

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS –
UNIEVANGÉLICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANA CAROLINE RIZZI SANTOLIN
GUILHERME TEIXEIRA DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INSERÇÃO DA BORRACHA
DE PNEU INSERVÍVEL NO CONCRETO CONVENCIONAL
APLICADO A ENGENHARIA CIVIL**

ORIENTADOR: AURÉLIO CAETANO FELICIANO

ANÁPOLIS

2019

**ANA CAROLINE RIZZI SANTOLIN
GUILHERME TEIXEIRA DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INSERÇÃO DA BORRACHA
DE PNEU INSERVÍVEL NO CONCRETO CONVENCIONAL
APLICADO A ENGENHARIA CIVIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: AURÉLIO CAETANO FELICIANO

ANÁPOLIS

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOLIN, ANA CAROLINE RIZZI/ OLIVEIRA, GUILHERME TEIXEIRA DE

Análise experimental da inserção da borracha de pneu inservível no concreto convencional aplicado a engenharia civil – Para região de Anápolis

89P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica
Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| 1. Concreto convencional | 2. Pneu inservível |
| 3. Inserção e substituição | 4. Cimento Portland |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel (10 ^º) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOLIN, Ana Caroline Rizzi; OLIVEIRA, Guilherme Teixeira de. Análise experimental da inserção da borracha de pneu inservível no concreto convencional aplicado a engenharia civil – Para região de Anápolis. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 89p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ana Caroline Rizzi Santolin

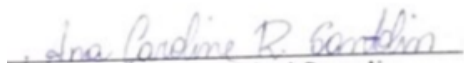
Guilherme Teixeira de Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise experimental da inserção da borracha de pneu inservível no concreto convencional aplicado a engenharia civil – Para região de Anápolis

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

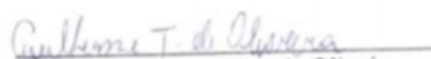
ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Ana Caroline Rizzi Santolin

ana.rizzi_3@hotmail.com



Guilherme Teixeira de Oliveira

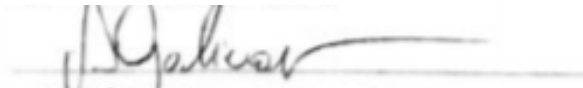
guilherme_oliveira44@hotmail.com

**ANA CAROLINE RIZZI SANTOLIN
GUILHERME TEIXEIRA DE OLIVEIRA**

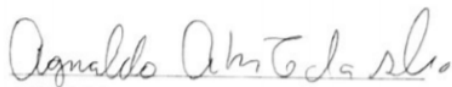
**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INSERÇÃO DA BORRACHA
DE PNEU INSERVÍVEL NO CONCRETO CONVENCIONAL
APLICADO A ENGENHARIA CIVIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

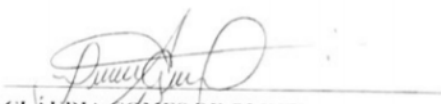
APROVADO POR:



**AURÉLIO CAETANO FELICIANO, Especialista (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**



**AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**CLÁUDIA GOMES DE OLIVEIRA SANTOS, mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 02 de Maio de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Deus, a nós e a nossos pais que tanto amamos e nos prepararam o caminho para que este dia chegasse.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaríamos de agradecer à nossos pais, por todo incentivo, apoio e confiança que nos foi depositada durante todos esses anos de graduação, sem eles nada disso seria possível.

A nosso professor Prof. Esp. Aurélio Caetano Feliciano, pela paciência, dedicação e empenho em suas orientações, muito obrigado.

Ao apoio de qualidade de toda a equipe do Centro Tecnológico – UniEVANGÉLICA, em especial à Rafaela e ao Weber, que nos ajudaram desde o início com todos os ensaios realizados.

A Engetec, por nos dar a oportunidade de realizar alguns ensaios.

A Renov Pneus, empresa localizada na cidade de Anápolis – Goiás, pelo fornecimento das fibras de borracha.

A todos nossos amigos que, de alguma forma, contribuíram para nosso sucesso, em especial à nossa querida Geovanna.

RESUMO

Atualmente, a necessidade de amenizar os impactos causados na natureza ao longo dos anos tem se tornado inevitável. A borracha de pneu é um dos grandes problemas pois sua decomposição é estimada em 600 anos, a descartabilidade do pneu de forma inadequada pode ser um potencializador de proliferação de vetores de doenças devido o acúmulo de água e quando incinerados geram riscos à saúde pois são liberados gases tóxicos. Os materiais do pneu separados (borracha, nylon, aço) podem ser usados como matéria prima em outras utilizações. O setor da construção civil é um dos grandes consumidores de recursos naturais. Diante desse contexto, surge o estudo para viabilizar o uso da borracha do pneu inservível como parte do agregado no concreto convencional. Foram realizados 5 traços distintos, sendo 1 o traço referência e 4 com substituição de resíduo de pneu no agregado miúdo. Os traços com substituição foram definidos após separação granulométrica da borracha (média e fina) e com porcentagem de substituição de 5% e 10% (em volume). Foi estudado e analisado a compressão axial, a flexão na tração, a trabalhabilidade, índice de vazios, absorção e massa específica. Com os resultados obtidos foi verificado a perda na resistência do concreto com a inserção da borracha, o que compromete o uso como concreto estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Borracha de pneu, concreto convencional, impacto ambiental.

ABSTRACT

Currently, the need to mitigate the impacts caused in nature over the years has become inevitable. The tyre rubber is one of the major problems because its decomposition is estimated at 600 years, the tyre's discarability improperly can be a pontencializer of disease vectors proliferation due to the accumulation of water and when incinerated generate risks to Health because toxic gases are released. Separate tyre materials (rubber, nylon, steel) can be used as raw material in other uses. The civil construction sector is one of the major consumers of natural resources. In view of this context, the study emerges to enable the use of rubber of the tyre unusable as part of the aggregate in conventional concrete. Five distinct traits were performed, 1 being the reference trait and 4 with replacement of tyre residue in the child aggregate. The traits with substiution were defined after granulometric separation of the rubber (medium and fine) and with a substitution percentage of 5% and 10% (in volume). Axial compression, Traction flexion, workability, voiding index, absorption and specific mass were studied and analyzed. With the results obtained, it was verified the loss in the resistance of the concrete with the insertion of the rubber, which compromises the use as structural concrete.

KEY WORDS: Tyre rubber, conventional concrete, environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de um pneu convencional	31
Figura 2 - Fluxograma de pneus usados	33
Figura 3 - Depósito de pneus inservíveis nos EUA	33
Figura 4 - Muros de arrimo com pneus nas margens do Rio Ponte Serrada.....	34
Figura 5 - Simulador de tráfego de asfalto-borracha e asfalto convencional, respectivamente	35
Figura 6 - Simulador de tráfego para verificação de formação de trilha de pneus. Com asfalto convencional e asfalto-borracha, respectivamente.....	36
Figura 7 - Aspecto visual das placas sem e com adição de borracha de pneu	40
Figura 8 - Figura das fibras de borracha média.....	46
Figura 9 - Figura das fibras de borracha fina	46
Figura 10 – Corpo-de-prova cilíndrico.....	53
Figura 11 – Corpo-de-prova prismático.....	54
Figura 12 - Abatimento do traço referência.....	55
Figura 13- Procedimento para realização do ensaio de abatimento	56
Figura 14 – Prensa mecânica utilizada para a realização dos ensaio de resistência	57
Figura 15 – Prensa manual utilizada para realização do ensaio à compressão axial.....	58
Figura 16 - Especificações dos corpos-de-prova prismáticos	59
Figura 17 - Prensa manual utilizada para ensaio de resistência à tração na flexão.....	59
Figura 18 - Prensa mecânica utilizada para ensaio de resistência à tração na flexão.....	60

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Tipos de cimento Portland normalizados no Brasil.	21
Tabela 2 - Tabela das características e propriedades físico-químicas do cimento	42
Tabela 3 - Demais características da brita utilizada	42
Tabela 4 - Análise granulométrica da areia	43
Tabela 5 - Tabela das demais características da areia	44
Tabela 6 - Tabela da Análise Granulométrica da Borracha	44
Tabela 7 - Tabela de classificação granulométrica do resíduo de borracha de pneu	45
Tabela 8 - Valores de Sd em função do rigor da produção	47
Tabela 9 - Estimativa de consumo de água	48
Tabela 10 - Volume de agregado graúdo compactado por m³ de concreto	49
Tabela 11 - Tabela dos traços unitários utilizados na pesquisa	52
Tabela 12 - Número de camadas e golpes para moldagem dos corpos-de-prova	54
Tabela 13 - Abatimento do concreto	62
Tabela 14 - Massa das amostras em gramas	65
Tabela 15 - Índice de absorção	65
Tabela 16 - Média das massas dos corpos-de-prova imersos	66
Tabela 17 - Índice de vazios	67
Tabela 18 - Determinação de massa específica seca e massa específica saturada	67

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 - Gráfico para determinação da relação água/cimento (a/c) em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de idade.	23
Gráfico 2 - Módulo de elasticidade secante em função do tipo de borracha de pneu	39
Gráfico 3 - Gráfico da curva granulométrica da areia	43
Gráfico 4 - Gráfico da curva granulométrica da borracha	45
Gráfico 5 - Fator de fixação a/c (Curva Abrams).....	48
Gráfico 6 - Tensão de resistência (MPa) - 7 dias	63
Gráfico 7 - Tensão de resistência (MPa) - 28 dias	63
Gráfico 8 - Tensão de resistência à tração na flexão (MPa) aos 28 dias.....	64

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANIP	Associação Nacional das Indústrias Pneumáticas
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CIB	Conselho Internacional da Construção
CNE	Conselho Nacional de Educação
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Cimento Portland
EUA	Estados Unidos da América
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
ONU	Organização das Nações Unidas
SINPEC	Sindicato Nacional da Indústria de Pneumáticos
SBRT	Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNESP	Universidade Estadual de São Paulo
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

LISTA DE UNIDADE DE MEDIDA E SÍMBOLO

%	Porcentagem
a/c	Relação água/cimento
F _{ck}	Resistência característica do concreto
g	Gramas
kg	Quilograma
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
MPa	Mega Pascal
cm ³	Centímetro cúbico
°C	Celsius
μ	Micrômetro
mm	Milímetro
Sd	Desvio Padrão
F _{c28}	Resistência média do concreto em 28 dias
C _w	Consumo de água
C _c	Consumo de cimento
C _a	Consumo de areia
C _b	Consumo de agregado graúdo
MF	Módulo de finura
V _b	Volume do agregado seco por metro cúbico de concreto
M _u	Massa unitária compacta do agregado graúdo
C _m	Consumo de areia
γ _m	Massa específica da areia
γ _w	Massa específica da água
γ _c	Massa específica do cimento
γ _b	Massa específica do agregado graúdo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA	17
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos	17
1.3	METODOLOGIA	18
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	20
2.1	MATERIAIS CONSTITUINTES	21
2.1.1	Cimento Portland	21
2.1.2	Agregados	22
2.1.3	Água	23
2.2	NORMATIZAÇÃO	24
2.3	PROPRIEDADES DO CONCRETO	25
2.3.1	Propriedades no estado fresco	25
2.3.2	Propriedades do concreto no estado endurecido	27
2.3.2.1	Massa específica	27
2.3.2.2	Resistência à compressão	27
3	BORRACHA DE PNEU	29
3.1	COMPONENTES E MATERIAIS DOS PNEUMÁTICOS	29
3.2	SUSTENTABILIDADE E MEIO AMBIENTE	31
3.3	REUTILIZAÇÃO DOS PNEUS INSERVÍVEIS	34
3.3.1	Muros de arrimo e obras de drenagem	34
3.3.2	Asfalto-borracha	35
3.3.3	Fonte de energia (CO-processamento)	36

3.3.4	Regeneração e desvulcanização da borracha de pneu	37
3.4	BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS COMO AGREGADO NO CONCRETO	38
4	PROGRAMA EXPERIMENTAL	41
4.1	DESENVOLVIMENTO	41
4.2	CALSSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	41
4.2.1	Aglomerante	41
4.2.1.1	Cimento	41
4.2.2	Agregados	42
4.2.2.1	Brita	42
4.2.2.2	Areia	43
4.2.2.3	Resíduo de borracha de pneu.....	44
4.2.2.4	Água	47
4.3	MÉTODOS EXPERIMENTAIS	47
4.3.1	Método de dosagem	47
4.3.1.1	Definir a relação água/cimento (a/c)	47
4.3.1.2	Definir o consumo de água (Cw).....	48
4.3.1.3	Definir o consumo de cimento (C)	49
4.3.1.4	Definir o consumo de agregado graúdo (Cb)	49
4.3.1.5	Definir o consumo de areia (Cm)	50
4.3.1.6	Apresentação do traço	51
4.3.2	Elaboração do traço e moldagem dos corpos-de-prova	51
4.3.3	Trabalhabilidade	55
4.3.4	Testes de Resistência	56
4.3.4.1	Teste de resistência à compressão axial	56
4.3.4.2	Teste de resistência à tração na flexão no concreto.....	58
4.3.5	Absorção por imersão, índice de vazios e massa específica seca e saturada	60
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	62

5.1	TRABALHABILIDADE.....	62
5.2	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	62
5.3	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	64
5.4	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO.....	65
5.5	ÍNDICE DE VAZIOS.....	66
5.6	MASSA ESPECÍFICA SECA E SATURADA.....	67
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
6.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	70

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, debater sobre a relevância da sustentabilidade tem ganhado um destaque no âmbito mundial, conduzindo países e empresas a se atentarem aos cuidados com a natureza. Perante a esta preocupação o ser humano busca meios de amenizar os impactos causados no meio ambiente ao longo dos anos. Para isso é necessário organização, estudos, análises, programação e controle que buscam unir essa proposta juntamente com o crescimento econômico.

Segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS (2014) o setor da construção civil tem grande impacto ambiental por ser uma atividade altamente demandante de matéria-prima e gerar grande volume de resíduos. O setor é o que mais consome recursos naturais, além de utilizar energia de forma intensiva. A cadeia de materiais de construção civil consome aproximadamente metade das matérias-primas extraídas da natureza.

Segundo a Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos – ANIP (2016) a produção de pneus em 2009 foi por volta de 54.086 toneladas, com o passar dos anos essa produção teve um salto no crescimento, sendo que em 2016 foi de cerca de 67.870 toneladas. Como pode-se esperar a quantidade de pneus sem utilização também cresceu e foram necessários criar meios de amenizar o impacto gerado na natureza. A ANIP trabalha no Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis desde de 1999. Em 2007 a ANIP criou a Reciclanip, entidade voltada exclusivamente para a realização deste trabalho no país. Em 2016, o total de pneus descartados no Brasil foi de aproximadamente 510.450 toneladas. A Reciclanip coletou e destinou cerca de 457.533 pneus.

Existem várias áreas de destinação para os pneus inservíveis, tais como: Recauchutagem, recifes artificiais, quebra-mares, estabilização de taludes, combustível para fornos de cimento, concreto asfáltico e entre outros (GIACOBBE; FIGUEIREDO, 2008).

O concreto é um material bastante flexível no que diz respeito ao acréscimo de outras substâncias. Com o aperfeiçoamento dos processos construtivos e da imprescindibilidade de projetos modernos, as vezes é necessário mudar sua composição. A borracha de pneu inservível surge como uma alternativa na substituição ou acréscimo do agregado miúdo.

1.1 JUSTIFICATIVA

Justifica-se por meio deste trabalho, apresentar a inserção de fibras de borrachas constituintes de pneus inservíveis na fabricação e utilização de concreto convencional aplicado a engenharia civil. Apresentando os benefícios que esta inclusão a dosagem pode promover quanto ao aproveitamento do material e um melhoramento quanto ao desempenho estrutural frente à resistência.

O reaproveitamento de resíduos industriais é uma inevitabilidade para a diminuição dos danos ambientais e conservação de recursos naturais. O reaproveitamento destes poupa a poluição de rios, florestas e córregos, diminui a extração de recursos naturais para fabricar novos produtos, além de reduzir os custos de produção por não ser um material virgem.

Segundo a resolução 258 do CONAMA (1999) empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis, considerando que pneus novos, depois de usados, podem ser reutilizados em processos de reciclagem. Sendo assim, dentro uma das alternativas para a utilização de pneus inservíveis está a possibilidade de usá-lo na produção de concreto na indústria da construção civil, como agregado, reduzindo uma parcela de brita ou areia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar por meio de uma pesquisa experimental a influência da presença da borracha de pneus inservíveis na dosagem do concreto para verificação de resistências mecânicas do material, no Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar os resultados das resistências à compressão de corpos-de-prova de concreto com a substituição parcial do agregado miúdo por fibras de borracha;
- Analisar os resultados das resistências à tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos de concreto com a substituição parcial do agregado miúdo por fibras de borracha;

- Apresentar resultados relacionados a índice de vazios, massa específica e absorção de água dos corpos-de-prova de concreto;
- Apresentar a variabilidade dos tipos e dimensões das fibras de borracha de pneu acrescentadas à dosagem do concreto;
- Evidenciar as vantagens e desvantagens da utilização da borracha na dosagem do concreto;
- Expor a aplicabilidade da borracha como material constituinte em elementos estruturais em diversas áreas da engenharia civil.

1.3 METODOLOGIA

As metodologias utilizadas constituirão a revisão bibliográfica e uma pesquisa com a utilização de trabalhos de conclusão de curso, artigos e teses. Os ensaios experimentais foram desenvolvidos no Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, onde foi fabricado o concreto após a aquisição dos materiais necessários, tais como: brita, cimento, areia e borracha de pneu triturado. Os corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos foram moldados de acordo com os requisitos especificados pela NBR 5738 ABNT, 2016. Foram confeccionados cinco traços de concreto diferentes, todos obtidos pelo método ABCP, sendo um traço referencial e quatro traços com substituição parcial, em volume, do agregado miúdo. As fibras de borracha de pneu foram adquiridas através de uma empresa de recauchutagem e devido as diferentes dimensões da borracha de pneu triturada, foi realizado o peneiramento das fibras de acordo com o ensaio de granulometria especificado pela NBR 7181 ABNT, 2018. Todos os itens para elaboração do concreto estão de acordo com os requisitos especificados pela NBR 5738 ABNT, 2016, a execução dos ensaios de resistência a compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos estão de acordo com a NBR 5739 ABNT, 2018, a execução dos ensaios de resistência à tração na flexão dos corpos-de-prova prismáticos estão de acordo com requisitos especificados pela NBR 12142 ABNT, 2010, e a execução do ensaio para determinação do índice de vazios, massa específica e absorção de água está de acordo com os requisitos especificados pela norma NBR 9778 ABNT, 2009. Além disso foi analisado a consistência dos traços produzidos pelo abatimento do tronco de cone, especificados pela NBR NM 67 ABNT, 1998. Por fim será apresentada uma análise e comparação dos resultados atingidos nos ensaios.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura desse trabalho é constituída por seis capítulos, onde são apresentados de forma resumida a seguir.

O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao tema estudado, enfatizando a importância da sustentabilidade para o desenvolvimento econômico mundial, com a possibilidade da reutilização de pneus inservíveis. São apresentados também a justificativa, os objetivos, a metodologia utilizada e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo, é abordado o concreto de Cimento Portland, abordando sobre cada material constituinte, a variedade de suas características, suas principais propriedades e as normas que regem a utilização desse material.

Os conceitos sobre a borracha de pneus, seus componentes e propriedades, a problemática brasileira relacionada ao descarte desse material, abordando brevemente a importância da sustentabilidade e algumas possíveis utilizações, tanto dentro da construção civil como em outros segmentos, são abordados no capítulo 3.

No capítulo 4 é apresentado o programa experimental para realização da pesquisa. A obtenção do material estudado, definição de características dos materiais e dos traços que serão analisados, e a forma como cada ensaio foi executado.

O quinto capítulo aborda os resultados obtidos através tabelas, figuras e gráficos para cada um traços produzidos, e também a análise e discussão dos resultados.

E enfim o último capítulo expõe as considerações finais, comentando sobre o possível uso desse tipo de concreto, com a incitação para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Atualmente considerado o mais importante material estrutural e da construção civil, o concreto de cimento Portland foi descoberto no fim do século XIX e devido ao seu intensivo uso no século XX, o transformaram no material mais consumido pelo homem depois da água. Essa conquista revolucionou a arte de projetar e construir estruturas, o que sempre esteve ligado ao desenvolvimento das civilizações ao longo da história da humanidade. (HELENE E ANDRADE, 2010).

As adversidades impostas pela inevitabilidade de desenvolvimento do país, com um projeto de vida honrada para os cidadãos, com geração de empregos qualificados, têm a necessidade de uma ampla evolução em obras de infraestrutura, além da preservação das edificações já existentes. Sendo assim, na atualidade, o concreto de Cimento Portland é a ferramenta mais importante na construção civil. (MARQUES FILHO, 2010).

Na combinação do concreto, o Cimento Portland, simultaneamente com a água, produz uma pasta mais ou menos fluida, de acordo com o percentual de água acrescido. Essa pasta circunda as partículas de agregados com variadas dimensões formando um material, que, em suas primeiras horas, manifesta-se em uma condição de ser moldado em fôrmas de diversas formas geométricas. Com o passar do tempo, a mistura enrijece pela reação inconversível do cimento com a água, contraindo resistência mecânica e tornando-o um material de ótimo desempenho estrutural, perante as mais variadas situações de exposição. No concreto de Cimento Portland é obrigatório conter água, cimento e agregados, além da viabilidade de possuir aditivos, fibras, agregados minerais, pigmentos e adições minerais, dos quais a utilização tem se tornado cada vez mais costumeiro nos concretos atuais. A correlação entre os diferentes constituintes é estudada pela tecnologia do concreto, para satisfazer sincronicamente, as propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade solicitadas para o concreto, além das particularidades de trabalhabilidade primordiais para o deslocamento, adensamento e lançamento, circunstâncias estas que diferenciam caso a caso. (HANAI, 2005).

Podendo intervir diretamente nas especificações e confecção do material, o concreto é um dos poucos materiais construtivos em que os engenheiros e arquitetos possuem, ainda, influência direta em sua produção, seja em canteiro de obras ou em usinas de concreto. Para que ocorra essa intervenção, é substancial que o profissional tenha o conhecimento dos princípios básicos sobre as especificações e proporções dos múltiplos constituintes, observando atentamente as situações de aplicação, desempenho mecânico e durabilidade do material, e que os parâmetros como, abatimento, relação água/cimento, resistência à compressão, consumo de

cimento e durabilidade não podem estar completamente desagregados um do outro. (HELENE, 2005).

2.1 MATERIAIS CONSTITUINTES

2.1.1 Cimento Portland

Segundo Oliveira (2000), o Cimento Portland é um produto obtido através da pulverização do clinker. Produto de natureza granulosa, constituído fundamentalmente da calcinação de silicatos hidráulicos de cálcio, com um determinado percentual de sulfato de cálcio natural que, eventualmente, sofrem acréscimo de substâncias que alteram suas características ou facilitam seu uso. Na Tabela 1, observa-se os tipos mais comuns de Cimento Portland e suas composições.

Os traços físicos do Cimento Portland são examinados sob três concepções distintas: características do produto em sua condição natural, em pó, do composto de cimento e água e proporções convenientes de pasta e, por fim, do composto da pasta com agregado padronizado. Suas propriedades são associadas com a atuação do produto quando utilizado, ou seja, suas particularidades potenciais para a produção de concretos e argamassas (OLIVEIRA 2000).

A alta demanda de energia, ao longo do procedimento de fabricação do cimento Portland, ocasionou mundialmente esse ramo industrial na tentativa de medidas para a redução do consumo energético. Uma das possibilidades foi a utilização de fíler calcário, materiais e escórias de alto-forno na formação dos denominados cimentos com adições (BATTAGIN, 2011). Na Tabela 1, observa-se os tipos de cimento Portland normalizados no Brasil, suas nomenclaturas e a composição de constituintes em porcentagem de massa caracterizados por norma.

Além do ponto de vista ligado à preservação de energia, as razões predominantes do uso das pozolanas, escórias e fíleres estão ligadas às características específicas que apresentam ao cimento, com alguns benefícios em relação ao cimento Portland comum, principalmente em relação à durabilidade e aspectos ambientais, colaborando para o decréscimo de emissões distintivas de gases de efeito estufa, interrompendo que as jazidas de calcário sejam desgastadas prematuramente, favorecendo a reciclagem de resíduos industriais, especialmente no caso das pozolanas e escórias (BATTAGIN, 2011).

Tabela 1 - Tipos de cimento Portland normalizados no Brasil.

Tipos de Cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				NBR	Classes de Resistência
		Clínquer+ Gesso	Escória de alto forno (E)	Pozolana (Z)	Filer (F)		
Comum	CP I	100%	-	-	-	NBR 5732	25MPa
	CP I-S	99% - 95%	-	1% - 5%	-		
Composto	CP II-E	94% - 56%	6% - 34%	-	0 - 10%	NBR 11578	25, 32 e 40 Mpa
	CP II-Z	94% - 76%	-	6% - 14%	0 - 10%		
	CP II-F	94% - 90%	-	-	6% - 10%		
Alto Forno	CP III	65% - 25%	35% - 70%	-	0 - 5%	NBR 5735	25, 32 e 40 Mpa
Pozolânico	CP IV	85% - 45%	-	15% - 50%	0 - 5%	NBR 5736	25 e 32 Mpa
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100% - 95%	-	-	0 - 5%	NBR 5733	-
Resistente a Sulfatos	CP - RS	(*)				NBR 5737	25, 32 e 40 MPa
Baixo Calor de Hidratação	CP - BC					NBR 13116	25, 32 e 40 MPa
Branco	CP - B	100%	-	-	-	NBR 12989	25, 32 e 40 Mpa

(*) A composição depende do tipo original do qual é derivado.
 Fonte: Battagin, 2011 (adaptado).

2.1.2 Agregados

Agregado é um composto de comportamento químico praticamente nulo, incoesivo, formado por fusões de partículas de uma vasta gama de tamanhos. O termo “agregado” é de uso mais disseminado na tecnologia do concreto e classificam-se de acordo com o peso específico aparente, dimensões das partículas e sua origem (ALBUQUERQUE, 2010).

De modo geral, os agregados constituem um elemento significativo no concreto, colaborando com cerca de 80% do seu peso e 20% do custo de concreto estrutural sem o uso de aditivos, com a tensão de resistência característica do concreto à compressão (fck) da ordem de 15MPa. Não podem reagir na presença de cimento e serem invariáveis diante de agentes que podem entrar em contato com o concreto. É necessário ser excluído os agregados oriundos de rochas de baixa resistência à compressão, ou que incluam componentes ferrosos, pirita e gesso. E também devem ser livres de compostos que dificultem ou prejudiquem sua aglutinação à argamassa ou intervenham na “pega” e no endurecimento (ALBUQUERQUE, 2010).

