.

ABNT 10004**. ABNT NBR 10004:** resíduos sólidos – classificação. 1. ed. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT 15953**. ABNT NBR 15953:** pavimentação intertravado com peças de concreto – execução. 1. ed. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT 16697. **ABNT NBR 16697**: cimento *Portland* – requisitos. 1. ed. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT 16916. **ABNT NBR 16916:** agregado miúdo - determinação da densidade e da absorção de água. 1. ed. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT 17054. **ABNT NBR 17054:** agregados - determinação da composição granulométrica - método de ensaio. 1. ed. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT. **ABNT NBR NM-ISSO 3310-1**: peneiras de ensaio – requisitos técnicos e verificação - parte 1: peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

American Concrete Institute. ***Manual of concrete practice – Part*.1 1980**. Michigan, 1980.

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Pavimentos Intertravados**. Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. São Paulo, 2009.

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público.** Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. p.36. São Paulo, 2010.

Associação Nacional Da Indústria De Pneumáticos. **Mais de duas toneladas de pneus inservíveis são recolhidas por dia em Sorocaba**. (ANIP) 2014. Disponível em: https://www.anip.org.br/releases/mais-de-duas-toneladas-de-pneus-inserviveis-sao-recolhidas-por-dia-em-sorocaba/. Acesso em: 19 nov. 2023.

AZEVEDO, L. C. O. **Efeito econômico da reciclagem de pneus para a sociedade brasileira**. São Paulo: Insper, 2011.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BOLINA, C. C. et al. **Calçadas ecológicas e inclusivas utilizando resíduos de pneus inservíveis**. Revista Científica Linkania Master, v. 1, n. 6, p. 60-80, 2013.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Princípio da mecânica dos solos e fundações para a construção civil.** ed. Edgard Blucher Ltda, 2015.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Presidência da República, 2010. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 06 dez 2023.

CERATTI, Jorge Augusto Pereira; REIS, Rafael Marçal Martins de. **Manual de dosagem de concreto asfáltico.** Oficina de texto; Rio de Janeiro: Instituto Pavimentar, 2011.

CONAMA. **Resolução 258, de 26 de agosto de 1999**. Dispõe sobre a coleta e destinação final ambientalmente adequada de pneus inservíveis. Concelho nacional do meio ambiente, 1999. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=17830#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20preven%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0,adequada%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAncias. Acesso em: 06 dez. 2023.

CONAMA. **Resolução 416, de 30 de setembro de 2009**. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Concelho nacional do meio ambiente, 2009. Disponível em: http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Conama-416 Destina%C3%A7%C3%A3o-de-pneus.pdf. Acesso em: 06 dez. 2023.

D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero; SENA, Lúcia Bastos Ribeiro de. **Reciclagem de Outras Matérias**, *In*: Manual de Gerenciamento Integrado: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. CEMPRE: Compromisso Empresarial para a Reciclagem. 2. ed. São Paulo: IPT,2000.

ELDIN N.N. SENOUCI A. *Rubber* – Tire Particles as concrete Aggregate. **Journal of Materials** *in* Civil Engineering, 1993, 5(4), 478-496.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. **Agregados para a Construção Civil**. *In:* ISAÍA, G.C. ed. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. p.1712.

GARRICK, G. ***Analysis of waste tire modified concrete****. In*: *Graduate Student Conference,* 2004.

GHALY, Ashraf M; CAHILL IV, James D. *Correlation of strength, rubber content and water to cement ratio in rubberized concrete*. **Journal of Civil Engineering**, *Canadian,2005,* v. 32, n. 6, p. 1075-1081.

KAMIMURA, E**. Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. 2002. Disertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

KRUEL, A. ***Ignacy Sachs*****:** Uma voz sempre atual na sociedade. Santa Catarina, 2010. Disponível em: http://www.anpad.org.br/admin/pdf/eneo339.pdf. Acesso em: 27 set. 2023.

KWAN, A.K.H.; MORA, C.F.; CHAN, H.C. ***Particle shape analysis of coarse aggregate using digital image processing*****.** *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, pp. 1403 – 1410, 1999.

LAGARINHOS, Carlos. **Reciclagem de pneus: Análise do Impacto da Legislação Ambiental através da Logística Reversa.** 2011. 263f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

LINTZ, Rosa Cristina Cecche; BARBOSA, Luísa Andréia Gachet; SEYDELL, Maria Rachel Russo; JACINTHO, Ana Elizabete Paganelli Guimarães de Avila. **Avaliação de comportamento de concreto contendo borracha de pneu inservíveis para utilização em pisos intertravados.** Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Limeira. SP, 2010.

MACHIN, E. B.; PEDROSO, D. T.; DE CARVALHO, J. A. ***Energetic valorization of waste tires. Renewable and sustainable.*** *Energy Reviews*, v. 68, p. 306–315.

Manual técnico de piso intertravado de concreto/ T & A Blocos e Pisos. p.46.Fortaleza, 2004.

MARTIN, N. B.; ARRUDA, S. T. **Informações Econômicas**: **a produção brasileira de borracha natural: situação atual e perspectivas**. 9.v. 23. set. 1993.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. revisão atual. São Paulo: Pini, 1997.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998.

POURRE, O. V. **O destino dos pneus descartados: leis vigentes e tecnologias utilizadas no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Contábeis. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

RECICLANIP, **Responsabilidade pós consumo**. (RECICLANIP) 2022. Disponível em: https://www.reciclanip.org.br/destinados/. Acesso em: 06 dez. 2023.

RODRIGUES, Maria Regina Pagliuso. **Caracterização e Utilização do Resíduo da Borracha de Pneu Inservíveis em Compósitos Aplicáveis na Construção Civil.** Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2008.

SIMONETTI, Camila; PEREIRA, Jeniffer Wugniel; TUTIKAN, Bernardo Fonseca. **Aproveitamento de borracha reciclada de pneu inservível na construção civil.** Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. 11º fórum internacional de resíduos sólidos. Porto Alegre, 2020.

TOPÇU, I. B. **The properties of rubberized concretes**. **Cement and Concrete Research**, v. 25, n. 2, p. 304-310, 1995.

TEZUKA, Y**. Concreto Armado com Fibras**, São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2ª ed., 28 p. (1999).

VELOSO, Z. **Ciclo de vida dos pneus**. Ministério do meio ambiente, 2015. Disponível em: https://pt.slideshare.net/promtec/zilda-maria-faria-veloso-ciclo-de-vida-dos-pneus. Acesso em 30 set. 2023.

YUNUS, A. Cengel; JOHN, M. Cimbala. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e aplicações.** 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.