



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CAMPUS MACAPÁ
TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

CLAUDOMIRO XAVIER RIBEIRO NETO

THIAGO DA SILVA E SILVA

RACIB MANUEL DA SILVA

**ANÁLISE DE PISOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO
DE AGREGADO MIÚDO POR BORRACHA**

MACAPÁ

2023

CLAUDOMIRO XAVIER RIBEIRO NETO

THIAGO DA SILVA E SILVA

RACIB MANUEL DA SILVA

**ANÁLISE DE PISOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO
DE AGREGADO MIÚDO POR BORRACHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a coordenação do curso de Tecnologia em Construção de Edifícios como requisito avaliativo para obtenção do título de Tecnólogo em Construção de Edifícios.

Orientadora: Me. Leila Cristina Nunes Ribeiro

Coorientadora: Dra. Natasha Cristina da Silva Costa

MACAPÁ

2023

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R484a Ribeiro Neto, Claudomiro Xavier
 Análise de pisos intertravados de concreto com substituição de agregado miúdo por borracha / Claudomiro Xavier Ribeiro Neto, Racib Manuel da Silva, Thiago da Silva e Silva. - Macapá, 2023.
 50 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá, Curso de Tecnologia em Construção de Edifícios, 2023.

Orientadora: Me. Leila Cristina Nunes Ribeiro.
Coorientadora: Dra. Natasha Cristina da Silva Costa.

I. Bloquete. 2. Concreto. 3. Borracha. I. Silva, Racib Manuel da. II. Silva, Thiago da Silva e . I. Ribeiro, Me. Leila Cristina Nunes, orient. II. Costa, Dra. Natasha Cristina da Silva, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

CLAUDOMIRO XAVIER RIBEIRO NETO

THIAGO DA SILVA E SILVA

RACIB MANUEL DA SILVA

ANÁLISE DE PISOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO POR BORRACHA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a coordenação do curso de Tecnologia em Construção de Edifícios como requisito avaliativo para obtenção do título de Tecnólogo em Construção de Edifícios.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



LEILA CRISTINA NUNES RIBEIRO
Data: 10/08/2023 21:00:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Leila Cristina Nunes Ribeiro (Orientadora)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente



NATASHA CRISTINA DA SILVA COSTA
Data: 03/08/2023 17:49:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Natasha Cristina da Silva Costa (Coorientadora)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Prof. Me. Antônio de Pádua Arlindo Dantas (Avaliador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente



ROMULO SANTANA PIRES
Data: 03/08/2023 19:58:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Técnico Romulo Santana Pires (Avaliador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente



RODRIGO RODRIGUES DA CUNHA
Data: 08/08/2023 22:26:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues da Cunha (Avaliador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Apresentado em: 29/06/2023

Conceito/Nota: 9,5.

RESUMO

O Concreto é um dos materiais mais utilizados pela construção civil, suas propriedades mecânicas são fundamentais para a construção de uma edificação, sua produção requer uma diversa quantidade de materiais, causando uma grande demanda por recursos. Procurando reduzir o consumo de um dos materiais, o agregado miúdo, foi objetivo deste trabalho elaborar e estudar um concreto com substituição parcial de agregado miúdo por borracha triturada, proveniente do processo de recauchutagem de pneus, sendo confeccionados pisos intertravados, conhecidos como bloquetes para análise do comportamento perante esforços mecânicos. Sendo realizado um estudo de ensaio, foram definidas as porcentagens de substituição de 4% e 6%. Pesquisas anteriores apontaram que junto da redução de agregado miúdo, também há uma redução da resistência à compressão, em compensação, um aumento da tenacidade. Os resultados obtidos são promissores, a resistência à compressão cumpriu o estabelecido pela norma, mesmo com a redução já esperada, junto do aumento da tenacidade.

Palavras-chave: bloquete; concreto; borracha.

ABSTRACT

Concrete is one of the most used materials for civil construction, its mechanical properties are fundamental for the construction of a building, its production requires a diverse number of materials, causing a great demand for resources. Seeking to reduce the consumption of one of the materials, fine aggregate, the objective of this work was to elaborate and study a concrete with partial replacement of fine aggregate by crushed rubber, resulting from the tire retreading process, with interlocking floors being made, known as blocks for analysis. behavior in the face of mechanical stress. As a test study was carried out, the replacement percentages of 4% and 6% were defined. Previous research has shown that along with the reduction in fine aggregate, there is also a reduction in compressive strength, in return, an increase in toughness. The results obtained are promising, the compressive strength complied with the established by the standard, even with the already expected reduction, along with the increase in toughness.

Keywords: block floor; concrete; rubber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tempo de degradação do pneu.	16
Figura 2 - Vendas totais de pneus e projeções anuais.	17
Figura 3 - Destinações de pneus inservíveis.	17
Figura 4 - Composição do pneu.	18
Figura 5 - Destinações de pneus.	19
Figura 6 - Pneu sendo triturado.	20
Figura 7 - Monte de borracha triturada.	20
Figura 8 - grão de cimento formando etringita.	21
Figura 9 - aglomerado de Etringita em vista de um microscópio eletrônico.	21
Figura 10 - Tipos de cimento e suas composições.	22
Figura 11 - Materiais necessários para a produção de concreto.	23
Figura 12 - Comparação do concreto com sílica ativa.	24
Figura 13 - Concreto com adição de fibra de borracha.	24
Figura 14 - Calçada de paver sextavado.	26
Figura 15 - Calçada de paver retangular.	26
Figura 16 - Fluxograma do procedimento experimental adotado neste trabalho.	27
Figura 17 - Quantidade total de borracha.	28
Figura 18 - Parte do material passante lado a lado.	28
Figura 19 - Elaboração gráfica da curva granulométrica da borracha.	29
Figura 20 - Pesagem da areia.	29
Figura 21 - Visão geral de todos os recipientes com cada massa retida.	30
Figura 22 - Elaboração gráfica da curva granulométrica da areia.	31
Figura 23 - Pesagem de 500 g de areia seca.	32
Figura 24 - Bolhas de ar (vazios) saindo pelo topo.	32
Figura 25 - Pesagem inicial da brita.	33
Figura 26 - Leitura final dos recipientes.	33
Figura 27 - Areia seca separada sendo pesada	34
Figura 28 - Recipiente cheio sendo pesado.	34
Figura 29 - Recipiente vazio sendo pesado.	35
Figura 30 - Recipiente cheio sendo pesado.	35
Figura 31 - Características da Sílica Ativa.	35
Figura 32 - Gráfico de Resistência à compressão após 7 dias.	37

Figura 33 - CP a ser rompido na máquina EMIC.	38
Figura 34 - CP rompido após 7 dias de cura.	38
Figura 35 - Gráfico de Resistência à compressão após 14 dias.	39
Figura 36 - CP rompido após 14 dias de cura.	40
Figura 37 - Gráfico de Resistência à compressão após 28 dias.	41
Figura 38 - Gráfico de resumo das resistências da dosagem 1.	41
Figura 39 - Gráfico de resumo das resistências da dosagem 2.	42
Figura 40 - Materiais utilizados na concretagem.	42
Figura 41 - Gráfico de Resistência à compressão após 28 dias.	44
Figura 42 - Gráfico de Resistência à tração na flexão após 28 dias.	45
Figura 43 - Bloquete a ser rompido.	45
Figura 44 - Bloquete rompido após 28 dias de cura.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados das massas retidas através do ensaio granulométrico da borracha	28
Tabela 2 - Resultados das massas retidas através do ensaio granulométrico da areia	30
Tabela 3 – Quantidade de materiais para concretagem	36
Tabela 4 - Resultados do ensaio de Resistência à compressão após 7 dias.	37
Tabela 5 – Resultados do ensaio de Resistência à compressão após 14 dias.	39
Tabela 6 - Resultados do ensaio de Resistência à compressão após 28 dias.	40
Tabela 7 – Resultados CPs 28 dias	43
Tabela 8 - Resultados do ensaio de Tração na flexão.	44

LISTA DE SIGLAS

ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
CP	Corpo de Prova
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Metodologia	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Pneu	16
2.2	Concreto	20
2.3	Paver	25
3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	27
3.1	Características gerais do material	27
3.1.1	Separação da borracha a ser utilizada	27
3.1.2	Ensaio da Composição Granulométrica do Agregado Miúdo	29
3.1.3	Ensaio da Massa Específica e Massa Específica Aparente do Agregado Miúdo.	31
3.1.4	Ensaio Massa Específica e Massa Específica Aparente do Agregado Graúdo	32
3.1.5	Ensaio da Massa Unitária do Agregado Miúdo	33
3.1.6	Ensaio da Massa Unitária do Agregado Graúdo	34
3.1.7	Características da Sílica ativa.	35
3.2	Estudo de dosagem	36
3.3	Ensaio do estudo de dosagem	36
3.3.1	Resultado dos CPs com 7 dias	36
3.3.2	Resultado dos CPs com 14 dias	38
3.3.3	Resultado dos CPs com 28 dias	40
3.3.4	Escolha da dosagem a ser utilizada	42
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	43
4.1	Ensaio corpos de prova e bloquetes	43
4.1.1	Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão em CPs em 28 dias	43
4.1.2	Resultados do Ensaio de Resistência à Tração na flexão em Bloquetes com 28 dias	44
5	CONCLUSÕES	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O descarte inadequado de pneus no Brasil é um grande problema de questão ambiental, de acordo com a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (Anip), foram vendidos 53,8 milhões de pneus apenas em 2020 e são descartadas 450 mil toneladas de pneus por ano. O abandono indevido desse produto causa a proliferação de doenças, pois o pneu pode servir como ambiente ideal para larvas e mosquitos *Aedes aegypti*, transmissores de dengue, Zika e Chikungunya.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) considera a necessidade de disciplinar o gerenciamento dos pneus inservíveis, obrigando os fabricantes a coletar e dar destinação adequada desse tipo de pneu, estabelecendo que a reforma de pneu não é uma solução adequada. Em vigência, a Resolução CONAMA nº 416 de 30/09/2009 que dispõe sobre prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências.

Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei nº12.305/2010 – define a obrigatoriedade de envolvimento na gestão integrada e gerenciamento de resíduos, estabelecendo a “responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos”, obrigando a criação e instalação de sistemas de logística reversa para os pneus, através do retorno dos produtos depois de serem utilizados.

Após o fim de sua vida útil, deve-se levar o pneu a um ponto de coleta, porque o pneu possui um tempo de decomposição indeterminado, podendo levar até 600 anos, se descartado de maneira inadequada. Atualmente, a indústria de fabricação de cimento é o principal destino de reaproveitamento, sendo utilizado como combustível para fornos, podendo também ser utilizado como matéria-prima de asfalto-borracha.

No Estado do Amapá, a Lei Nº 2495 de 02/03/2020 obriga os estabelecimentos comerciais de promover o recolhimento e destinação ambiental correta dos pneus inservíveis existentes no Estado do Amapá. Na qual, a Renovadora de Pneus de Macapá - RPM Macapá filial da Vipal Borrachas que é a empresa que executa o recolhimento deste material em todo o território nacional.

De acordo com a Lei Municipal nº 054 de 2008, é crime e a penalidade para quem for flagrado na prática de descarte irregular de pneu é a aplicação de multa, que varia entre R\$ 500 e R\$ 2.500.