De acordo com Albuquerque (2010), com relação a origem:

- Naturais: encontrados já de forma particulada no meio ambiente, como cascalho e areia.
- Industrializados: os que possuem sua formação particulada alcançados por meio de processos industriais. A matéria-prima nesses casos podem ser escória de alto-forno, argila e rocha.

- Com relação às dimensões das partículas, o agregado empregado na tecnologia do concreto é dividido em:
- Miúdo: as areias.
- Graúdo: as britas e os cascalhos.

Com relação ao peso específico aparente, é analisado segundo a densidade do material que os constitui, divididos em leves, médios e pesados.

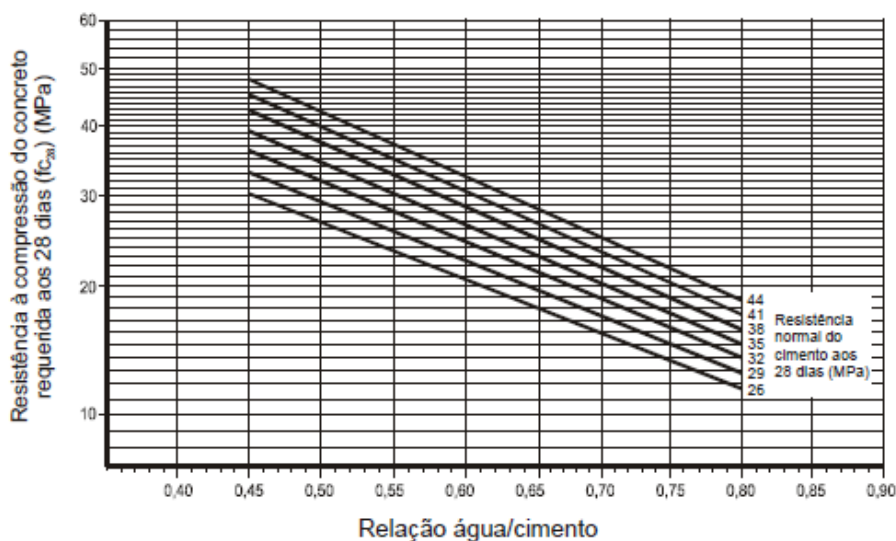
2.1.3 Água

Intitulada como solvente universal, a água é essencial no preparo do concreto. Sua dosagem correta tem influência direta nas reações químicas da mistura e, portanto, nas propriedades técnicas de durabilidade e resistência das estruturas. O cimento consome cerca de 19% de seu peso em água para produzir os cristais sólidos que possibilitam a resistência mecânica do concreto. O líquido também colabora para que o concreto contenha aspecto plástico considerável para ser transportado até que seja aplicado nas fôrmas. A sua falta ou excesso pode resultar em diversos problemas, por isso é extremamente necessário seu controle (VOTORANTIM CIMENTOS, 2016).

Somente após um estudo de dosagem é possível determinar com precisão a quantidade ideal de água, como observa-se no Gráfico 1, que leva em conta o tipo e local da aplicação, qualidade do cimento e agregados disponíveis, requisitos de projeto, entre outros. As referências mínimas para a relação água/cimento são estabelecidas pela NBR 12655 ABNT, 2015 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle, Recebimento e Aceitação – Procedimento (VOTORANTIM CIMENTOS, 2016).

Segundo Bauer e Noronha (2010), as características dos agregados, bem como a sua forma, sua capacidade de absorção e sua textura tem influência direta na parcela de água e de modo consequente, na trabalhabilidade do concreto. O valor dessa parcela não deve ser fixado, pois a mistura necessita ser conveniente com o emprego considerado, tendo em vista a composição granulométrica e quantidade dos agregados, para que a pasta atenda as condições solicitadas pela estrutura no que se refere à resistência mecânica.

Gráfico 1 - Gráfico para determinação da relação água/cimento (a/c) em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de idade.



Fonte: Rodrigues, 1998.

2.2 NORMATIZAÇÃO

Existem várias normas brasileiras pertinentes a estruturas de concreto armado e seus componentes, que necessitam ser utilizadas por todos os profissionais de engenharia e arquitetura, todas elas regulamentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Apresenta-se a NBR 6118 ABNT, 2014, que estabelece os requisitos básicos para o projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluindo aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais.

Observa-se a NBR 9062 ABNT, 2017, é fixada as condições exigíveis no projeto, execução e no controle de estruturas pré-moldadas de concreto armado ou protendido.

Tem-se também a NBR 8953 ABNT, 2015, aplicada a concretos leves, normais ou pesados, misturados em canteiro de obra ou dosados em central, no próprio local da obra ou fora dela, utilizados em elementos de concreto simples, armado ou protendido, bem como em elementos armados com perfis rígidos de aço.

Tem-se também a NBR 12655 ABNT, 2015, é aplicável a concreto de cimento Portland para estruturas moldadas na obra, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricados para edificações e estruturas de engenharia. O concreto pode ser misturado na obra, pré-misturado ou produzido em usina de pré-moldados. A norma de aplica a concretos normais, pesados e leves. Esta Norma estabelece os requisitos para:

- Propriedades do concreto fresco e endurecido e suas verificações;
- Composição, preparo e controle do concreto;

- Aceitação e recebimento do concreto.

Tem-se também a NBR 7212 ABNT, 2012, norma que estabelece os requisitos para a execução de concreto dosado em central e inclui as operações de armazenamento dos materiais, dosagem, mistura, transporte, recebimento, controle de qualidade e inspeção, incluindo critérios de aceitação e rejeição do controle interno da central de concreto. Esta Norma não abrange as operações subsequentes à entrega e recebimento do concreto fresco. Esta Norma aplica-se também, no que couber, aos casos em que a executante da obra dispõe de central de concreto.

Tem-se também a NBR 15900 ABNT, 2009, especifica os requisitos para a água ser considerada adequada ao preparo de concreto e descreve os procedimentos de amostragem, bem como os métodos para sua avaliação.

2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO

Para compreender o seu comportamento, é de fundamental importância a compreensão das propriedades e características do concreto. Ele apresenta duas fases específicas, a primeira fase, nomeada de concreto fresco, envolve um espaço de tempo muito curto, geralmente de 1h a 5h. Essa fase diz respeito ao período de tempo necessário para que o concreto consiga ser misturado, transportado, lançado e adensado. A segunda, intitulada de concreto endurecido, iniciado com a hidratação do cimento e de modo consequente o endurecimento do concreto, prolongando por toda a vida da estrutura (HELENE E ANDRADE, 2010).

2.3.1 Propriedades no estado fresco

A trabalhabilidade é o que mais explica o concreto em sua condição fresca, que é influenciada por condições particulares do concreto como, por exemplo, a correlação entre materiais secos e água, a quantidade de cimento e sua categoria, teor de argamassa, traço, e pelo tamanho, textura e forma dos agregados. Além do mais, é influenciado de forma direta por fatores externos, como as circunstâncias de transporte, lançamento, densidade, características das fôrmas, entre outros (HELENE E ANDRADE, 2010).

Ainda que seja a característica mais importante do concreto fresco, a trabalhabilidade possui um difícil julgamento, pois envolve uma abundância de outras propriedades, não ocorrendo a concordância a respeito de quais sejam essas propriedades. De forma resumida, a trabalhabilidade é a característica do concreto fresco que distingue uma maior ou menor

eficiência para ser executado com determinada finalidade, sem que perca sua homogeneidade (PETRUCCI, 1982).

Segundo Petrucci (1982), a consistência é um dos mais importantes aspectos que têm influência direta na trabalhabilidade, porém, não devendo ser confundida com ela. As principais condições que influenciam a trabalhabilidade são:

- Consistência: reconhecida pelo teor de água/materiais secos ou relação água/cimento;
- Traço: proporção entre cimento e agregado;
- Granulometria: proporção entre agregado graúdo e miúdo;
- Forma dos agregados: geralmente obtidos em estado natural ou por britagem
- Aditivos: mais conhecidos como plastificantes, com o objetivo de influenciar na trabalhabilidade;
- Mistura: manual ou mecanizada;
- Transporte: tanto horizontal ou vertical, se é por meio de caminhões, guinchos, vagonetas;
- Lançamento: dependendo diretamente da altura. Por meio de pás, bombas, calhas;
- Adensamento: vibratório ou manual;
- Armadura e dimensões da peça a ser executada.

Na tecnologia do concreto, a consistência pode ser explicada como, sob a atuação de sua própria massa, a capacidade de maior ou menor deformação. O procedimento definido pela normalização brasileira para indicação do concreto em seu estado fresco é a NBR NM 67 ABNT, 1998, por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone, denominado de *Slump Test* (HELENE E ANDRADE, 2010).

De maneira geral, as técnicas de determinação da consistência podem-se abranger diversos tipos, como ensaios de abatimento, penetração, escorregamento, compactação e remoldagem. Nenhum deles apresenta qualquer particularidade fundamental do concreto em seu estado fresco, porém são todos essenciais para apontar certos parâmetros que possuem influência nas características do concreto cada vez que outros parâmetros são preservados constantes (SOBRAL, 2012).

2.3.2 Propriedades do concreto no estado endurecido

Classificado como um sólido a começar da pega, o concreto é um material em contínua e eterna evolução. É vulnerável às transformações das condições físicas, mecânicas, químicas e ambientes, com reações normalmente lentas e que dependem de sua história. A história e idade do concreto são bastantes significantes nas suas propriedades e características (OLIVEIRA, 2000).

2.3.2.1 Massa específica

A massa específica usualmente utilizada é a unidade de volume, abrangendo os vazios. Ela geralmente varia entre 2.300 e 2.500 kg/m³ em que regularmente utiliza-se 2.300 kg/m³ para concreto simples e 2.500 kg/m³ para concreto armado. Utilizando-se agregados leves, é viável reduzir esse valor para cerca de 1.800 kg/m³. Já em paredes de salas de reatores atômicos, utilizam-se concretos pesados, com cerca de 3.700 kg/m³. (PETRUCCI, 1982).

2.3.2.2 Resistência à compressão

O concreto é um elemento que resiste muito bem aos esforços de compressão, porém muito mal aos esforços de tração, por volta de 10% da resistência à compressão. Além disso também resiste mal ao cisalhamento, devido as tensões que se encontram em planos inclinados. (PETRUCCI, 1982).

A qualidade mais significativa do concreto origina-se do grau de hidratação e da relação água/cimento. Esses são os principais critérios subjagam as características de absorção de água, permeabilidade, entre outros, assim como as especificidades mecânicas, como resistência à compressão, tração, abrasão, fluência, módulo de elasticidade e outras. (HELENE E ANDRADE, 2010).

Segundo Petrucci (1982), os fatores que mais possuem influência no concreto são:

- Relação água/cimento;
- Duração da carga;
- Idade;
- Tipo de cimento;
- Forma e graduação dos agregados;

- Forma e dimensão dos corpos-de-prova;
- Velocidade de aplicação da carga de ensaio.

Conforme Helene e Andrade (2010), a normatização brasileira instrui diversos passos necessários para definir corretamente a resistência à compressão do concreto.

- A NBR NM 33 ABNT, 1998, estabelece o procedimento a ser seguido para a coleta e a preparação de amostras de concreto fresco para moldagem dos corpos-de-prova sobre os quais serão executados ensaios que possibilitem determinar suas propriedades.
- A NBR 5738 ABNT, 2016, prescreve o procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos de concreto, sendo regularmente utilizados no Brasil, corpos-de-prova com 20cm de altura por 10cm de diâmetro e os de 30cm de altura por 15cm de diâmetro. Esta Norma não se aplica a concretos com abatimento igual a zero ou misturas relativamente secas, como as empregadas para a produção de tubos e blocos, para a preparação de concreto para barragens, e concreto compactado com rolo.
- A NBR 5739 ABNT, 2018, especifica o método de ensaio para a determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto moldados conforme a NBR 5738 ABNT, 2016 e testemunhos extraídos conforme a NBR 7680-1 ABNT, esta Parte 1 da NBR 7680 ABNT, 2015 trata especificamente das operações relativas à resistência à compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos de concreto.
- A NBR 7680 ABNT, 2015, estabelece os requisitos exigíveis para os processos de extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto.

De acordo com Helene e Andrade (2010), em situações onde não for indicada a idade do concreto, as resistências demonstram-se à idade de 28 dias e a hipótese de resistência à compressão atribui-se ao cálculo de acordo com a NBR 12655 ABNT, 2015, sendo aplicável a concreto de cimento Portland para estruturas moldadas na obra, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricados para edificações e estruturas de engenharia.

3 BORRACHA DE PNEU

Segundo Petrucci (1979), a borracha é uma substância de origem vegetal, beneficiada de propriedades elásticas extraordinárias. Foi descoberto em 1736 por Charles de La Condamine, na América do Sul. A borracha bruta é elástica e resistente à abrasão, o material original altera-se rapidamente com a luz e o calor. Ela é menos resistente que a borracha vulcanizada, porém mais extensível.

Devido a sua elasticidade, ela possui a capacidade de deformar-se de forma significativa sob ação de forças exteriores e reassumir sua forma quando retirada a carga. Certas borrachas podem ser alongadas até 10 vezes o seu comprimento original. Pode ser usada em diversos ramos, tais como: isolamento de vibrações, absorção de choques, isolamento de som, proteção contra corrosão, proteção elétrica, entre vários outros (PETRUCCI 1979).

O surgimento do pneu é datado por volta de 1830, após vários experimentos feitos por Charles Goodyear, que acidentalmente descobriu que a borracha cozida a altas temperaturas com enxofre, conservava suas condições de elasticidade no calor ou no frio. Assim foi descoberto o processo de vulcanização da borracha, sendo os irmãos Michelin os primeiros a patentear o pneu para automóvel por volta de 1845. Ainda nas etapas iniciais de desenvolvimento, Robert Thompson, em 1847, implantou uma câmara de ar dentro dos pneus de borracha maciça, criando o componente fundamental para o funcionamento dos veículos e passando por muitas etapas de transformação até os dias atuais (SINPEC 2018).

No Brasil, a produção de pneumáticos ocorreu após a implantação do Plano Geral de Viação Nacional em 1934. Porém, a materialização desse plano só ocorreu em 1936 com a inauguração da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha no Rio de Janeiro, que fabricou mais de 29 mil pneus em seu primeiro ano de vida. Entre 1938 e 1941, com a vinda de grandes fabricantes, o país já elevou sua produção para mais de 441 mil pneus, e ao final dos anos 80 mais de 29 milhões de pneus já haviam sido produzidos. Atualmente, em termos de produção mundial, o Brasil é o quinto na classe de pneus para caminhão, ônibus e camionetas e o sétimo na classe de pneus para automóveis (SINPEC 2018).

3.1 COMPONENTES E MATERIAIS DOS PNEUMÁTICOS

Segundo o Sindipneus (2013) é o pneu que entra contato com a superfície e aguenta toda o volume em que está sendo solicitado, sendo assim, um dos componentes mais

imprescindíveis de qualquer veículo automotor. Relacionado a sua matéria-prima, ele é constituído por:

- Borracha natural;
- Borracha sintética;
- Aço;
- Negro de Fumo;
- Óxido de zinco e ácido esteárico;
- Enxofre (agente vulcanizador);
- Antidegradantes;
- Aceleradores e retardadores;
- Auxiliares de processo.

Segundo o Sinpec (2018), um pneu de passeio é composto por 27% de borracha sintética, 14% de borracha natural, 28% de negro de fumo, 17% de produtos químicos, como óxido de zinco, ácido esteárico, enxofre (agente vulcanizador), antidegradantes, aceleradores e retardadores, 10% de aço e 4% de têxtil. Na Figura 1, observa-se como é composta a disposição dos materiais.

Segundo KAMIMURA (2002), os pneus para veículos de passeio são constituídos das seguintes partes:

- Carcaça: é a composição interna do pneu, com o objetivo de sustentar o peso do veículo e conter o ar sob pressão. Essa carcaça é formada por lonas de poliéster, nylon ou aço, estabelecidas radialmente em pneus radiais e diagonalmente em pneus tradicionais, constituindo a parcela durável do pneu.
- Flancos: são formados por uma mistura de borracha com alto grau de plasticidade, organizados lateralmente, com o intuito de preservar a carcaça contra fatores externos.
- Talões: são formados interiormente por arames de aço de enorme tenacidade, ligados e envolvidos por borracha. Sua função é conservar o pneu fixado ao aro, impossibilitando-o de ter movimentos livres.
- Banda de Rodagem: é o elemento do pneu que entra diretamente em contato com a superfície. Possui avantajada resistência ao desgaste devido à constituição de sua borracha e compostos químicos especiais. Seu design, minuciosamente estudado, busca oferecer segurança ao veículo, estabilidade e boa tração. Este

segmento, passa por uma deterioração mais rápida que as demais partes do pneu por estar em contato direto com o solo. Sendo assim, mantendo as outras parcelas, é permitida a sua restauração. Denomina-se esse processo de recapeamento ou recauchutagem.

Figura 1: Estrutura de um pneu convencional



Fonte: Sindipneus, 2012.

3.2 SUSTENTABILIDADE E MEIO AMBIENTE

Em todas as partes do globo a sociedade tem se preocupado cada vez mais com os vários aspectos do equilíbrio ecológico. Inúmeras pesquisas de opinião pública têm sido elaboradas para corroborar essa maior conscientização e inúmeros são os exemplos que evidenciam o crescimento do senso ecológico na sociedade atual, com ênfase nos países de maior desenvolvimento econômico social (LEITE, 2009).

O aumento de produtos que são descartados após seu primeiro uso, causado pelo nítido crescimento da descartabilidade dos itens em geral, acarreta desequilíbrio entre as quantidades descartadas e as reaproveitadas, pelo fato de não possuir locais de distribuição para pós-consumo. A dificuldade da organização de lixo urbano é uma das questões ambientais urbanas

mais preocupantes atualmente, pois a maior parte de produtos se transformam rapidamente em ‘lixo’ e isso acontece de forma crescente. (LEITE, 2009).

A evolução do desenvolvimento sustentável se deu a partir da década de 70 com o avanço e grande quantidade de estudos. Em relação ao âmbito global teve seu primeiro importante passo com a Conferência de Estocolmo em 1972. Contudo, somente depois da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (RIO-92) o desenvolvimento sustentável se tornou questão principal da política ambiental (MIKHAILOVA, 2004).

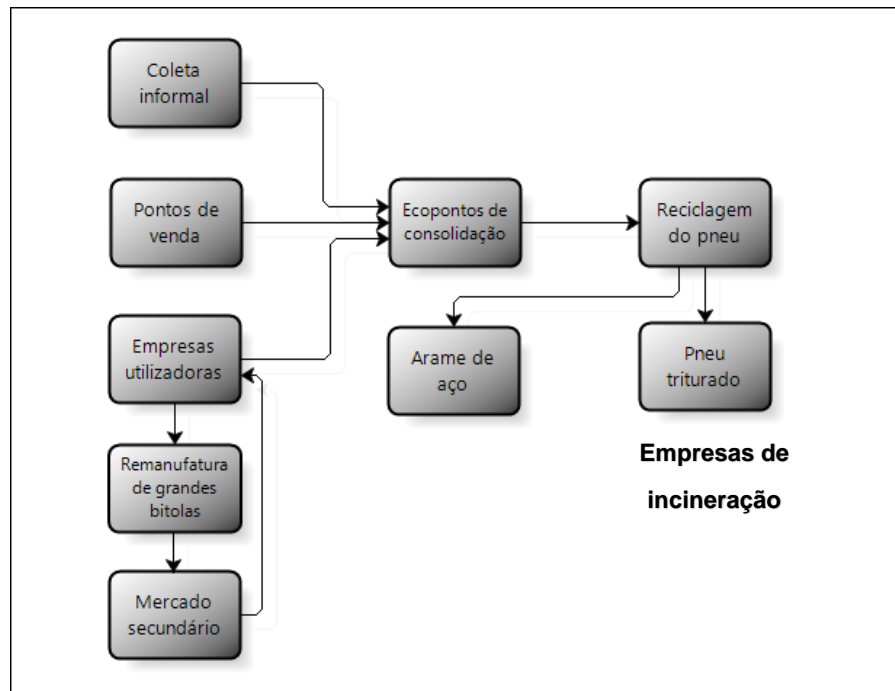
A exploração de recursos naturais sendo feita de maneira responsável, poderá ser mantida para sempre e nunca se findará.

Com o progresso da indústria automotiva em diversas partes do mundo a fabricação de pneus experimentou crescimento equivalente com possibilidade de reaproveitamento até o final dos anos 1990 ainda em baixa. As reutilizações de pneus não impediram esse produto de exercer, ao fim da vida, papel poluídos, em função das quantidades e do volume. Disposições pouco claras marcaram muitos anos da existência desse produto e um grave problema para a sociedade e governos (LEITE, 2009).

Para contribuir com o desenvolvimento sustentável global a comunidade da construção civil tem manifestado imensa preocupação, planejando verificar as possíveis vantagens na utilização dos materiais tidos como inservíveis através de estudos e de maneira geral contribuir com a preservação do meio ambiente. Os materiais estudados podem ser provenientes de descartes da área da construção civil ou vários setores, gerando relação entre cadeias produtivas. Dessa forma uma cadeia produtiva poupa o uso de recursos naturais com o reaproveitamento de resíduos de outra cadeia produtiva. Como por exemplo a utilização de pneus inservíveis na construção civil (MARTINS, 2005).

O avanço da tecnologia de filtração de gases derivados da queima de pneus, possibilitou a regulamentação da legislação modificadora do mercado no Brasil em 2000. Com a envoltura de todos os agentes da cadeia produtiva de pneumáticos, o setor adotou uma política de trabalho de acordo com o modelo ‘pool de empresas do setor’ na organização da logística reversa dos pneus usados. A figura 2 apresenta o fluxograma que resume as ideias dos elos e agentes presentes na cadeia reversa dos pneus usados (LEITE, 2009).

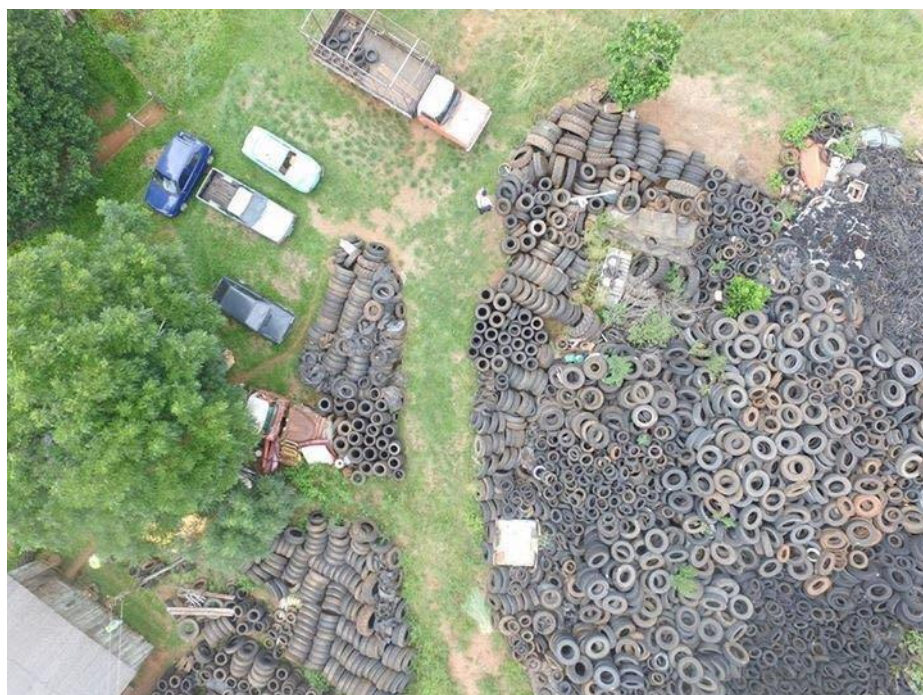
Figura 2: Fluxograma de pneus usados



Fonte: Leite, 2009

O acúmulo de pneus, assim como mostrado na Figura 3, potencializa a procriação de mosquitos transmissores de doenças, além de ser de difícil contenção de incêndio, podendo atingir o lençol freático, solo e contaminar o ar (MARTINS, 2005).

Figura 3: Depósito irregular de pneus



Fonte: Jornal NH, 2016.

Com a conscientização ambiental da população é necessário a adaptação das empresas para apresentar um negócio mais responsável ecologicamente. Para disponibilizar ao consumidor produtos sustentáveis e apresentar a importância da conscientização do produto no mercado foi criada uma ferramenta com uma visão de responsabilidade ecológica chamada “Marketing Ambiental”. As atividades do Marketing Ambiental buscam integrar e atender suas necessidades e desejos sem causar danos ao meio ambiente (PEREIRA et al, 2013).

3.3 REUTILIZAÇÃO DOS PNEUS INSERVÍVEIS

3.3.1 Muros de arrimo e obras de drenagem

O muro de arrimo, normalmente, é erguido em terrenos irregulares. Como sendo uma barreira para evitar deslizamentos de solo, principalmente em dias chuvosos.

Os muros de pneus são produzidos a partir da aplicação de camadas dispostas horizontal e de modo descasado, para amenizar o volume de vazios, atados com arame ou corda e preenchidos com solo batido, assim como apresentado na Figura 4 (GERSCOVICH, 2010).

Figura 4 - Muros de arrimo com pneus nas margens do Rio Ponte Serrada



Fonte: Oeste Mais, 2015.

Nos EUA, foi abordado a prática de unir pneus em módulos para a formação de tubos de drenagem em permutação aos bueiros. Esta técnica apresentou desempenho satisfatório (ANDRADE, 2007).

3.3.2 Asfalto-borracha

A adição de borracha de pneus inservíveis é uma forma alternativa de se modificar os asfaltos melhorando suas propriedades e, ao mesmo tempo, contribuir com a solução de problemas ambientais. A utilização em serviços de pavimentação de asfaltos modificados com borracha de pneu tem sido uma das técnicas mais utilizadas em todo mundo, porque se emprega grande volume de resíduos com melhoria no desempenho sob vários aspectos (CERATTI, 2010).

Segundo pesquisas de GRECA Asfaltos em parceria com a UFRGS, é utilizado 1.000 a 1.200 pneus para fabricar um quilômetro de asfalto-borracha com 5 cm de espessura. Além disso apresenta algumas vantagens em relação aos ligantes tradicionais do asfalto, como:

- Retardador de reflexão de trincas 5 a 6 vezes maior, como apresentado na Figura 5;

Figura 5 - Simulador de tráfego de asfalto-borracha e asfalto convencional, respectivamente



Fonte: Greca asfaltos, linha ecoflex, 2009.