Assim, para amenizar os problemas ambientais da geração de resíduos, existe tecnologia de reutilização de resíduos para que estes sejam incorporados com outros materiais e assim retornem para o mercado. De acordo com Carvalho et al. (2019), o resíduo sólido possui valor econômico na medida em que pode ser reinserido na cadeia produtiva como matéria-prima secundária para a produção de novas mercadorias.

Na área da Construção Civil, as empresas estão adaptando sua forma de produzir e gerir suas obras. Isso implica dizer que a questão ambiental esteja presente no planejamento das empresas por oferecer a redução de custos. É dever das empresas elaborar um programa para introduzir a sustentabilidade, de maneira que conforme forem executadas as obras, sejam implementadas alternativas viáveis. A Resolução nº. 307 de 05 de julho de 2002 do CONAMA estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, buscando disciplinar as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

No ramo da construção civil, um dos grandes problemas ambientais do concreto asfáltico ou pisos impermeáveis são as inundações constantes, causadas pela impermeabilidade do concreto devido não poder drenar a água da chuva naturalmente e uma técnica compensatória para a drenagem urbana é a utilização de blocos de concreto intertravados (COSTA, 2022).

O piso intertravado, também conhecido como paver ou bloquete, era muito utilizado pelos romanos desde 2.000 A.C, e executados na Mesopotâmia há quase 5.000 a.c. vem sendo utilizado pela humanidade há milhares de anos. Blocos de concreto ou pisos intertravados conforme Carvalho (1998), é o pavimento composto por peças pré-moldadas de concreto, possuindo múltiplas variedades de formas e espessuras, com a finalidade de aplicação para passeios públicos, estacionamentos e também como pista de rolamento.

A NBR 9.871/2012 é a norma técnica que estabelece os requisitos para utilização de peças de concreto na pavimentação intertravada, destinada ao tráfego de pedestres, de veículos dotados de pneumáticos e áreas de armazenamento de produtos. Quanto as dimensões mínimas dos pavers, a largura mínima de 97 mm, o comprimento máximo de 250mm, e a espessura deve

ser no mínimo de 60mm, especificada em múltiplos de 20mm, por exemplo, medidas de 6 cm, 8cm e 10 cm, sujeita a necessidade do projeto. A norma ainda define a resistência mínima de 35 MPa, para áreas de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, e 50 MPa para áreas de tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.

O baixo custo de reparo, a sua reutilização, a alternativa prática e econômica, a versatilidade, o fato de poder ser reaproveitado em média 94% das peças, favorece a permeabilidade no local onde é instalado, são algumas das vantagens, características que fazem com que os pisos intertravados sejam usados cada vez mais na atualidade, principalmente em logradouros públicos e privados. A vida útil desses pisos, é em torno de no mínimo 20 anos, ou seja, bem mais vantajoso se comparado ao pavimento asfáltico, por exemplo, que tem somente vida útil entre 8 e 12 anos. Pode-se citar ainda, que os pisos intertravados possuem baixo impacto ambiental na sua manutenção, pois suas peças podem e são reutilizadas.

Para dispor de resistência necessária para resistir a todos os esforços, os blocos tem de possuir uma morfologia em suas superfícies que lhes proporcionem lisura e grande resistência a deterioração. Este modelo de pavimentação resiste a movimentos perpendiculares ao solo, horizontais, e movimentos de giro quando em contato com blocos circunvizinhos. Com o objetivo de assegurar que os blocos estejam travados entre si, o encaixe deve ser preciso com dimensões bem delimitadas e juntas pouco espaçadas (CRUZ, 2007).

Dentro deste contexto, visando aos potenciais economias associadas à reutilização de resíduos de borracha triturada de pneu, esta pesquisa visa avaliar a obtenção de piso intertravado a partir de estudo de traço pra identificar um melhor teor de resíduo de borracha para um maior desempenho do concreto. Para uma melhor realização desse estudo, tomou-se como base trabalhos que foram desenvolvidos por SILVA F. M. et al. (2015) e ROMUALDO (2011). A pesquisa contou com análises das características pertencentes aos resíduos oriundos da borracha triturada por meio de análises químicas, elementares e física. Diferentes amostras foram preparadas para obter materiais com teores de resíduo de borracha triturada para avaliação de sua resistência onde a borracha triturada como agregado miúdo no concreto resulta em perdas significativas de resistência à compressão. Os resultados deste trabalho servem de base para futuros estudos destinados a aplicação desses métodos utilizando resíduos de borracha de pneu, ou adaptando para outros resíduos polímeros.

1.1 Justificativa

Desenvolver uma nova destinação para o resíduo de borracha é fundamental para a redução da poluição causada, a borracha proveniente da trituração de pneus pode ser utilizada na dosagem de concreto como agregado miúdo, afim de reduzir o consumo de areia, estando atento as alterações que essa substituição pode causar nas propriedades mecânicas do concreto, que será utilizado na concretagem de pisos intertravados, destinados ao tráfego leve de pessoas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Produzir pisos intertravados de concreto elaborado com substituição parcial do agregado miúdo por borracha triturada de pneu, atendendo aos requisitos normativos para utilização.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a borracha e os materiais fisicamente, para definição das melhores condições de produção dos pisos intertravados;
- Realizar estudo de dosagem, para definir as quantidades da dosagem que melhor atender aos requisitos normativos;
- Preparar a borracha e os materiais na dosagem escolhida para a preparação e obtenção dos pisos intertravados;
- Caracterizar os pisos intertravados e corpos de prova obtidos quanto as resistências mecânicas à compressão e à tração.

1.3 Metodologia

Para alcançar o objetivo desse trabalho, primeiro foi realizado um estudo de dosagem, para definir a composição ideal a ser utilizada, nesse estudo foram elaboradas duas dosagens de concreto, seguindo o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), com e sem substituição de agregado miúdo por borracha triturada de pneu. Sendo adotados três traços

de concreto, um sem adição de borracha chamado “Referência”, um com 9% e um com 12% de substituição. O cimento utilizado foi CP II-F-32. O estudo consistiu na concretagem de corpos de prova cilíndricos, tendo dimensões de 10 cm de diâmetro x 20 cm de altura, submetidos a testes de resistência à compressão com idades de 7, 14 e 28 dias de cura, conforme a norma NBR 5739/94.

Após conclusão do estudo de dosagem e escolhidas quais quantidades serão utilizadas, foram confeccionados corpos de prova, com as mesmas dimensões, e pisos intertravados, sendo objetos prismáticos tendo dimensões de 20 cm de comprimento x 10 cm de largura x 8 cm de altura, nos traços Referência, 4% e 6% de substituição de agregado miúdo por borracha. Os pisos confeccionados serão submetidos ao ensaio de resistência à tração com idades de 28 dias de cura, conforme a norma NBR 12142/2010.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pneu

Antigamente o pneu inservível era um grande problema, sua produção era intensa e o seu tempo de degradação ser indeterminado ocasionava fatores negativos no meio ambiente. De acordo com Santos (2005), o pneu é um dos produtos de maior consumo no mundo e um dos resíduos de mais difícil decomposição na natureza. Quando se tornam inservíveis são colocados em aterros onde podem permanecer por mais de 500 anos. Neste contexto, a reciclagem surge como instrumento promotor do bem estar ecológico e social.

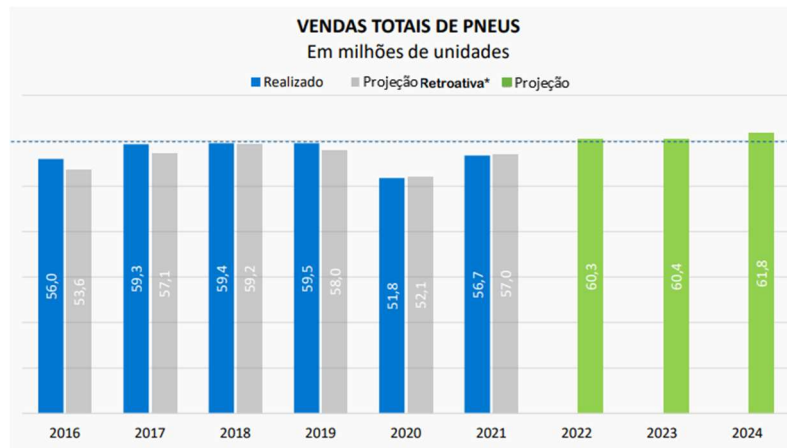
Figura 1 - Tempo de degradação do pneu.



Fonte: <https://www.todamateria.com.br/tempo-decomposicao-lixo/>

Em 2021, conforme relatório anual da ANIP (2022), as vendas totais de pneus no Brasil fecharam em 56,7 milhões de unidades. Uma tendência ao crescimento de consumo mesmo após a crise na indústria durante a pandemia.

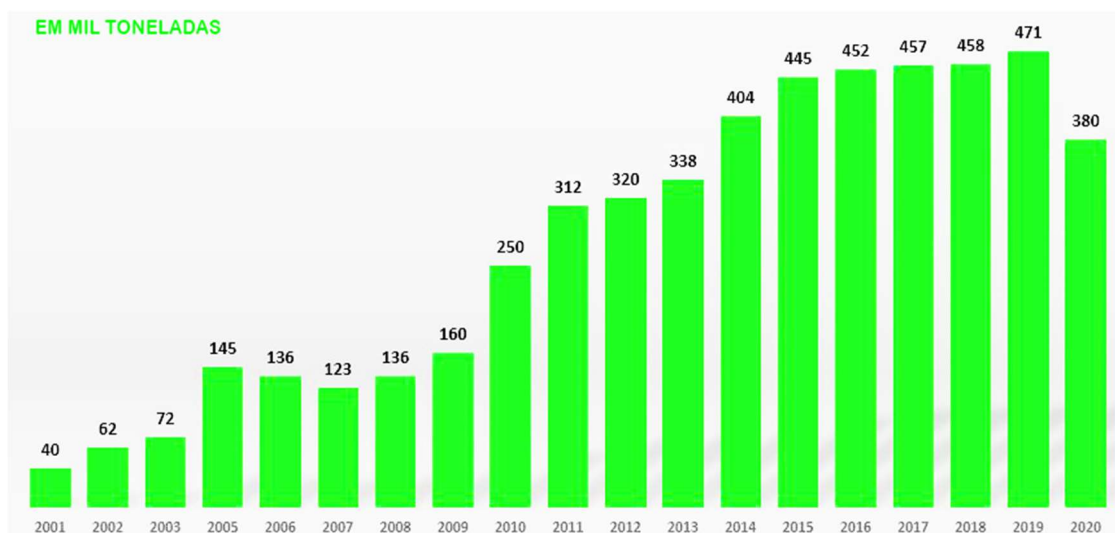
Figura 2 - Vendas totais de pneus e projeções anuais.



Fonte: https://www.anip.org.br/sitenovo/wp-content/uploads/2022/04/ANIP-Projecao_de_Demanda_Setorial_2022.pdf

Hoje praticamente não se encontra pneus descartados em rios e ruas, algo muito comum no passado, porque com a Resolução nº 258 de 1999 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, determinou que os importadores de pneu são responsáveis por sua destinação final depois do uso, dando em prática o Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis implantado pela entidade ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, que em 2007 cria a RECICLANIP, que seria a entidade de coletar e destinar pneus Inservíveis.

Figura 3 - Destinações de pneus inservíveis.