- Redução da propensão térmica;
- Menor suscetibilidade à formação de trilhas de pneus, como demonstrado na Figura 6;

Figura 6 - Simulador de tráfego para verificação de formação de trilha de pneus. Com asfalto convencional e asfalto-borracha, respectivamente.



Fonte: Greca asfaltos, linha ecoflex, 2009.

- Redução no custo da obra de aproximadamente 14%;

3.3.3 Fonte de energia (CO-processamento)

A transformação do pneu em combustível alternativo é mais vantajosa se comparada ao carvão vegetal, mesmo com o poder calorífico inferior, pois a aquisição da matéria-prima deriva da coleta e picotamento dos pneus, assim reduzindo o custo. Nas fábricas de cimento, pode-se utilizar até a carcaça inteira do pneu e aproveitar alguns óxidos contidos nos metais dos pneus radiais, em fornos rotativos; as indústrias de celulose e papel e de produtos alimentícios são os principais de pneus em caldeiras. Em vários países, inclusive no Brasil, é proibida a queima a céu aberto, devido a emissões gasosas e o forte odor que a fumaça negra gera (LEVY, 2010).

No Brasil, houve uma economia de 720 mil toneladas de óleo, no período de 1999 a 2004, com a destruição de 150 mil toneladas de pneus que foram transformados em combustível. Pneus moídos asseguram menor viscosidade ao mineral e uma melhoria do processo de extração do xisto betuminoso (CEMPRE, 2007).

Segundo Andrade (2007), as vantagens oferecidas para utilização dos pneus inservíveis nos fornos das cimenteiras são as seguintes:

- Não gera refugos;
- Aproveita em grande escala o volume de pneus descartados;
- Mantém os bens naturais e combustíveis fósseis;
- Possui amparo legal se comparado a queima de carvão;
- Gera menos emissões com a sua queima;

3.3.4 Regeneração e desvulcanização da borracha de pneu

A classificação das carcaças de pneus, em relação aos resíduos, contém fibras em grande proporção. Ao receber a vulcanização, os resíduos se tornam mais plásticos e adequados, devido as modificações que passam no processo. Contudo, é necessário mesclar com borracha crua para a produção de artigos, pois não alcança as propriedades iniciais da borracha. No procedimento de regeneração, é separado a borracha dos outros componentes e desvulcanizada, são recuperados como sucata de ferro o arame e a malha de aço e o tecido de nylon é restaurado e empregado como reforço em embalagens de papelão (RESENDE, 2004).

Para melhor entendimento do processo de regeneração, as fases são:

- Picotamento dos pneus;
- Adição dos pedaços em um tanque, juntamente com solvente para inchar a borracha e a tornar quebradiça;
- Pressionamento dos pedaços de pneus para soltar o tecido de nylon e a malha de aço;
- Separação o aço, nylon e a borracha através de um sistema de eletroímãs;
- Separação e moagem por um conjunto de peneiros e bombas de alta pressão;
- Chegam a um reator onde acontece a desvulcanização da borracha, assim recuperação grande parte das propriedades originais;
- A secagem da borracha é feita em um tanque para recuperar o solvente (SBRT SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS, 2006);

3.4 BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS COMO AGREGADO NO CONCRETO

A inevitabilidade da preservação das jazidas naturais de minerais, assim como outras questões ambientais como, por exemplo, os aspectos sociais relacionados a elevados gastos dos materiais empregados na produção de concreto e elevados índices de insuficiência habitacional vem ocasionando que a indústria da construção civil procure possibilidades para aplicação de novos materiais (BOAVENTURA, 2011).

Segundo Cincotto (1998), os resíduos devem ser avaliados, com base em alguns critérios, para uso na construção civil, são eles:

- A disponibilidade do produto deve ser grande o suficiente para compensar o desenvolvimento de sistemas de manuseio, processamento e transporte;
- A distância percorrida no transporte do resíduo deve ser equiparada com os materiais convencionais;
- O resíduo não deve ser danoso no decorrer da construção ou futuramente à sua inserção na estrutura.

Com base nos critérios apresentados a borracha de pneus inservíveis possui grande capacidade para a reciclagem. É encontrado em abundantes quantidades nos aterros sanitários, além de possuir baixo custo para compra, não oferecer risco a quem manipula e possuir alta resistência ao tempo (FERREIRA; FARIA JUNIOR, 2015).

Nos últimos anos, vem sendo ampliada a prática da utilização de resíduo de pneu no preparo de concretos. Já foram elaboradas pesquisas e apresentaram resultados tecnicamente razoáveis, em que os agregados naturais trocados ou acrescentados por agregados derivados de resíduos de pneus inservíveis triturados para produção de concreto (BOAVENTURA, 2011).

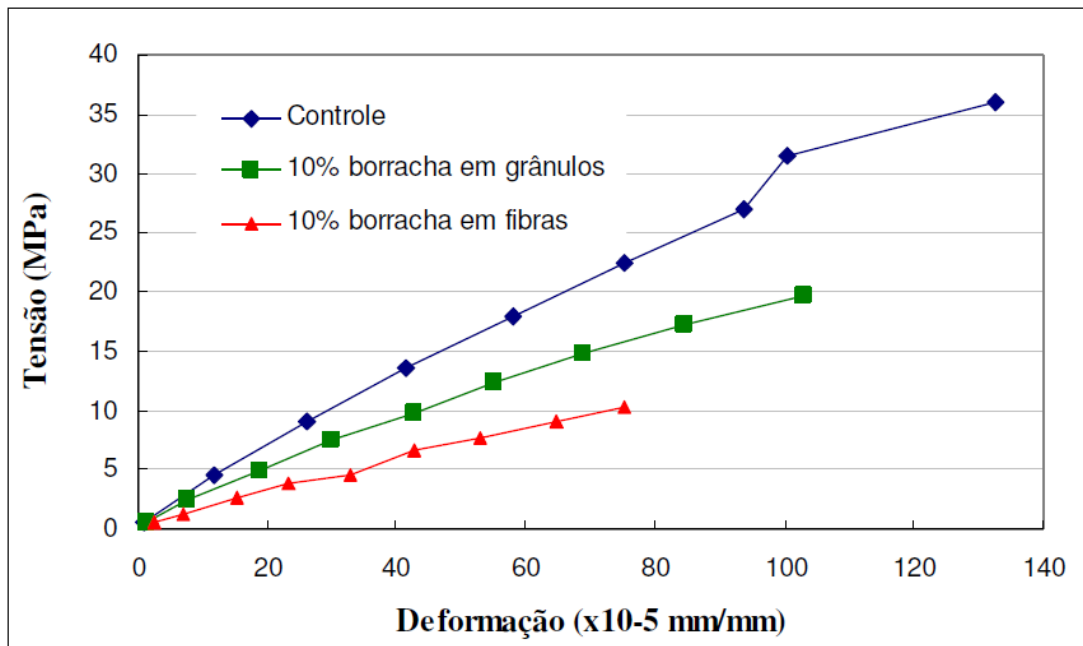
Segundo uma equipe da UNESP dirigida pelo Prof. Dr. Jorge Luiz Akasaki, com base em estudos realizados, os resultados apresentam que o concreto com resíduos de pneus perde resistência a compressão em relação ao concreto convencional, porém possui propriedades viáveis para aplicação (FRANÇA et al, 2004).

Algumas características do concreto podem ser aperfeiçoadas com a inserção das fibras de borracha, esse resíduos agem como um certo bloqueio na evolução de fissuras. Detendo as microfissuras que ocorrem no decorrer do endurecimento da pasta, elas dificultam seu progresso e contém o surgimento prematuro dessas microfissuras. No composto endurecido, elas controlam o comprimento e a amplitude dessas fissuras (FRANÇA et al, 2004).

No estado endurecido do concreto, observa-se uma significativa redução no módulo de elasticidade com a inserção da borracha ao substituir o agregado, o que resulta em uma maior

probabilidade de deformação do composto sob determinada carga. Pode-se observar o comportamento de deformação do concreto com a adição da borracha de pneu, como mostrado no exemplo do Gráfico 2. Maiores níveis de deformação são atingidos em relação à amostra de controle, para uma mesma tensão, especialmente quando se empregam partículas de pneu em formato de fibras (ALBUQUERQUE, 2009).

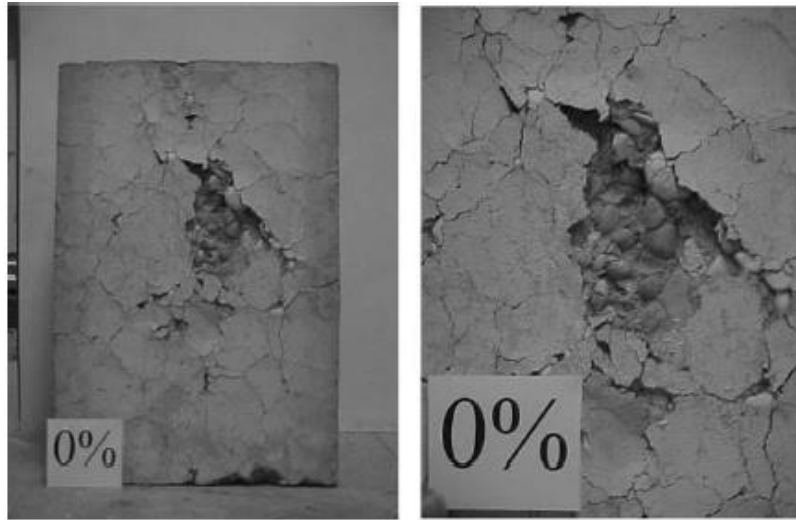
Gráfico 2 - Módulo de elasticidade secante em função do tipo de borracha de pneu



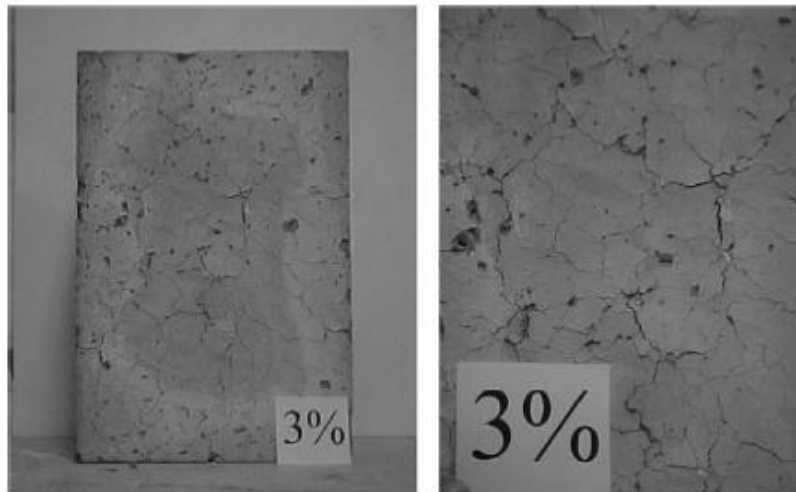
Fonte: Albuquerque, 2009.

Outro fator que apresenta característica positiva é a durabilidade do concreto em testes de resistência ao fogo. Placas de concreto simples e concreto com adição de borracha de pneu foram sujeitas a temperaturas de 800° a 1000°C. Notou-se que as placas de referência tiveram um lascamento explosivo (*spalling*), ao mesmo tempo que as placas com quantidades de até 8% de borracha obtiveram grande nível de fissuração, contudo sem *spalling*. Atribui-se isto à queima das partículas de borracha que deixam canais de abertura, que permitem a saída do vapor de água e reduz as tensões internas em virtude da pressão de vapor. No que se refere à análise microestrutural, houve diminuição da aderência do agregado e das fibras de borracha, quando verificado as amostras de 15% em relação a referência. Podemos perceber, na Figura 7, a aparência visual das placas sem e com borracha de pneu após o fogo (ALBUQUERQUE, 2009).

Figura 7: Aspecto visual das placas sem e com adição de borracha de pneu



(a)



Fonte: Albuquerque, 2009.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 DESENVOLVIMENTO

Este programa experimental foi realizado no Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA com o objetivo de embasar a investigação da substituição de borracha de pneu nas propriedades do concreto. Será apresentado resumidamente como foi desenvolvido cada etapa neste capítulo.

Inicialmente foram elegidos os materiais a serem utilizados na produção do concreto e verificou-se suas propriedades e características como, granulometria, massa específica, massa unitária, módulo de finura, entre outras. Foi recolhido a borracha, em uma empresa reformadora de pneus, já triturada em formato tipo fibra.

Através dos dados obtidos dos materiais, calculou-se o traço segundo as especificações de NBR 5739 ABNT, 2018 através do procedimento de cálculo da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), e por meio de substituição parcial da borracha de pneu no agregado miúdo obteve uma série de variações, em diferentes porcentagens e granulometrias.

Os corpos-de-provas foram fabricados, desformados e mantidos na câmara úmida até o período dos testes, 7 e 28 dias. Então foi possível avaliar suas propriedades.

Dentre propriedades analisadas tem-se: trabalhabilidade, massa específica, resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial, índice de vazios e absorção de água por imersão.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

4.2.1 Aglomerante

4.2.1.1 Cimento

O cimento Portland usado no estudo foi do tipo CP-II-F-32 (Cimento Portland composto com fíler), sendo suas características e propriedades físico-químicas apresentadas no Tabela 2, de acordo com a NBR 11578 ABNT, 1997.