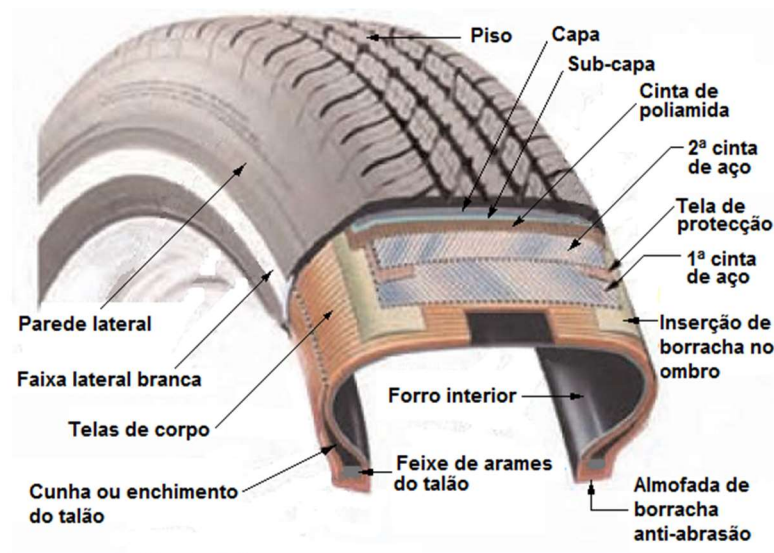
Fonte: <https://www.reciclanip.org.br/destinados/>

Em 2010 é estabelecida a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS através da lei nº 12.305/2010, sendo um marco regulatório que prevê a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

O pneu moderno é composto por vários ingredientes que vão de uma borracha sintética misturada com borracha natural e o chamado negro de fumo que envolve camadas de poliéster, náilon e até aço.

O pneu automotivo, descrito por Santos et al. (2004) na sua estrutura básica, é formado por quatro partes de diferentes materiais, que se integram e permitem o seu funcionamento sendo a carcaça, flancos, talão e a banda de rodagem. Sendo a banda de rodagem a parte do pneu que entra em contato direto com o solo e é composto por borracha vulcanizada.

Figura 4 - Composição do pneu.



Fonte: <https://www.ctborracha.com/wp-content/uploads/2014/09/Fig3-Constituicao-pneu-actual-570px.png>

Há diversos componentes perigosos na composição do pneu que quando em contato com o meio ambiente ou quando queimados causam diversos problemas. Segundo Kamimura (2002) a banda de rodagem é composta por 83% de carbono, 7% de hidrogênio, 2,5% de oxigênio, 0,3% de enxofre e 6% de cinzas.

Há uma dificuldade da destinação dia pneus inservíveis no Brasil, onde as alternativas de destinação adequada são poucas e ainda geram dispersão de poluentes como gases tóxicos e uma fração de líquidos que podem contaminar o lençol freático.

Figura 5 - Destinações de pneus.



Fonte: <https://sitefiespstorage.blob.core.windows.net/uploads/2020/12/file-20201210185016-apresentacaocosema08122020reciclaniprafael.pdf>

De acordo com Santos (2005) a banda de rodagem, por estar em contato direto com o solo, sofre um desgaste mais rápido que as outras partes do pneu. O pneu moderno é fabricado com uma banda de rodagem espessa, permitindo sua reutilização e aumentando sua vida útil. A este procedimento dá-se o nome de recauchutagem ou recapeamento.

A recauchutagem é uma das formas de reciclagem do pneu mais eficazes, reciclagem que prolonga a vida útil dos pneus em até 40% e economiza 80% de energia e matéria-prima, se comparado a fabricação de pneus novos, reduzindo a quantidade de descarte indevido no meio ambiente. (SANTOS et al., 2004).

A recauchutagem sendo uma forma de reutilização do pneu e trituração de pneus Inservíveis que gera matérias-primas secundárias que podem ser reutilizados para diversos fins sem a emissão de gases tóxicos, sendo então ferramentas benéficas para o meio ambiente, diferentemente das destinações como em coprocessamento em fornos de cimento ou em usinas de xisto betuminoso.

De acordo com Thiago e Bicalho (2018), a reciclagem de pneus inservíveis pode ser realizada no sistema à temperatura ambiente, em que os pneus são triturados, granulados e o aço removido por meio de uma esteira magnética. Dessa maneira, muitas empresas estão buscando esse material granulado de borracha resultando uma certa demanda, e por essa razão muitas empresas possuem um processo contínuo.

Figura 6 - Pneu sendo triturado.



Fonte: <https://jacaremoto.com.br/pneu-velho-polui-o-planeta-abrerpi-organiza-sistema-de-coleta-de-pneus-inserviveis-no-brasil/>

Figura 7 - Monte de borracha triturada.



Fonte: <https://agenciaeconordeste.com.br/pneus-velhos-seguem-por-novos-caminhos-no-ceara/>

2.2 Concreto

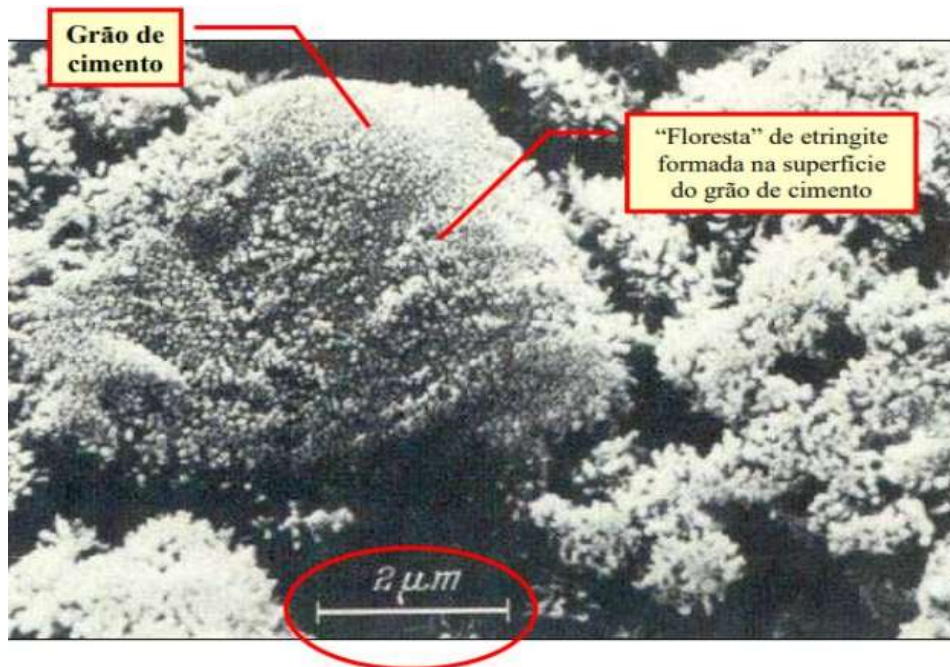
O Concreto é um produto que, após passar pelo tempo de cura, apresenta resistência elevada, podendo se comparar a rochas naturais, quando está no estado fresco, possui uma ótima maleabilidade, podendo ser modelado da maneira que for necessária. O concreto é o material mais utilizado na construção civil que é composto por basicamente por um aglomerante, o cimento, por agregados miúdos e ou graúdos, no caso a areia e a brita ou pedra, além de outros componentes eventuais, os aditivos. Segundo Lima et al. (2014), após ser hidratado por água, o cimento constitui uma pasta que adere aos fragmentos agregados, formando assim uma mistura resistente e de fácil modelagem, apresentando alta resistência a compressão, assim quando endurecida forma um bloco monolítico se adequando aos requisitos estabelecidos por norma.

Quando o concreto entra em estado de cura, os espaçamentos entre suas moléculas são preenchidos em todos os espaços e, aumentando a sua densidade, atendendo as devidas necessidades por ser um material resistente e, também, maleável antes de seu endurecimento, tornando-se um material vantajoso na construção de edificações para elaboração de peças pré-moldadas, peças estruturais, pisos intertravados, entre outros.

Lima et al. (2014) afirma que o motivo para que o cimento endureça, é justamente por ser uma mistura finamente moída de compostos inorgânicos calcinados compostos de calcário e argila e quando junto à água solidifica-se devido a reações químicas existentes entre os minerais do cimento e a água, resultando em uma pasta que endurecerá com o tempo. O cimento

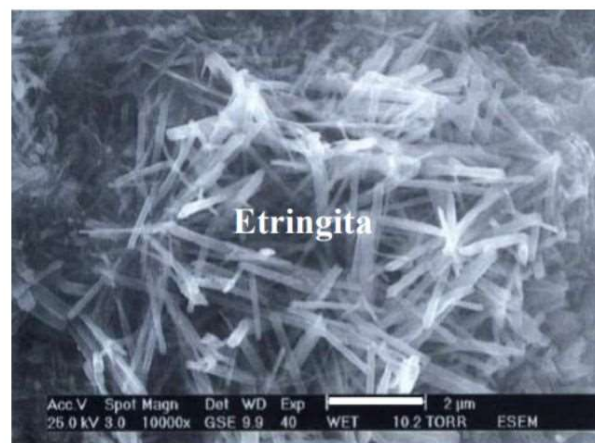
em presença de água formam minerais etringitas que assumem formas de agulhas e começam minutos após o início da hidratação, sendo estas responsáveis pelo fenômeno da pega.

Figura 8 - grão de cimento formando etringita.



Fonte: http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos-concretos/Hidratacao_do_cimento.pdf

Figura 9 - aglomerado de Etringita em vista de um microscópio eletrônico.



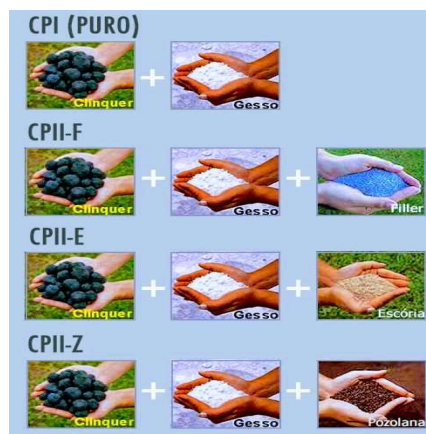
Fonte: http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos-concretos/Hidratacao_do_cimento.pdf

O cimento Portland pozolânicos é, segundo a norma ABNT NBR 16697 (2018):

obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e materiais pozolânicos, moídos em conjunto ou separadamente, podendo conter uma ou mais formas de sulfato de cálcio e materiais carbonáticos, nos teores estabelecidos nesta Norma.

A norma específica também que O CP II F tenha adição de filer calcário, em teor entre 6 e 25% e que pode ser de três classes de resistência final dos 28 dias, de 25MPa, de 32MPa e de 40MPa, sendo o CP II F 32 limite de resistência mínimo de 32MPa podendo alcançar até 49MPa.

Figura 10 - Tipos de cimento e suas composições.



Fonte: <https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2019/09/adicoes-cimento-ilustra-3.jpg>.

O cimento é um aglomerante em presença de água. Já o agregado é qualquer material granular orgânico ou inorgânico, como areia, pedregulho, seixos, rocha britada, escória de alto-forno e até mesmo resíduos de construção e de demolição.

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), que determina as características necessárias a agregados para seu uso em concreto, se as partículas de agregado são maiores do que 4,75mm, é classificado como gráudo, se forem menores, é classificado como miúdo.

Figura 11 - Materiais necessários para a produção de concreto.



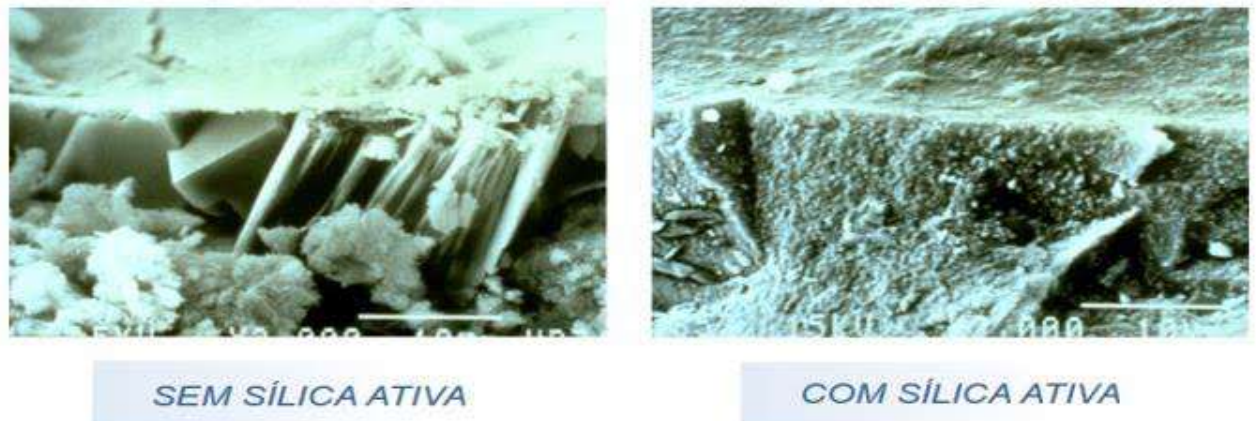
Fonte: https://www.ipt.br/banco_imagens/5155_maior.jpg

De acordo com Neville (2016), um aditivo pode ser definido como um produto químico que, exceto em casos especiais, é adicionado ao concreto em quantidades máximas de 5%, em relação à massa de cimento, durante a mistura ou durante uma mistura complementar antes do lançamento do concreto, com o objetivo de obter uma alteração específica, ou alterações, nas propriedades normais do concreto.

Uma dessas adições é a Sílica Ativa que conforme Neville (2016) é um material cimentício oriundo da produção de silício ou ligas de ferrosilício. Sua formação se dá a partir de quartzo com alto grau de pureza e carvão em forno elétrico a arco submerso. Sendo liberado dióxido de silício na forma gasosa, que sofre oxidação e se condensa na forma de partículas esféricas extremamente finas de sílica amorfa, também chamada de sílica vítrea, que é altamente reativa e suas partículas nas dimensões mínimas aceleram a reação com o hidróxido de cálcio produzido pela hidratação do cimento Portland.

Por ter partículas tão pequenas e dependendo do grau de dispersão, podendo preencher os vazios do concreto, como ilustrado na figura abaixo, tornando-o mais denso, pouco permeável, auxiliando também no aumento da resistência a compressão e flexão.

Figura 12 - Comparação do concreto com sílica ativa.



Fonte: <https://www.tecnosilbr.com.br/silica-ativa-por-que-usa-la-na-sua-construcao-2/>

As fibras de borracha adicionadas no concreto, para SILVA et al. conforme ocorre o aumento das quantidades de substituição de areia por borracha, vai se alterando significativamente a resistência à compressão dos pisos intertravados, tendo como base a comparação de resultados de peças já elaboradas.

Figura 13 - Concreto com adição de fibra de borracha.



Fonte: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/j4jMpF8RntxHjzxnytY435r/?format=pdf&lang=pt>

Na busca pela porcentagem ideal de adição de agregado miúdo por borracha, A ROMUALDO aponta que o concreto com adição de 5% proporciona vantagens quando utilizado na pavimentação de calçadas, como aumento da vida útil, redução do montante de resíduos de pneus descartados no meio ambiente e redução da quantidade necessária de areia para fabricação de concreto.

2.3 Paver

Existem diversos formatos de pisos intertravados, a NBR 9781/2013 classifica em quatro tipos, sendo o primeiro composto por peças de concreto com formato próximo ao retangular, com relação comprimento/largura igual a dois, que se arranjam entre si nos quatro lados e podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe. O segundo caracterizado por peças de concreto com formato único, diferente do retangular e que só podem ser assentadas em fileiras. O terceiro se trata de Peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triedros, etc., com peso superior a 4 kg. E o quarto formado por um conjunto de peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento.

A NBR 9781:2013 ainda define que o piso intertravado é um pavimento flexível que tem sua estrutura formada por uma camada de base, seguido por uma de revestimento de peças de concreto, sem uma camada de assentamento, o espaço entre as peças é preenchido por material de rejuntamento, cujo intertravamento é feito pela contenção.

Para ABCP (2012):

O uso do pavimento intertravado – uma prática comum em grandes centros – chega às cidades de pequeno e médio porte como uma solução viável de pavimentação de ruas e calçadas. E esta mudança está relacionada com a procura custo x benefício. Uma das características do sistema, por exemplo, sua aplicação pode ser dividida em trechos, garantindo a execução por etapas, e por isso, parcelando também o seu custo e facilitando a viabilidade da obra.

Figura 14 - Calçada de paver sextavado.



Fonte: <https://tetraconind.com.br/produtos/paver-ecodreno-tetracon/>

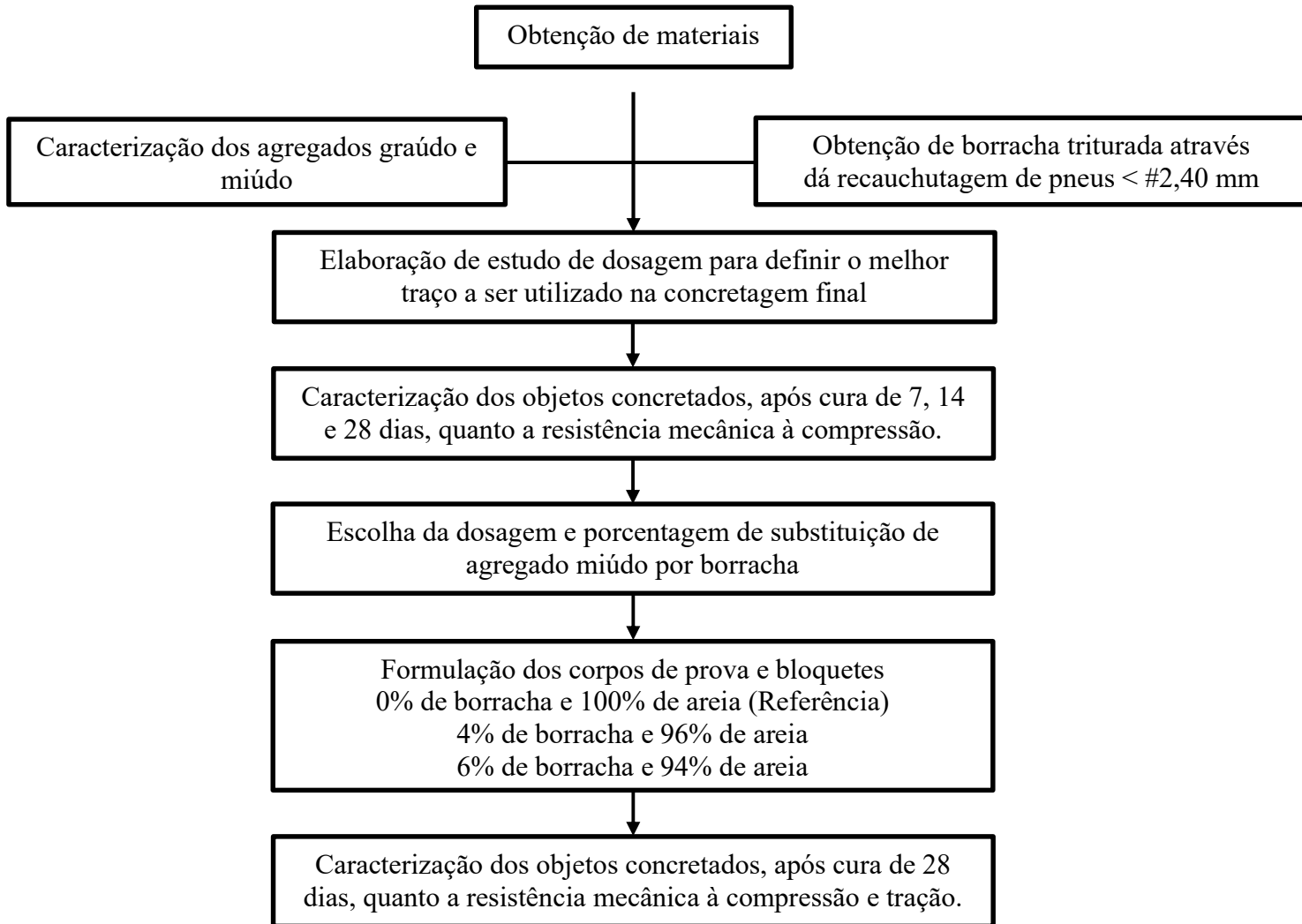
Figura 15 - Calçada de paver retangular.



Fonte: <https://tetraconind.com.br/produtos/paver-ecodreno-tetracon/>

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Figura 16 - Fluxograma do procedimento experimental adotado neste trabalho.



Fonte: Autores (2023)

3.1 Características gerais do material

Foram realizados ensaios para verificar as propriedades dos materiais empregados nesse estudo.

3.1.1 Separação da borracha a ser utilizada

Foi utilizado o agitador mecânico e peneiras, afim de separar a borracha triturada de granulometria menor que 2,40 mm. O material foi peneirado em quantidades de 500g, podemos perceber a quantidade de cada granulometria na figura 3, onde foram colocadas lado a lado.

Figura 17 - Quantidade total de borracha.



Fonte: Autores (2022)

Figura 18 - Parte do material passante lado a lado.



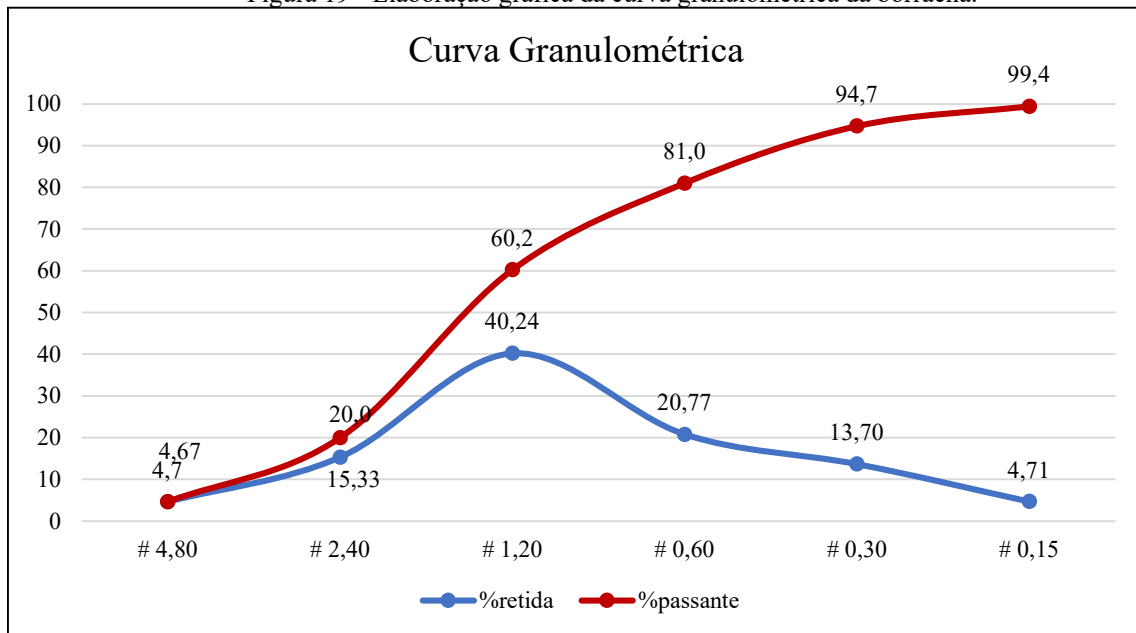
Fonte: Autores (2022)

Tabela 1 - Resultados das massas retidas através do ensaio granulométrico da borracha

Peneiras mm	Massa Retida acumulada (g)	Massa retido (g)	% Retida	
			Individual	Acumulada
# 4,80	303,55 g	303,55 g	4,67	4,7
# 2,40	1299,35 g	995,8 g	15,33	20,0
# 1,20	3914,04 g	2614,69 g	40,24	60,2
# 0,60	5263,44 g	1349,4 g	20,77	81,0
# 0,30	6153,29 g	889,85 g	13,70	94,7
# 0,15	6459,18 g	305,89 g	4,71	99,4
Fundo	6497,01 g	37,83	0,58	100,0
Total	≅ 6500	Modelo de Finura		

Fonte: Autores (2023)

Figura 19 - Elaboração gráfica da curva granulométrica da borracha.