Tabela 2 - Tabela das características e propriedades físico-químicas do cimento

Características e Propriedades físico-químicas		Unidades	CP II-F-32
Finura	Resíduo na peneira 75 μ m	%	$\leq 12,0$
	Área específica	m ² /kg	≥ 260
Tempo de início de pega		h	≥ 1
Resistência à compressão	7 dias	Mpa	$\geq 20,0$
	28 dias	Mpa	$\geq 32,0$
Análise química	Resíduo insolúvel (RI)	%	$\leq 2,5$
	Perda ao fogo (PF)	%	$\leq 6,5$
	Óxido de magnésio (MgO)	%	$\leq 6,5$
	Trióxido de enxofre (SO ₃)	%	$\leq 4,0$
	Anidrido carbônico (CO ₂)	%	$\leq 5,0$
Massa específica		Kg/m ³	3500

Fonte: NBR 11578, adaptado, 1997.

4.2.2 Agregados

4.2.2.1 Brita

Foi utilizada brita 0 do Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis, não foi necessário realizar ensaio de granulometria pois o material já foi adquirido com a granulometria solicitada, foi efetuado apenas o peneiramento para retirar eventuais impurezas. A seguir na Tabela 3, são apresentadas as demais informações obtidas sobre a brita.

Tabela 3 - Demais características da brita utilizada

Demais características obtidas		
Determinações	Unidade	Valores obtidos
Dimensão máxima (NBR NM 248 ABNT, 2003)	(mm)	12,5
Módulo de finura (NBR NM 248 ABNT, 2003)	-	5,74
Massa específica (NBR NM 53/2009)	g/cm ³	2,7
Massa unitária (NBR NM 45 ABNT, 2006)	Kg/m ³	1540

Fonte: Autoria Própria, 2019.

4.2.2.2 Areia

Foi utilizado areia natural do Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis, com a análise granulométrica representado na Tabela 4 e a curva granulométrica no Gráfico 3, estabelecida segundo a NBR NM 248 ABNT, 2003.

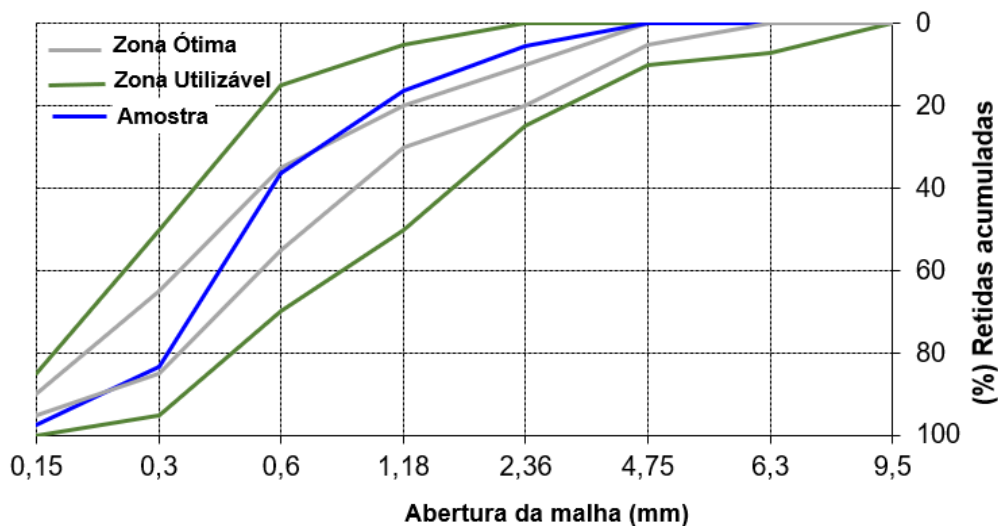
Tabela 4 - Análise granulométrica da areia

Análise granulométrica (ABNT NBR NM 248/2003)						
Espessura da peneira (mm)	M1 (g)	Retido (%)	M2 (g)	Retido (%)	Média retida (%)	Média Acumulada (%)
#2,36	21,8	7,27	12,0	4,00	5,63	5,63
#1,18	40,8	13,60	22,5	7,50	10,55	16,18
#0,6	65,5	21,83	55,1	18,37	20,10	36,28
#0,3	128,8	42,93	152,9	50,97	46,95	83,23
#0,15	37,2	12,40	48,2	16,07	14,23	97,47
Fundo	5,9	1,97	9,3	3,10	2,53	100,00
Total	300	100,00	300,0	100,00	100,00	

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Gráfico 3 - Gráfico da curva granulométrica da areia

- Limites Granulométricos -



Fonte: Autoria Própria, 2019.

A seguir na Tabela 5, são apresentadas as demais informações obtidas sobre a areia utilizada na pesquisa.

Tabela 5 - Tabela das demais características da areia

Demais característica obtidas		
Determinações	Unidade	Valores obtidos
Módulo de finura	-	2,39
Massa específica (NBR NM 52/2002)	g/cm ³	2,57
Massa unitária (NBR NM 45 ABNT, 2006)	Kg/m ³	1530

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

4.2.2.3 Resíduo de borracha de pneu

Foi utilizado fibra de borracha de pneu recolhido em uma empresa reformadora de pneus na cidade de Anápolis, estado de Goiás.

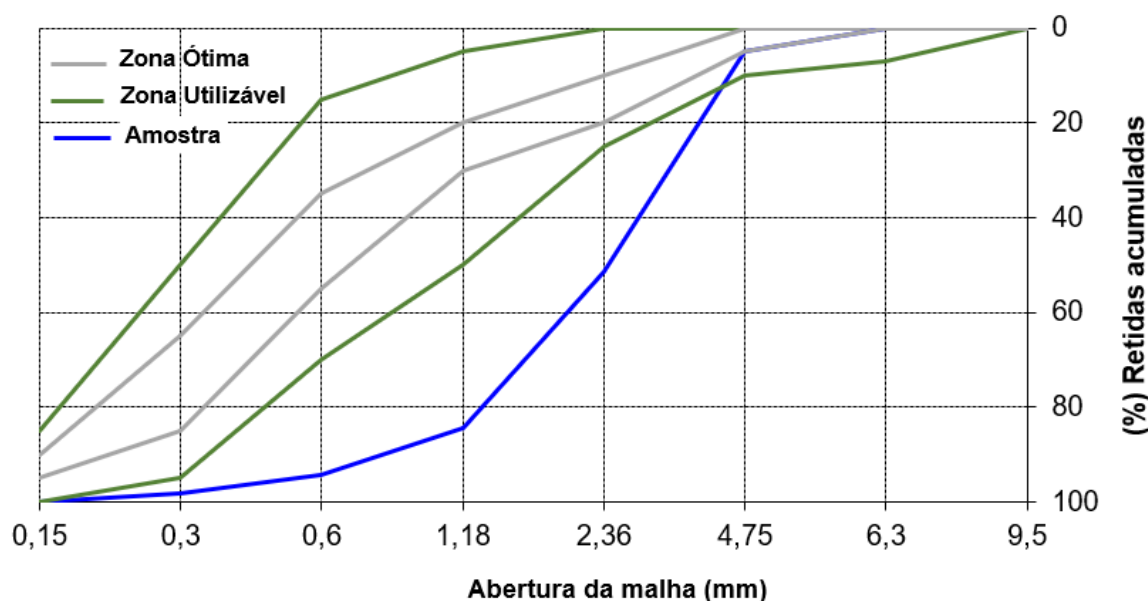
O material possui fibras que são do tipo alongadas, diferente dos agregados usuais, portanto quanto á caracterização granulométrica é difícil determinar a granulometria como os outros agregados do tipo granular. Porém foi realizado a análise granulométrica tradicional segundo a NBR NM 248 ABNT, 2003. A seguir, está representado a análise granulométrica na Tabela 6 e a curva granulométrica no Gráfico 4.

Tabela 6 - Tabela da Análise Granulométrica da Borracha

Análise Granulométrica (NBR NM 248 ABNT, 2003)			
Espessura da peneira (mm)	M (g)	Retido (%)	Retido Acumulado (%)
#4,75	15	5,0	5,0
#2,36	139	46,3	51,3
#1,18	99	33,0	84,3
#0,6	30	10,0	94,3
#0,3	12	4,0	98,3
#0,15	4,7	1,6	99,9
Fundo	0,3	0,1	100,0
Total	300	100,0	0

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Gráfico 4 - Gráfico da curva granulométrica da borracha
- Limites Granulométricos -



Fonte: Autoria Própria, 2019.

De modo, a facilitar o entendimento da classificação das fibras de borracha a Tabela 7, demonstra a abertura das peneiras, percentual retido em cada peneira, denominações e observações quanto a utilização das granulometrias nos traços. Algumas dimensões das fibras apresentavam baixo percentual retido, sendo então excluídos deste estudo. Nas Figuras 8 e 9 pode-se observar como são os formatos da borracha média e borracha fina, respectivamente.

Tabela 7 - Tabela de classificação granulométrica do resíduo de borracha de pneu

Classificação Granulométrica do Resíduo de Borracha de Pneu			
Abertura da peneira (mm)	Resíduo de Borracha de Pneu		
	% Retida	Denominação	Observação
#4,75	5	Borracha Grossa	Não Utilizado
#2,36	46,3	Borracha Média	Utilizado
#1,18	33	Borracha fina	Utilizado
#0,6	10	Não Classificado	Não Utilizado
#0,3	4	Não Classificado	Não Utilizado
#0,15	1,6	Não Classificado	Não Utilizado
Fundo	0,1	Não Classificado	Não Utilizado

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 8 - Figura das fibras de borracha média



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Figura 9 - Figura das fibras de borracha fina



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

4.2.2.4 Água

Aplicou-se água potável proveniente da rede de tratamento da cidade de Anápolis, no estado de Goiás.

4.3 MÉTODOS EXPERIMENTAIS

4.3.1 Método de dosagem

O método de dosagem utilizado para a realização do traço foi segunda as normas da ABCP. Que estabelece alguns critérios necessários para elaborar o mesmo são: desvio padrão, f_{cd} e o abatimento. Consiste em encontrar a massa de cimento, areia, agregado graúdo, água necessários.

4.3.1.1 Definir a relação água/cimento (a/c)

Definir a resistência de dosagem (Equação 1). Dados necessário:

- Resistência requerida do concreto de 28 dias – F_{ck} : 25 Mpa;
- Desvio padrão – S_d (Estabelecido pela Tabela 8): 5,5 Mpa

$$F_{c28} = F_{ck} + 1,65S_d \quad (1)$$

Onde:

F_{c28} = Resistência média do concreto em 28 dias.

Tabela 8 - Valores de S_d em função do rigor da produção

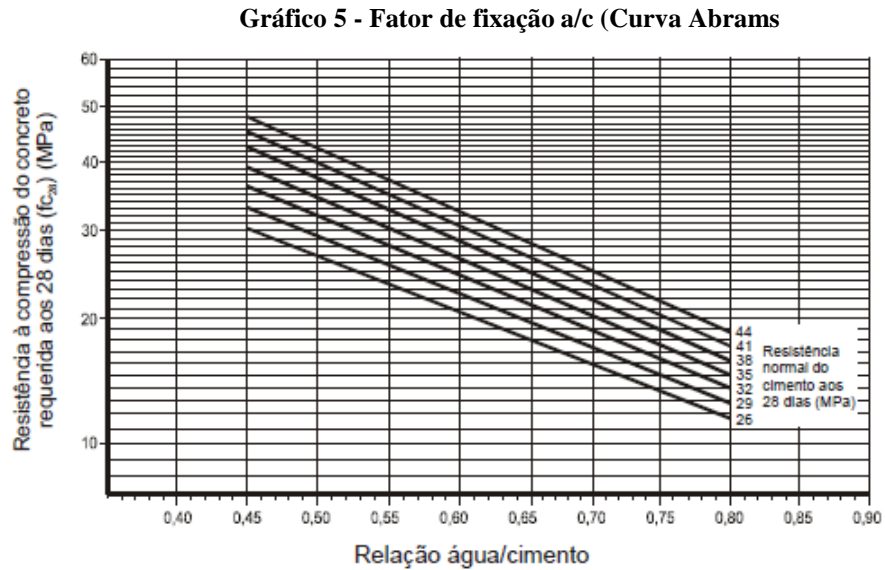
Sd	Condição	Classe	Tipo de Concreto
4	A	C10 a C80	Quando todos os materias forem em peso e houver medidor de água, corrigindo-se as quantidades de agregado miúdo e água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados.
5,5	B	C10 a C25	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção de volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados.
7	C	C10 a C15	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimada.

Fonte: Helene, 2010.

$$F_{C28} = 25 + 1,65 \times 5,5$$

$$F_{C28} = 34 \text{ Mpa}$$

Com esses valores encontrar a partir da Curva de Abrams do cimento na Gráfico 5 o valor correspondente da relação a/c.



Fonte: Rodrigues, 1998.

Assim sendo, o valor da relação a/c encontrado é 0,52.

4.3.1.2 Definir o consumo de água (C_w)

Para uma estimativa de consumo de água por metro cúbico (m^3) é utilizado a Tabela 9 como auxílio, no qual é necessário saber a dimensão máxima do agregado graúdo e o abatimento. Foi determinado a utilização da Brita 0 e abatimento de 70 mm.

Tabela 9 - Estimativa de consumo de água (l/m^3)

Abatimento do tronco cone	Dimensão máxima característica do agregado				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
40 a 60 mm	220	195	190	185	180
60 a 80 mm	225	200	195	190	185
80 a 100 mm	230	205	200	200	190

Fonte: Rodrigues, 1998.