Fonte: Autores (2022)

3.1.2 Ensaio da Composição Granulométrica do Agregado Miúdo

Esse ensaio é padronizado pela norma NBR NM 248:2003, começando com a pesagem da quantidade de areia, em seguida passando pelo agitador de peneiras eletromagnético durante um minuto, depois se identifica a quantidade retida em cada peneira.

Figura 20 - Pesagem da areia.



Fonte: Autores (2022)

Figura 21 - Visão geral de todos os recipientes com cada massa retida.



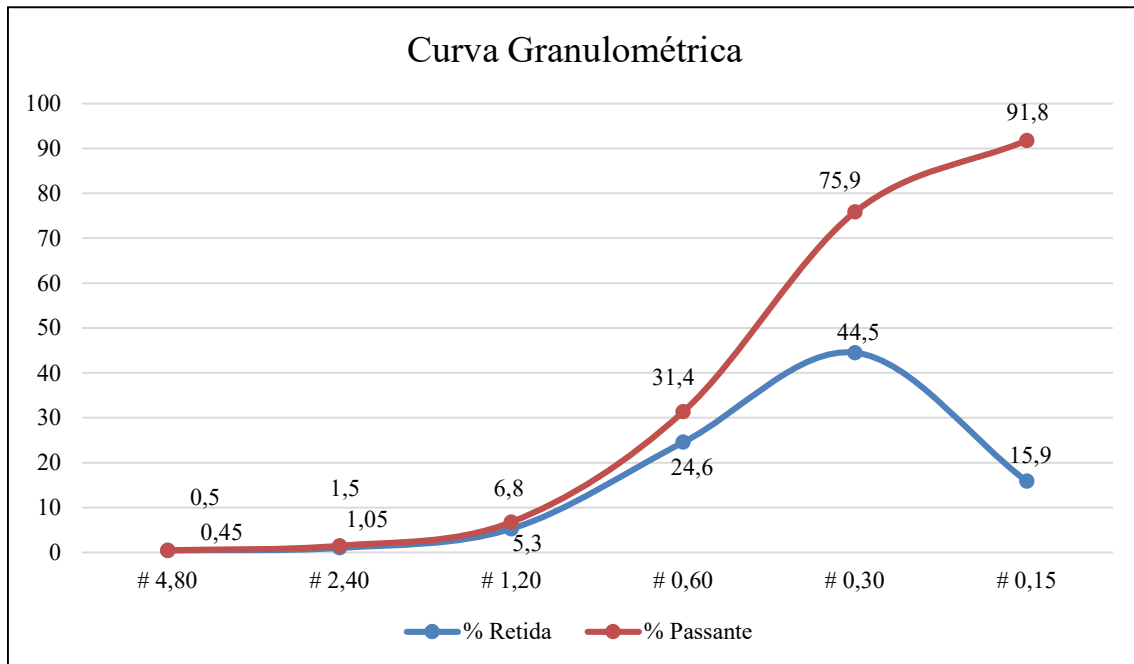
Fonte: Autores (2022)

E por fim calculando os valores de Massa retida e acumulada em gramas e percentual, bem como o módulo de finura. Segue abaixo a tabela e o gráfico da curva granulométrica.

Tabela 2 - Resultados das massas retidas através do ensaio granulométrico da areia

Peneiras mm	Massa Retida acumulada (g)	Massa retido (g)	% Retida	
			Individual	Acumulada
# 4,80	4,45	4,45	0,45	0,50
# 2,40	14,94	10,49	1,05	1,50
# 1,20	68,26	53,32	5,30	6,80
# 0,60	314,95	246,69	24,60	31,40
# 0,30	760,17	445,22	44,50	75,90
# 0,15	919,34	159,17	15,90	91,80
Fundo	1.001,55	82,21	8,20	100,00
Total	≅ 1000	Modelo de Finura		2,08

Figura 22 - Elaboração gráfica da curva granulométrica da areia.



Fonte: Autores (2022)

3.1.3 Ensaio da Massa Específica e Massa Específica Aparente do Agregado Miúdo.

Esse ensaio é padronizado pela norma NBR NM 52:2003, pesando 500g de amostra de areia seca, em seguida preencher o frasco de Chapman com água até a marca de 200 ml, inserir as 500 g de areia seca no Chapman com cuidado para não perder o material, rotacionar o frasco para reduzir o número de vazios.

Figura 23 - Pesagem de 500 g de areia seca.



Fonte: Autores (2022)

Figura 24 - Bolhas de ar (vazios) saindo pelo topo.



Fonte: Autores (2022)

Por fim, anotar a leitura final no Chapman e calcular a massa específica.

$$m = \frac{500}{L1 - 200} \text{ g/cm}^3$$

$$m = \frac{500}{390 - 200} \text{ g/cm}^3$$

$$m = \frac{500}{190} \text{ g/cm}^3$$

$$m = 2,6315 \text{ g/cm}^3$$

3.1.4 Ensaio Massa Específica e Massa Específica Aparente do Agregado Graúdo

Pesagem inicial do agregado graúdo, Preenchimento dos recipientes com 1L de água, Despejos do agregado graúdo (500g) no recipiente com água. O agregado foi despejado gradualmente e com cuidado para não causar danos a vidraria, Leitura final da variação da água após o despejo do agregado graúdo, foi de 1,2L.

Figura 25 - Pesagem inicial da brita.



Fonte: Autores (2022)

Figura 26 - Leitura final dos recipientes.



Fonte: Autores (2022)

Determinação da massa específica aparente da brita, conforme análise dos passos anteriores.

$$M_{EA} = \frac{500g}{1200 - 1000} = \frac{500}{200} = 2,5 g/cm^3$$

3.1.5 Ensaio da Massa Unitária do Agregado Miúdo

Esse ensaio é padronizado pela norma NBR NM 45:2006, foi determinado o volume do recipiente utilizado no qual sua altura interior era de 16cm e seu diâmetro interior era de 15cm.

$$A = \pi r^2 = \pi \cdot 7,5^2 = 176,71 cm^2$$

$$Vr = A \cdot h = 176,71 \cdot 16 = 2827,43cm^2$$

Separou-se a amostra de areia seca a ser utilizada com aproximadamente 150% da quantidade de material requerido para encher o recipiente utilizado, foi pesado o recipiente na balança de precisão, onde $M_r = 2,636$ kg. Encheu-se o recipiente com a amostra de areia seca de forma a evitar a compactação do material, para tanto soltou-se a amostra a uma altura de 10cm de altura, foi pesado o recipiente com a amostra de areia na qual $M_{ra} = 7,266$ Kg.

Figura 27 - Areia seca separada sendo pesada



Fonte: Autores (2022)

Figura 28 - Recipiente cheio sendo pesado.



Fonte: Autores (2022)

Com as informações obtidas, chegamos ao resultado da massa unitária da areia:

$$M_{unitAreia} = \frac{Mra - Mr}{Vr} = \frac{7,266 - 2,636}{2827,43} = 1,637 \text{ kg/cm}^3$$

3.1.6 Ensaio da Massa Unitária do Agregado Graúdo

Esse ensaio é padronizado pela norma NBR 9937/87, pesar o recipiente destinado a receber o agregado graúdo, despejar o agregado a uma distância de 10 cm, conforme diz a norma que metodiza o ensaio, retirar o excesso com o auxílio da barra, em apenas uma direção, Pesar o recipiente cheio com a brita, assim obtendo o peso final de 12 kg.

$$M_{unitBrita} = \frac{Mra - Mr}{Vr} = \frac{12 - 2,636}{2827,43} = 3,3 \text{ kg/cm}^3$$

Figura 29 - Recipiente vazio sendo pesado.



Fonte: Autores (2022)

Figura 30 - Recipiente cheio sendo pesado.



Fonte: Autores (2022)

3.1.7 Características da Sílica ativa.

Figura 31 - Características da Sílica Ativa.

Características Físicas e químicas	
Massa Específica	2.220 kg/m ³
Teor de SiO ₂	> 90%
Superfície Específica (B.E.T)	~ 19.000 m ² /kg
Formato da partícula	Esférico
Diâmetro médio da partícula	0,20 ym
Massa unitária	
Não Densificado	< 350 kg/m ³
Densificado	> 350 kg/m ³

Fonte: Tecnosil (2022) (<https://www.tecnosilbr.com.br/silica-ativa/>)

3.2 Estudo de dosagem

Foi realizado um estudo de dosagem de concreto afim de se elaborar o melhor traço para confecção do piso intertravado, com base no referencial bibliográfico, sabemos que a borracha reduz a resistência do concreto, então elaboramos duas dosagens para concretagem de corpos de prova, assim testando qual apresentará melhores resultados de resistência à compressão, que será a dosagem utilizada nos pisos intertravados. Foram definidos três traços: Referência, 9% e 12%; sendo essas porcentagens referentes a substituição de agregado miúdo por borracha.

Tabela 3 – Quantidade de materiais para concretagem

Dosagem			
1			
Traço	Referência	9%	12%
Cimento	7,60 kg	7,60 kg	7,60 kg
Areia	7,60 kg	6,95 kg	6,68 kg
Brita	16,70 kg	16,70 kg	16,70 kg
Água	3,03 kg	3,03 kg	3,03 kg
Borracha	0,00 kg	0,68 kg	0,91 kg
2			
Traço	Referência	9%	12%
Cimento	7,00 kg	7,00 kg	7,00 kg
Areia	10,20 kg	9,28 kg	8,97 kg
Brita	14,80 kg	14,80 kg	14,80 kg
Água	3,00 kg	3,00 kg	3,00 kg
Borracha	0,00 kg	0,91 kg	1,22 kg

Fonte: Autores (2022)

3.3 Ensaio do estudo de dosagem

Foi realizado o ensaio de resistência à compressão nos corpos de prova (CPs) confeccionados pelo estudo de dosagem, com 7, 14 e 28 dias de cura, sempre retirando os CPs do tanque de cura e deixando-os secar a temperatura ambiente, segue abaixo:

3.3.1 Resultado dos CPs com 7 dias

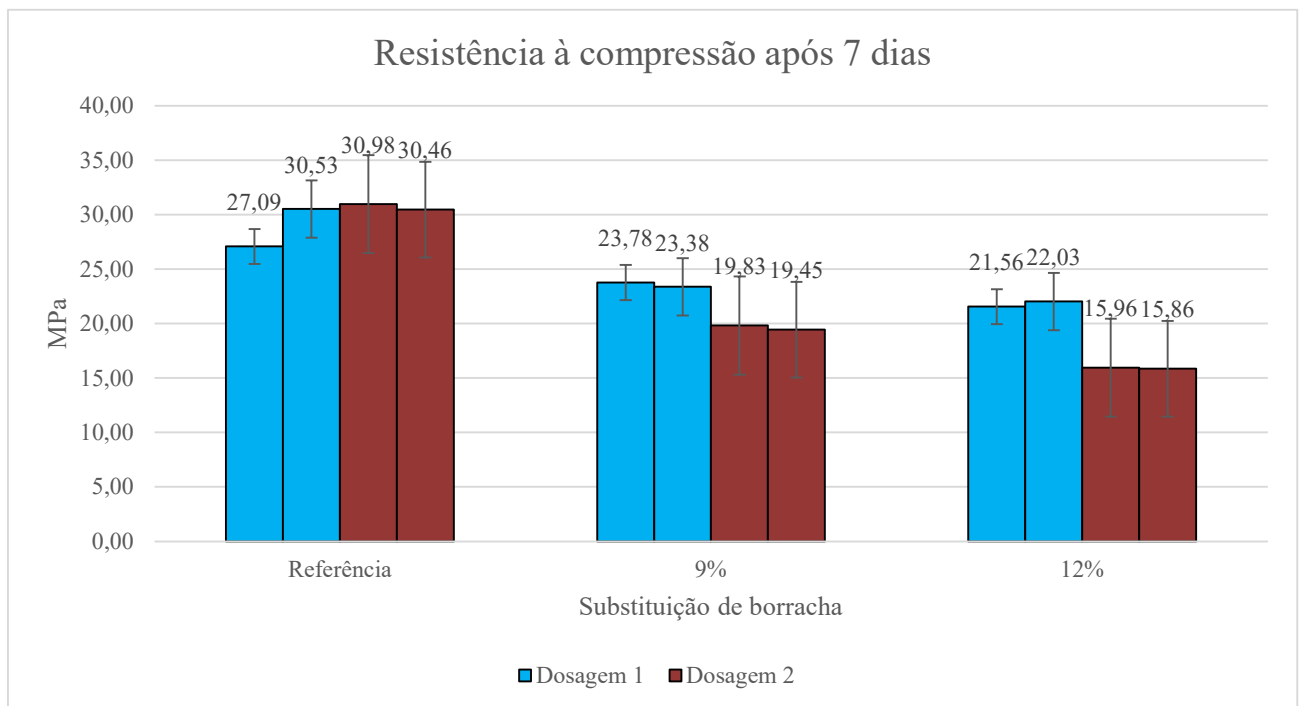
Com os resultados obtidos em 7 dias, podemos perceber a redução de resistências nos traços que possuem adição de borracha.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de Resistência à compressão após 7 dias.

Resultados Ensaio Compressão (MPa)			
7 dias			
Dosagem	Traço		
	Referência	9%	12%
1	27,09	23,78	21,56
	30,53	23,38	22,03
2	30,98	19,83	15,96
	30,46	19,45	15,86

Fonte: Autores (2022)

Figura 32 - Gráfico de Resistência à compressão após 7 dias.



Fonte: Autores 2022

Figura 33 - CP a ser rompido na máquina EMIC.



Fonte: Autores (2022)

Figura 34 - CP rompido após 7 dias de cura.



Fonte: Autores (2022)

3.3.2 Resultado dos CPs com 14 dias

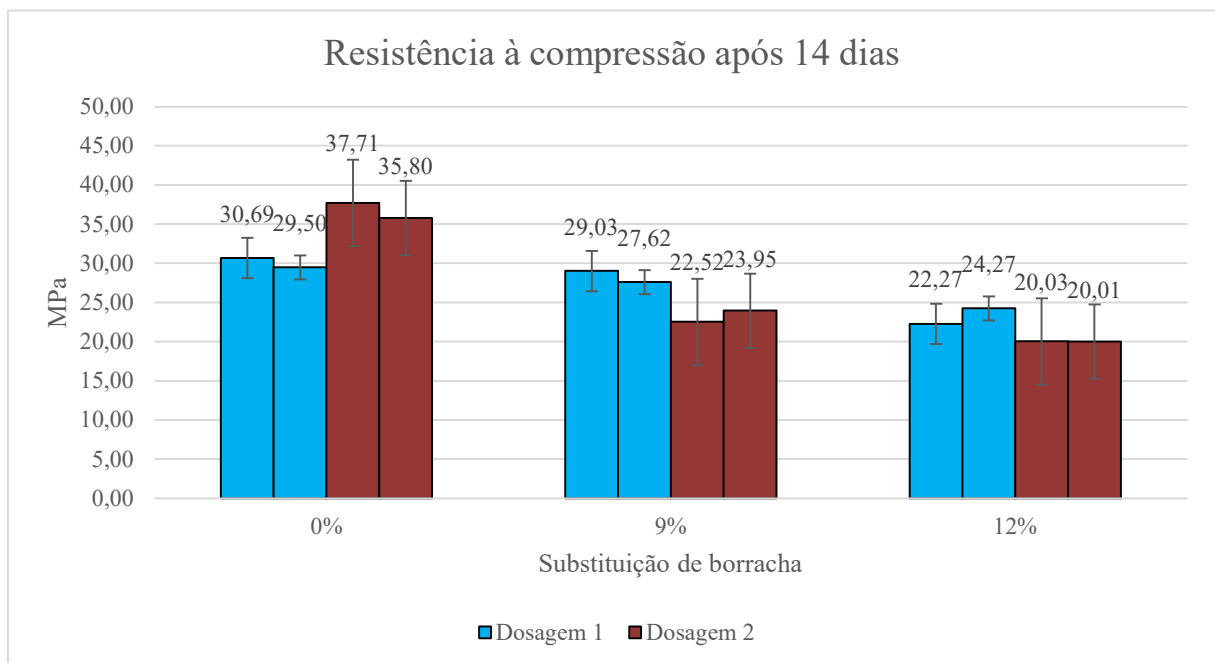
Com os resultados obtidos em 14 dias, podemos perceber que na primeira dosagem, a resistência do traço de 9% se aproximou ao Referência, contudo, o mesmo traço da segunda dosagem não teve a mesma aproximação.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de Resistência à compressão após 14 dias.

Resultados Ensaio Compressão (MPa)			
14 dias			
Dosagem	Traço		
	Referência	9%	12%
1	30,69	29,03	22,27
	29,60	27,62	24,27
2	37,71	22,52	20,03
	35,80	23,95	20,01

Fonte: Autores (2022)

Figura 35 - Gráfico de Resistência à compressão após 14 dias.



Fonte: Autores (2022)

Figura 36 - CP rompido após 14 dias de cura.



Fonte: Autores (2022)

3.3.3 Resultado dos CPs com 28 dias

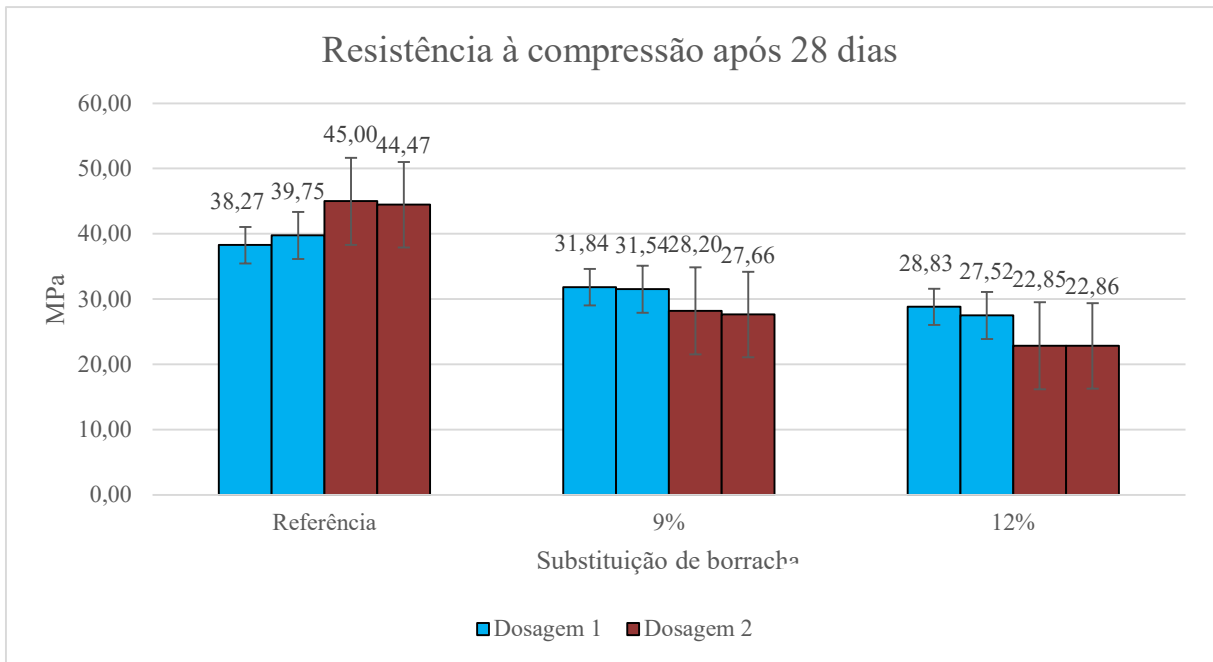
Com os resultados obtidos em 28 dias, percebermos que apenas o traço 9% da dosagem 1 alcançou a resistência de 30 MPa, enquanto os demais, mesmo com seus ganhos em resistência em relação aos ensaios de 7 e 14 dias, estiveram abaixo do mesmo valor.

Tabela 6 - Resultados do ensaio de Resistência à compressão após 28 dias.