Assim sendo, o valor do consumo de água aproximado de 225 litros.

4.3.1.3 Definir o consumo de cimento (C)

Para determinar o consumo de cimento (Equação 2) é necessário saber o valor do consumo de água.

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (2)$$

Onde:

C_a = Consumo de água

C_c = Consumo de cimento

a/c = relação água cimento

$$C_c = \frac{225}{0,52}$$

$$C_c = 432,69$$

Assim sendo, o valor do consumo de cimento é 432,69 Kg/m³.

4.3.1.4 Definir o consumo de agregado graúdo (Cb)

Para definir o consumo de agregado graúdo é utilizado a Tabela 10, no qual se faz necessário saber o módulo de finura (MF) da areia e a dimensão máxima do agregado graúdo. Foi determinado o MF de 2,4 e a dimensão máxima do agregado graúdo de 9,5 mm. Os valores devem ser aplicado na Equação 3.

Tabela 10 - Volume de agregado graúdo compactado por m³ de concreto

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Rodrigues, 1998.

$$C_b = V_b \times \mu_u \quad (3)$$

Onde:

V_b = Volume do agregado seco por m^3 de concreto;

μ_u = massa unitária compactada do agregado graúdo.

$$C_b = 0,585 \times 1540$$

$$C_b = 900,9$$

Assim sendo, o valor do consumo de agregado graúdo é de 900,9 Kg/ m^3 .

4.3.1.5 Definir o consumo de areia (C_m)

O volume de areia é definido pela a Equação 4, no qual se faz necessário saber o consumo, em volume, da água, do cimento e do agregado graúdo.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (4)$$

Onde:

γ_c = Massa específica do cimento;

γ_b = Massa específica do agregado graúdo;

γ_a = Massa específica da água;

C_c = Consumo de cimento;

C_b = Consumo de agregado graúdo;

C_a = Consumo de água;

V_m = Volume de areia.

$$V_m = 1 - \left(\frac{432,69}{3100} + \frac{900,90}{2700} + \frac{225}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,30$$

Para definir o consumo de areia, em massa, é utilizado a Equação 5.

$$C_m = \gamma_m \times V_m \quad (5)$$

Onde:

γ_m = Massa específica da areia;

V_m = Volume de areia.

$$C_m = 2570 \times 0,30$$

$$C_m = 771$$

Assim sendo, o valor do consumo de areia é de 771 Kg/m³.

4.3.1.6 Apresentação do traço

O traço é representado, com relação ao unitário de cimento. Sendo encontrado através da Equação 6.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad (6)$$

Onde:

C_c = Consumo de cimento;

C_m = Consumo de areia;

C_b = Consumo de agregado graúdo;

C_a = Consumo de água.

$$\frac{432,69}{432,89} : \frac{771}{432,69} : \frac{900,9}{432,69} : \frac{225}{432,69}$$

$$1 : 1,78 : 2,08 : 0,52$$

4.3.2 Elaboração do traço e moldagem dos corpos-de-prova

Para analisar o comportamento do concreto com a substituição parcial do agregado miúdo pela borracha de pneu inservível foi produzido o traço referência, como comparativo, e outros quatro traços foram com substituição de resíduo de pneu (borracha). Para uma pesquisa mais completa foi utilizado duas diferentes granulometrias e porcentagens. A porcentagem de substituição foi encontrada a partir do volume e não da massa, devido a massa específica da borracha de pneu ser inferior ao da areia, em seguida o volume foi convertido para massa. Baseando-se no traço definidos de acordo com o método da ABCP, foram encontrados os

demais traços unitários, em massa. Os traços resultantes são apresentados no Tabela 11 e detalhados da seguinte forma:

- Traço referência: traço sem nenhuma substituição de resíduo de borracha no agregado miúdo (areia);
- Borracha fina 5%: traço com substituição de 5% (volume) de borracha fina, retido pela peneira #1,18, no agregado miúdo;
- Borracha fina 10%: traço com substituição de 10% (volume) de borracha fina no agregado miúdo;
- Borracha média 5%: traço com substituição de 5% (volume) de borracha média, retido pela peneira #2,36, no agregado miúdo;
- Borracha média 10%: traço com substituição de 10% (volume) de borracha média no agregado miúdo.

Tabela 11 - Tabela dos traços unitários utilizados na pesquisa

Traço Unitário					
Traço	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Borracha (dm ³)	Brita (Kg)	Água (Kg)
Traço Referência	1	1,78	0	2,08	0,52
Borracha Fina 5%	1	1,69	0,055	2,08	0,52
Borracha Fina 10%	1	1,55	0,116	2,08	0,52
Borracha Média 5%	1	1,69	0,055	2,08	0,52
Borracha Média 10%	1	1,55	0,116	2,08	0,52

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Definido pela NBR 5738 ABNT, 2016, que regula a confecção dos corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos foram moldados 45 corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10x20cm, sendo 9 para cada traço, composto por 3 corpos-de-prova para ensaio de imersão, 3 para ensaio de compressão axial com 7 dias e 3 para ensaio de compressão axial para 28 dias e 15 corpos-de-prova prismáticos com dimensões de 15x15x50cm, sendo 3 para cada traço e para ensaio de flexão na tração. A seguir, as Figuras 10 e 11, mostram os corpos cilíndricos e os corpos prismáticos moldados, respectivamente. A moldagem compõe-se do seguinte processo:

- Os moldes e suas bases devem ser revestidos internamente com uma fina camada de óleo mineral ou outro lubrificante;
- A amostra deve ser recolhida enquanto o concreto está sendo retirado da betoneira;
- O concreto deve ser bem misturado para que fique homogêneo e sem vazios no interior, antes de ser colocado nos corpos-de-prova;

- O concreto é introduzido no molde em camadas aproximadamente iguais e adensadas utilizando a haste com ponta de semiesfera;
- Os números de camadas e golpes necessários é definido pelo Tabela 12, sendo os valores grifados utilizados nessa pesquisa;
- Os golpes devem ser distribuídos uniformemente em toda a seção transversal do molde, sem alcançar as camadas anteriores;
- Para fechamento de eventuais vazios, deve-se bater levemente na parte externa do molde;
- Após introduzir o concreto da forma pré-determinada é realizado o rasamento para eliminar o material em excesso;
- A moldagem não pode sofrer interrupção;
- A moldagem deve ser realizada próximo ao local onde os corpos-de-prova serão armazenados nas primeiras 24 horas, para corpos cilíndricos, e 48 horas, para corpos prismáticos, intervalo de tempo em que não poderão ser movimentados e que deverão ficar em local protegido e ser armazenados fora do alcance das intempéries;

Figura 10 – Corpo-de-prova cilíndrico



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 11 – Corpo-de-prova prismático



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Tabela 12 - Número de camadas e golpes para moldagem dos corpos-de-prova

Tipo do corpo-de-prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	0	0
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	0	0

Fonte: ABNT, 2015 (Adaptado).

4.3.3 Trabalhabilidade

A consistência do concreto foi analisada pelo abatimento do tronco cone, de acordo com a NBR NM 67 ABNT, 1998, como mostra a Figura 12, a seguir. O ensaio compõe-se do seguinte processo:

- Umedecer o molde (tronco cone) e a placa de base;
- Antes de colocar a massa no cone, firma-lo com os pés na base inferior, como mostra a Figura 13;
- Colocar a massa dentro do cone dividida em 3 camadas, a cada camada golpear 25 vezes com a haste metálica;
- Após golpear a última camada de massa firmar o cone com as mãos na base superior e retirar os pés da base inferior;
- Retirar verticalmente, devagar e uniformemente o cone e colocá-lo ao lado da massa que foi testada com a base de menor diâmetro virada para baixo;
- Em cima do cone, colocar a haste metálica horizontalmente e medir com a fita métrica o Slump.

Figura 12 - Abatimento do traço referência



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 13- Procedimento para realização do ensaio de abatimento



Fonte: Autoria Própria, 2019.

4.3.4 Testes de Resistência

4.3.4.1 Teste de resistência à compressão axial

A norma que determina o procedimento do ensaio de compressão axial no concreto é a NBR 5739 ABNT, 2018, que esclarece todas as técnicas necessárias para concluir os procedimentos. Como os testes foram feitos em laboratório, a máquina de ensaio foi de classe 1, que determina que o centróide do corpo cilíndrico deve estar no mesmo alinhamento do centróide da máquina, resultando em uma força que passe pelo centro e que haja uma aplicação de força contínua, satisfazendo os requisitos que a norma determina.

Esse tipo de teste é executado com o objetivo de apontar variações da qualidade e vida útil de um concreto, além de certificar a real resistência do traço e do esforço gerado. A sua resistência e desempenho pode ser exposta à riscos por diversos fatores, pois a sua estrutura é sujeita a alterações por mudanças climáticas e químicas, sendo assim necessário os ensaio em laboratório.

Os corpos-de-prova com concreto simples foram guardados em câmara úmida até a conclusão da cura (28 dias) e rompidos após a secagem, com excessão dos corpos-de-prova que

foram rompidos com 7 dias. Houveram alguns corpo-de-prova que não puderam ser rompidos com exatos 28 dias, devido ao problema com a prensa do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA que estava sendo utilizada para os testes. Estes testes foram realizados em outro local, na empresa ENGETEC localizada na cidade de Anápolis, estado de Goiás. As Figuras 14 e 15, mostram as prensas utilizadas para os ensaios mecânicos e manuais, respectivamente.

Figura 14 – Prensa mecânica utilizada para a realização dos ensaio de resistência



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 15 – Prensa manual utilizada para realização do ensaio à compressão axial



Fonte: Autorial Própria, 2019.

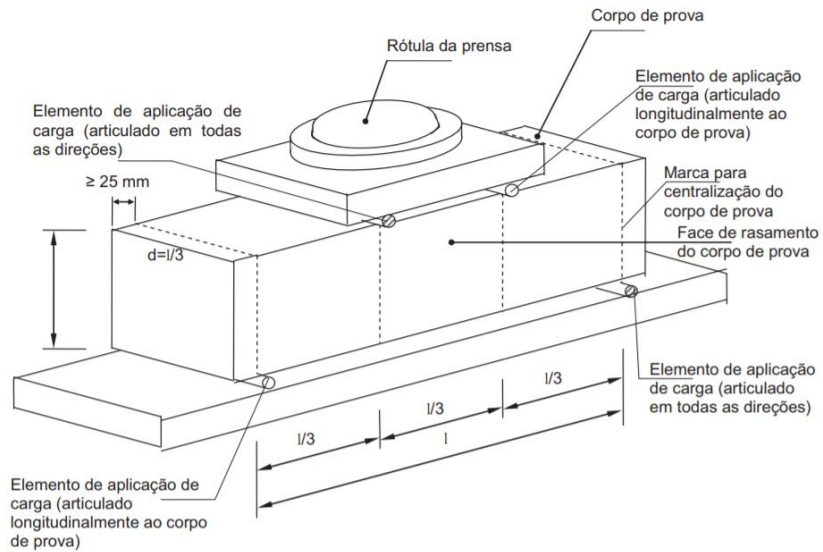
4.3.4.2 Teste de resistência à tração na flexão no concreto

A norma que determina o procedimento do ensaio de tração na flexão no concreto é a NBR 12142 ABNT, 2010, que esclarece todas as técnicas necessárias para concluir os procedimentos.

São detalhadas algumas aspectos da aparelhagem nos ensaios como a distância entre os apoios, a continuidade no momento da aplicação da força para evitar choques, a direção das reações que devem ser mantidas paralelas às reações da força durante o ensaio.

Os corpos-de-prova são a simulação de vigas simplesmente apoiadas e submetidas a duas forças concentradas nos terços do vão como apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Especificações dos corpos-de-prova prismáticos



Fonte: NBR 12142 ABNT, 2010.

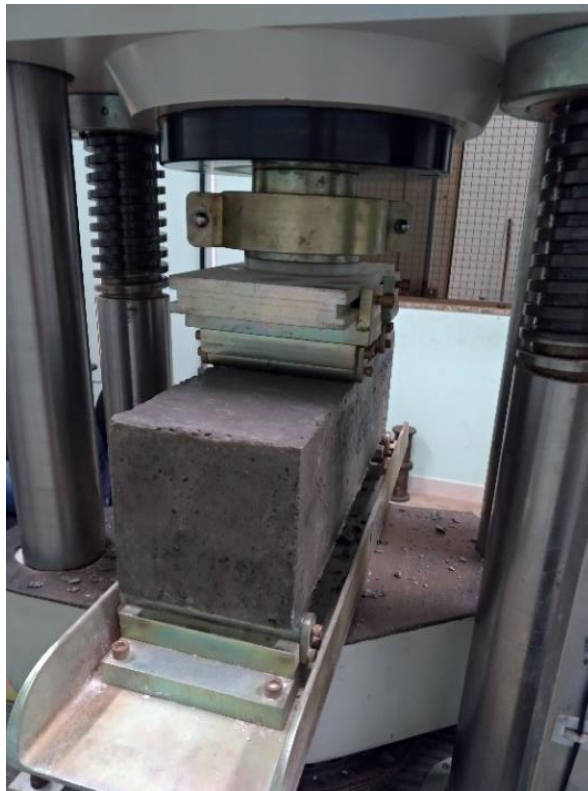
Os corpos-de-prova com concreto simples foram guardados em câmara úmida até a conclusão da cura (28 dias) e rompidos após a secagem. Houveram alguns corpo-de-prova que não puderam ser rompidos com exatos 28 dias, devido ao problema com a prensa do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA que estava sendo utilizada para os testes. Estes testes foram realizados em outro local, na empresa ENGETEC localizada na cidade de Anápolis, estado de Goiás. As Figuras 17 e 18, mostram as prensas utilizadas para os ensaios manuais e mecânicos, respectivamente.