Resultados Ensaio Compressão (MPa)			
28 dias			
Dosagem	Traço		
	Referência	9%	12%
1	38,27	31,84	28,83
	39,75	31,54	27,52
2	45,00	28,20	22,85
	44,47	27,66	22,86

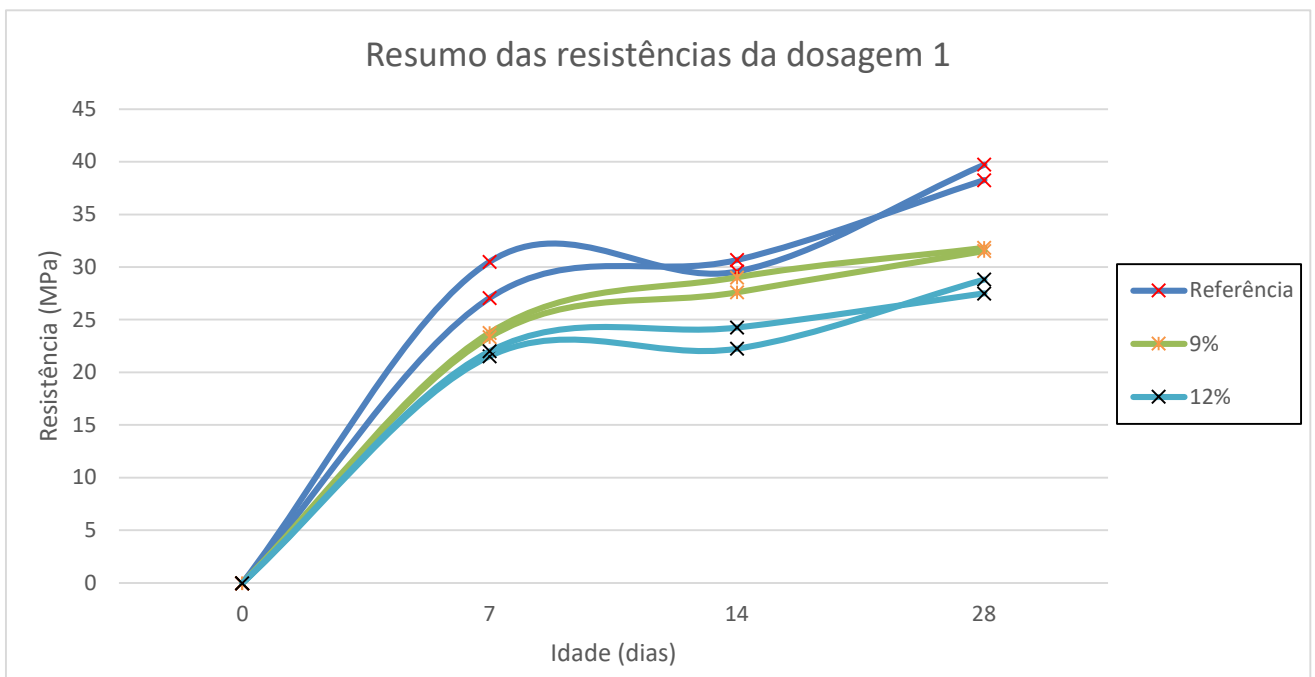
Fonte: Autores (2022)

Figura 37 - Gráfico de Resistência à compressão após 28 dias.



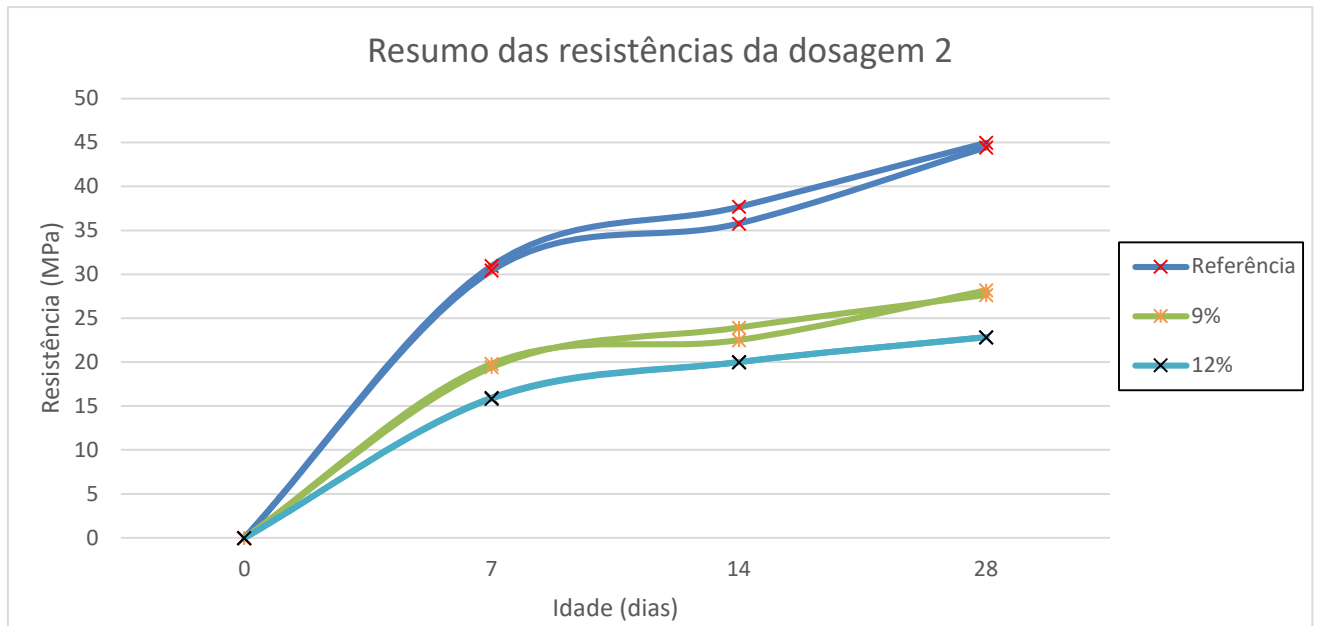
Fonte: Autores (2022)

Figura 38 - Gráfico de resumo das resistências da dosagem 1.



Fonte: Autores (2023)

Figura 39 - Gráfico de resumo das resistências da dosagem 2.



Fonte: Autores (2023)

3.3.4 Escolha da dosagem a ser utilizada

Após analisar os resultados obtidos no estudo de dosagem, podemos perceber que a dosagem 1, apesar de atingir uma resistência menor em seu traço Referência, apresentou resistências melhores em seus traços com adição de borracha, assim sendo escolhida para a realização da concretagem final em Corpos de prova e Bloquetes.

Figura 40 - Materiais utilizados na concretagem.



Fonte: Autores (2022)

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 Ensaio corpos de prova e bloquetes

4.1.1 Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão em CPs em 28 dias

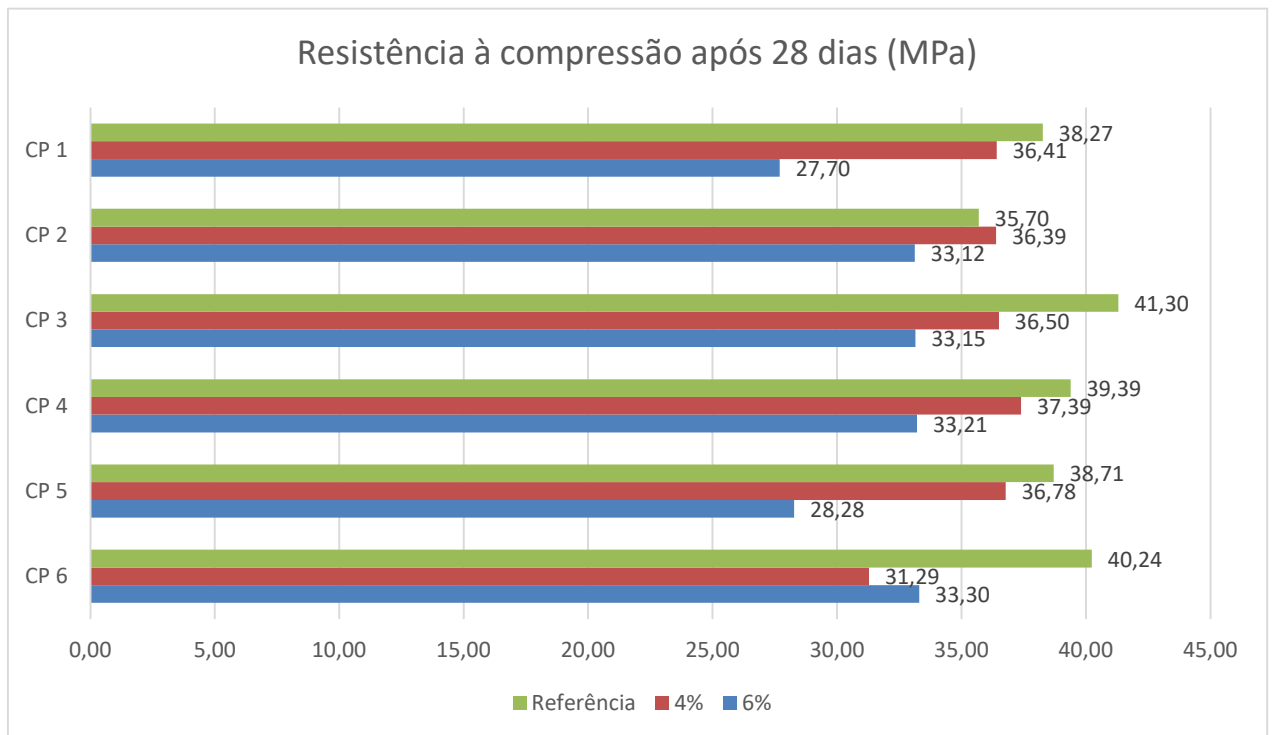
Os resultados obtidos após 28 dias nos corpos de prova foram promissores, tanto no Referência, que apresentou valores semelhantes aos obtidos no estudo de dosagem, quanto nas porcentagens de 4% e 6%, alguns CPs tiveram uma variação bem abaixo dos outros de mesmo traço, podendo indicar erros de adensamento, durante a concretagem das amostras.

Tabela 7 – Resultados CPs 28 dias

Resultados Ensaio Compressão (MPa)					
Corpos de Prova 28 dias					
Traços					
Referência		4%		6%	
CP 1	38,27	CP 1	36,41	CP 1	27,70
CP 2	35,70	CP 2	36,39	CP 2	33,12
CP 3	41,30	CP 3	36,50	CP 3	33,15
CP 4	39,39	CP 4	37,39	CP 4	33,21
CP 5	38,71	CP 5	36,78	CP 5	28,28
CP 6	40,24	CP 6	31,29	CP 6	33,30

Fonte: Autores (2022)

Figura 41 - Gráfico de Resistência à compressão após 28 dias.



Fonte: Autores (2022)

4.1.2 Resultados do Ensaio de Resistência à Tração na flexão em Bloquetes com 28 dias

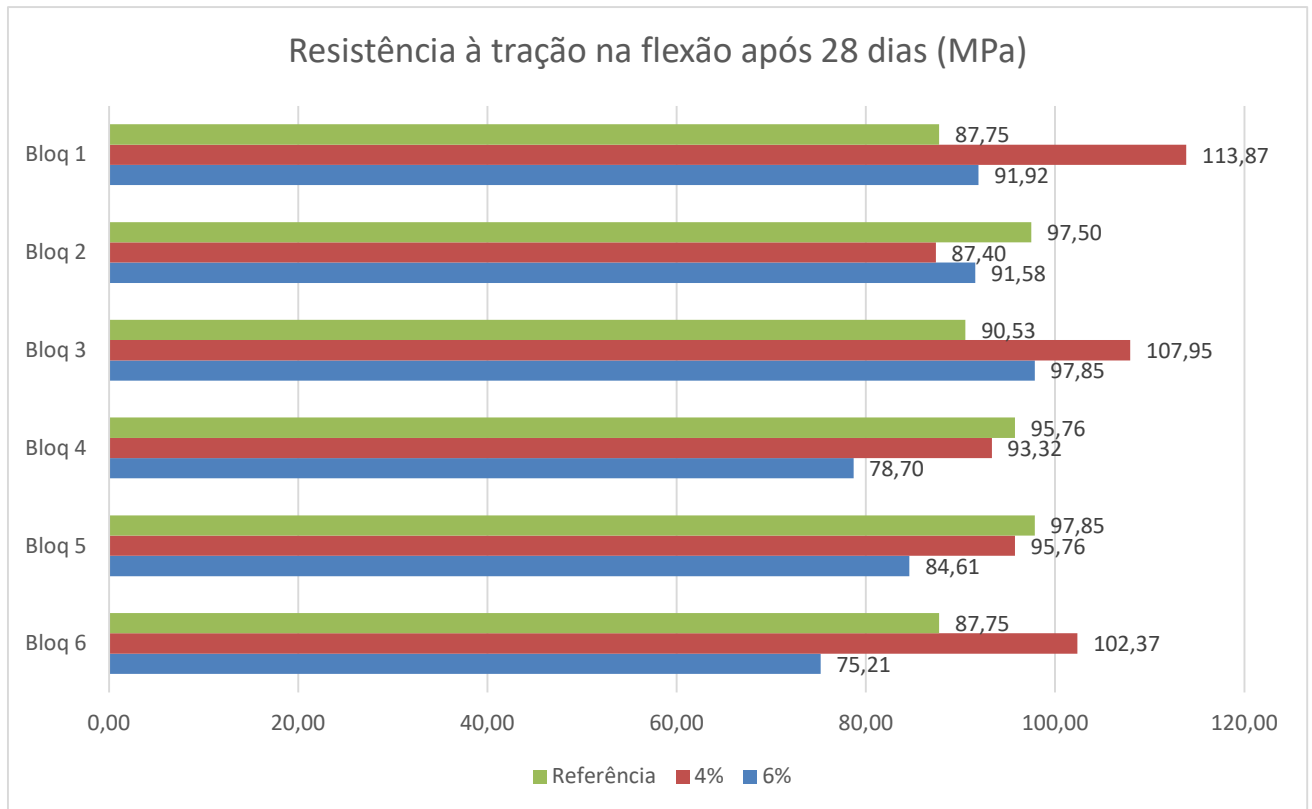
Para fins de conhecimento, também foi realizado o ensaio de resistência à tração nos Bloquetes, que são o objeto de estudo do trabalho, abaixo conferimos os resultados do ensaio feito após 28 dias de cura.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de Tração na flexão.

Resultados Ensaio Tração na flexão (MPa)					
Bloquetes 28 dias					
Traços					
Referência		4%		6%	
Bloq 1	87,75	Bloq 1	113,87	Bloq 1	91,92
Bloq 2	97,50	Bloq 2	87,40	Bloq 2	91,58
Bloq 3	90,53	Bloq 3	107,95	Bloq 3	97,85
Bloq 4	95,76	Bloq 4	93,32	Bloq 4	78,70
Bloq 5	97,85	Bloq 5	95,76	Bloq 5	84,61
Bloq 6	87,75	Bloq 6	102,37	Bloq 6	75,21

Fonte: Autores (2022)

Figura 42 - Gráfico de Resistência à tração na flexão após 28 dias.



Fonte: Autores (2022)

Figura 43 - Bloquete a ser rompido.



Fonte: Autores (2023)

Figura 44 - Bloquete rompido após 28 dias de cura.



Fonte: Autores (2023)

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, conclui-se que:

O traço Referência se comportou da maneira esperada, após a pesquisa prévia, era esperado uma redução da resistência do concreto com substituição de agregado miúdo (areia) por borracha, o traço elaborado resultou em CPs com resistência à compressão média de 38,935 MPa após cura de 28 dias, ultrapassando o valor recomendado pela norma NBR 9781/2013 que é de 35 MPa. O traço também teve uma resistência à tração na flexão média de 92,85 MPa.

O traço 4%, conforme o esperado, apresentou uma redução de resistência à compressão após 28 dias de cura, com uma resistência média de 35,79 MPa, mas ainda cumpre o que é estabelecido pela norma. O traço também teve uma resistência à tração na flexão média de 100,112 MPa.

O traço 6% performou uma resistência à compressão média de 31,46 Mpa, também teve uma resistência à tração na flexão média de 86,645 MPa.

Comparando os resultados, podemos notar que os traços Referência e 4% atingiram a resistência à compressão estabelecida pela norma, com o segundo traço tendo substituição de agregado miúdo por borracha, que é o foco do trabalho, o traço 6%, apresentou resistência alta, é possível elaborar um traço que aproveite o resíduo e seja seguro para uso.

Em relação a tenacidade, o traço 4% se destacou entre os três, mostrando que a borracha contribui até certo ponto na resistência à tração, por melhorar a absorção de cargas dinâmicas, conseqüentemente, aumentando a resistência à propagação de trincas.

A proposta de elaboração de um concreto reaproveitando resíduos de borracha se apresenta viável, uma vez que, se definida a porcentagem de substituição certa, cumpre os requisitos normativos, reduz parcialmente o consumo de areia e se dá uma nova alternativa de uso para esses resíduos, que são abundantes em todo país.

REFERÊNCIAS

ALFABLOCK. **Quais as vantagens do paver sobre outros tipos de pavimentação.** 2023. Disponível em: <https://alfablock.com.br/empresa/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **pavimento intertravado alia durabilidade e estética.** São Paulo, 2012. Disponível em: <https://abcp.org.br/pavimento-intertravado-alia-durabilidade-e-estetica/>. Acesso em: 08 maio 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9781:** Peças de Concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. 2 ed. Rio de Janeiro, 2013. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004:** Resíduos sólidos – Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16697:** Cimento Portland – requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 2022. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12142:** Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.. Rio de Janeiro, 2010. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11768-1:** Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2019. 27 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS - ANIP. **Projeção de demanda setorial.** 2022. Relatório. Disponível em: https://www.anip.org.br/sitenovo/wpcontent/uploads/2022/04/ANIPProjecao_de_Demanda_Setorial_2022.pdf. Acesso em: 07/05/2023.

AUBICON. **450 mil toneladas de pneus são descartados no brasil por ano.** Entenda o papel da aubicon para minimizar esse processo. 2021. Disponível em: <https://www.aubicon.com.br/450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-no-brasil-por-ano-entenda-o-papel-da-aubicon-para-minimizar-esse-processo/>. Acesso em: 03 nov. 2022.

BRASIL. Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 10 nov. 2022.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, Lei nº 12.305/10. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Disponível em:

https://bd.camara.leg.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/14826/politica_residuos_solidos_3ed.rimp.pdf?sequence=20&isAllowed=y. Acesso em: 06/11/2022.

CAETANO, M. J. L. **O que é um pneu?** 2014. CTBorracha. Disponível em: <https://www.ctborracha.com/wp-content/uploads/2014/09/Fig3-Constituicao-pneu-actual570px.png>. Acesso em: 15/05/2023

CARVALHO, Marcos D. Associação Brasileira de Cimento Portland – **Estudo Técnico - Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto.** São Paulo, 1998.

CARVALHO, Marcos D. Associação Brasileira de Cimento Portland – **Estudo Técnico – Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto.** São Paulo, 1998.

CARVALHO, J. T. A. de et al. **Sustentabilidade e rotas tecnológicas de reciclagem para a cidade de salvador, no âmbito da política nacional de resíduos sólidos.** IPEA, Planejamento e Políticas Públicas - PPP, Salvador, n. 52, p. 1 – 38, Novembro 2019. ISSN 0103-4138. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/867>. Acesso em: 09/03/2023.

COSTA, A. B. **Eficiência e aproveitamento de blocos intertravados de concreto na pavimentação de uma via na cidade de cachoeirinha.** 2022. 79 p. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/30408/1/Alan%20Barbosa%20Costa.pdf>. Acesso em: 09/03/2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Disponível em: https://www.unifesp.br/reitoria/dga/images/legislacao/residuos2/CONAMA_RES_CONS_2002_307.pdf. Acesso em: 09/03/2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 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..** Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/component/sisconama/?view=atosnormativos> . Acesso em: 13 set. 2022.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAPÁ (Estado). Lei nº 2495, de 02 de março de 2020. **Dispõe sobre a obrigatoriedade dos estabelecimentos comerciais de promover o recolhimento e destinação ambiental correta dos pneus inservíveis existentes no Estado do Amapá.** Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=390259>. Acesso em: 09 nov. 2022.

LIMA, C. I. V. et al. **Concreto e suas inovações**. Caderno de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas – Fits, Universitárias Tiradentes, Maceió, v. 1, n. 1, p. 31 – 40, Maio 2014. ISSN 2357-9919. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/download/1285/755/0>. Acesso em: 16/03/23.

NEVILLE. A.M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

RECICLANIP. **Coleta e destinação de pneus inservíveis**. Disponível em: <https://sitefiespstorage.blob.core.windows.net/uploads/2020/12/file-20201210185016-apresentacaocosema08122020reciclaniprafael.pdf>. Acesso em: 15/05/2023.

ROMUALDO, A. C.. Pneus Inservíveis como Agregados na Composição de Concreto para Calçadas de Borracha. In: **International workshop advances in cleaner production**, 3., 2011, São Paulo. Cleaner Production initiatives and challenges for a sustainable world. São Paulo: Ifg Goiânia, 2011. p. 0-9.

SÃO THIAGO, Pedro Fernandes; BICALHO, Luiz de Araujo. **Estudo da utilização de agregados de pneus inservíveis em concreto para aplicação em pisos intertravados**. Cadernos UniFOA, Volta Redonda, n. 36, p. 15-27, abr. 2018.

SANTOS, A. C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. Dissertação (Mestrado). Maceió. 2005. 135p.

SANTOS, A. C. dos et al. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus para aplicação em elementos pré-moldados**. in: i conferência latino-americana de construção sustentável x encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. São Paulo:18–21 de julho, 2004. p. 1 – 12. ISBN 85-89478-08-4. Disponível em: <https://silo.tips/downloadFile/avaliaao-do-comportamento-do-concreto-com-adio-de-borracha-obtida-a-partir-da-r>. Acesso em: 16/03/23.

SILVA, Fabiana Maria da; VAZ, Viviane Visnardi; BARBOSA, Luisa Andreia Gachet; LINTZ, Rosa Cristina Cecche. **Avaliação da resistência mecânica de pisos intertravados de concreto sustentáveis (PICS)**. Matéria (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 22, n. 1, p. 0-11, out. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0110>.

SILVA, Betolvem Cristhian Lucio da; GACHET, Luisa Andreia; LINTZ, Rosa Cristina Cecche. **Análise microscópica de concreto pigmentado com resíduos de borracha aplicado em piso intertravado**. Matéria (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 25, n. 4, p. 01-16, jul. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200004.1197>.

SILVA, F. M. et al., **Investigation on the properties of concrete tactile paving blocks made with recycled tire rubber**, *Construction and Building Materials*. v. 91, p. 71–79, 2015.

SILVA, Mônica. **Fiscalização de Postura de Macapá monitora descarte irregular de lixo e entulhos em vias públicas**: população também pode denunciar responsáveis. 2021. Disponível em: <https://macapa.ap.gov.br/fiscalizacao-de-postura-de-macapa-monitora-descarte-irregular-de-lixo-e-entulhos-em-vias-publicas/>. Acesso em: 07 nov. 2022.

SILVEIRA, Paulo Moreira; ALBUQUERQUE, Maria da Consolação F.; CASSOLA, Silmara; BORTOLUCCI, Antônio Airton; PAULLI, Lenon de; DELLA VILLA, Fábio Maniero. **Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu**. *Matéria* (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 21, n. 2, p. 416-428, jan. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160002.0039>.

SILVA, L. S. et al. **Concreto com borracha de recauchutagem de pneu para uso em pavimentação de baixo tráfego**. *Revista Matéria*, v. 24, n. 02, Janeiro 2019. ISSN 1517-7076. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/3GQtJjwvfyP6D7fKZHfn6My/?format=pdf>. Acesso em: 15/05/2023.