Figura 17 - Prensa manual utilizada para ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 18 - Prensa mecânica utilizada para ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Autoria Própria, 2019.

4.3.5 Absorção por imersão, índice de vazios e massa específica seca e saturada

Os corpos-de-prova foram analisados, segundo a NBR 9778 ABNT, 2009, que descreve o procedimento do ensaio de determinação da absorção da água, através da imersão, do índice de vazios e massa específica da argamassa e concreto endurecido.

A determinação da absorção de água por imersão é encontrada pela Equação 7:

$$\frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo-de-prova saturado

M_s = massa do corpo-de-prova seco em estufa

A determinação do índice de vazios, que é a relação entre os volumes dos poros permeáveis e o volume total é encontra pela Equação 8:

$$\frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_{\text{sat}} - M_i} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

M_i = massa do corpo-de-prova saturado, imerso em água

Para determinar a saturação do corpo-de-prova é necessário a imersão em água à temperatura $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou permanência em água em ebulição por 5h precedida da imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$.

A determinação da massa específica da amostra seca é encontrada pela Equação 9:

$$\frac{M_s}{M_{\text{sat}} - M_i} \quad (9)$$

A determinação da massa específica da amostra saturada é encontrada pela Equação 10:

$$\frac{M_{\text{sat}}}{M_{\text{sat}} - M_i} \quad (10)$$

Para realização do ensaio segundo a norma é necessário três corpos-de-prova, moldados de acordo com a NBR 5738 ABNT, 2016, e livre de óleo mineral ou outro material utilizado na moldagem.

As etapas definidas pela norma são disposta da seguinte forma:

- Estabelecer a massa da amostra de ar;
- Secar o corpo-de-prova na estufa à temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ e anotar a massa após a pesagem em 24, 48 e 72 horas;
- Realizar a imersão das amostras em água à temperatura $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ por 72 horas, mergulhando o corpo-de-prova em parte, sendo 1/3 nas primeira 4 horas, 2/3 nas próximas 4 horas e total nas 64 horas restante. Anotar a massa em 24, 48 e 72 horas;
- Após a imersão do tempo total (72 horas), realizar a anotação do corpo-de-prova saturado, imerso em água.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 TRABALHABILIDADE

Foi verificado, através do auxílio da NBR NM 67 ABNT, 1998, os resultados do abatimento do concreto de todos os traços produzidos, presentes no Tabela 13. O registro fotográfico do ensaio está localizado no Apêndice A.

Tabela 13 - Abatimento do concreto

Amostras	Abatimento (mm)
Traço Referência	60
Borracha fina 5%	30
Borracha fina 10%	70
Borracha Média 5%	50
Borracha Média 10%	90

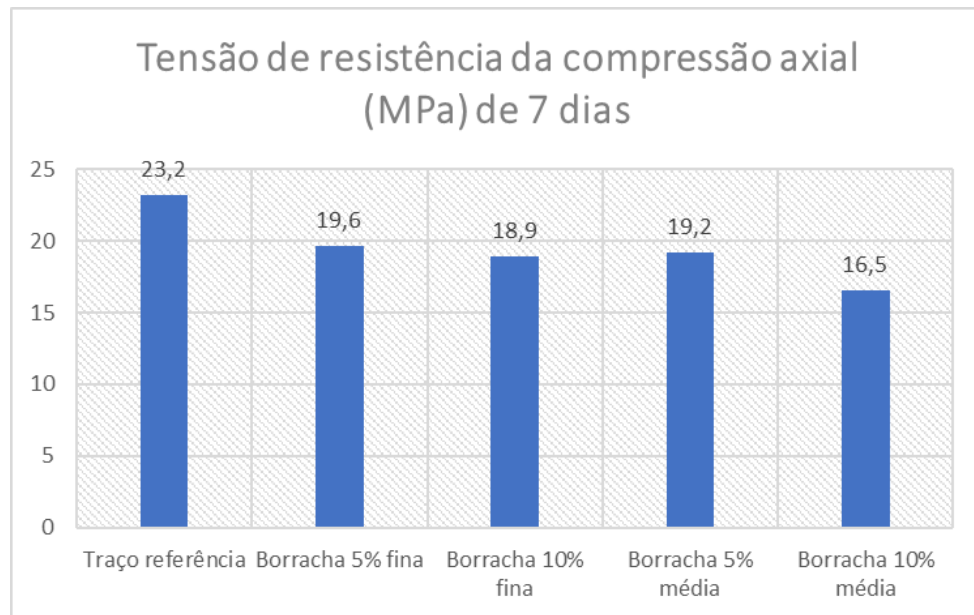
Fonte: Autoria Própria, 2019.

Analisando os resultados demonstrados no Tabela 13, pode-se observar que:

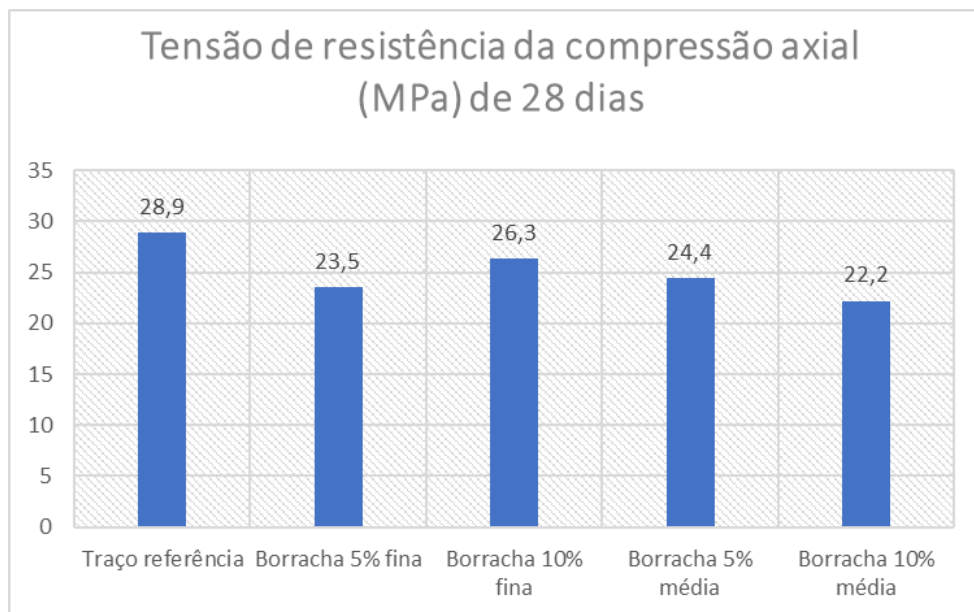
- O abatimento obtido no traço referencial está de acordo com o valor estipulado em sua produção segundo o método ABCP;
- Os traços com as maiores porcentagens de substituição do agregado miúdo apresentaram abatimentos maiores em comparação com o traço referencial;
- Os traços com as menores porcentagens de substituição do agregado miúdo apresentam abatimentos menores em comparação com o traço referencial;
- Observando as considerações, pode-se concluir que a porcentagem de substituição do agregado miúdo pela borracha tem influência direta na trabalhabilidade do concreto.

5.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Buscando propiciar um melhor nível de comparação visual entre os diferentes traços produzidos, os Gráficos 6 e 7 indicam os valores dos resultados de resistência à compressão de todos os traços, sendo que cada valor demonstrado representa o resultado da média de três corpos-de-prova.

Gráfico 6 - Tensão de resistência (MPa) - 7 dias

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Gráfico 7 - Tensão de resistência (MPa) - 28 dias

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Analisando os Gráficos 6 e 7, pode-se observar que:

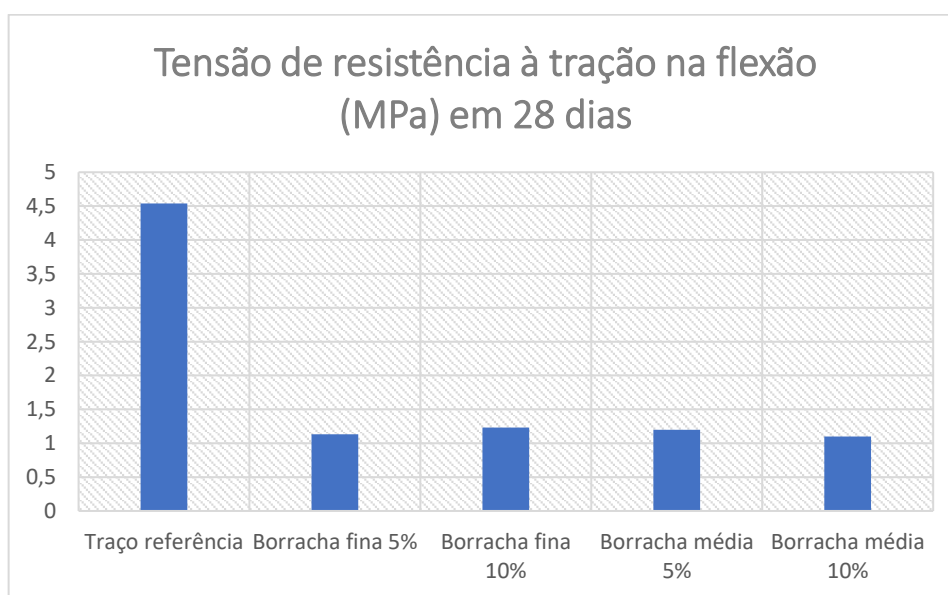
- Como já foi citado pela revisão bibliográfica, ocorreu a diminuição da resistência à compressão axial de todos os traços com a substituição parcial do agregado miúdo por borracha;

- Os concretos com 5% de substituição do agregado miúdo possuem resistências bastante próximas, sendo possível afirmar que a granulometria não possui influência significativa em sua resistência;
- Aos sete dias de idade, os corpos-de-prova com as maiores porcentagens de substituição do agregado miúdo possuem as menores resistências atingidas;
- Aos sete dias de idade, o traço referencial apresentou uma resistência à compressão axial quase 4 MPa acima do melhor resultado do concreto com borracha;
- A resistência alcançada pelo concreto com “10% de borracha média” foi bem baixa em relação ao traço referencial, chegando a 6,7 MPa, tanto aos sete dias de idade, quanto a vinte e oito dias de idade;
- Aos sete dias de idade, o traço com 5% de borracha fina obteve o melhor desempenho em relação aos demais traços com borracha em sua composição;
- Aos vinte e oito dias de idade, o traço com 10% de borracha fina obteve o melhor desempenho em relação aos demais traços com borracha em sua composição.

5.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os resultados dos ensaios de resistência à tração da flexão são apresentados no Gráfico 8, onde cada coluna representa a média das resistências obtidas de três corpos-de-prova.

Gráfico 8 - Tensão de resistência à tração na flexão (MPa) aos 28 dias



Fonte: Autoria própria, 2019.

Analisando o Gráfico 8, pode-se observar que:

- A diferença de resistência atingida pelo traço referencial foi bastante significativa em relação aos concretos com borracha;
- Não houve muita variação na resistência dos corpos-de-prova com borracha, podendo concluir que a granulometria não possui uma influência relevante nos resultados;
- Como já foi citado no referencial teórico, o concreto possui baixa resistência à tração, característica que diminuiu mais ainda com a substituição do agregado miúdo por borracha.

5.4 ABSORÇÃO POR IMERSÃO

Para melhor compreensão, foi elaborada a Tabela 14, onde verifica-se as massas dos corpos-de-prova em seu estado seco, com 24, 48 e 72 horas de imersão, respectivamente. Os valores apresentados na tabela representam a média das massas de três corpos-de-prova.

Tabela 14 - Massa das amostras em gramas

Amostra	Peso em Gramas			
	Seco	24H	48H	72H
Traço referencial	3.650,67	3.690,67	3.698,00	3.703,67
5% borracha fina	3.610,67	3.667,33	3.675,00	3.679,67
10% borracha fina	3.596,00	3.630,67	3.635,67	3.640,33
5% borracha média	3.642,33	3.691,00	3.696,33	3.701,00
10% borracha média	3.585,67	3.649,00	3.654,33	3.658,67

Fonte: Autoria própria, 2019.

Observando a Tabela 14, e com o auxílio dos itens especificados pela NBR 9778 ABNT, 2009 foram obtidos os seguintes resultados para determinação de absorção de água por imersão.

Tabela 15 - Índice de absorção

Amostra	Índice de absorção de água por imersão
Traço referencial	1,45
5% borracha fina	1,91
10% borracha fina	1,22
5% borracha média	1,61
10% borracha média	20,1

Fonte: Autoria própria, 2019.

Analisando a Tabela 15, com os resultados obtidos, pode-se observar:

- O traço com 10% de borracha fina obteve o melhor índice de absorção de água dentre todos os concretos produzidos;
- A diferença dos índices de absorção entre os traços com 5% e 10% de substituição do agregado miúdo mostra que a granulometria tem influência direta na obtenção dos resultados;
- Todos os traços, exceto o concreto com 10% de borracha fina, obtiveram índices de absorção de água maiores que o traço referencial.
- Pode-se concluir que, apesar do traço com 10% de borracha fina apresentar um índice menor, os demais traços apresentaram um aumento na absorção de água do concreto

5.5 ÍNDICE DE VAZIOS

Esse ensaio permite observar a relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total. Assim, a Tabela 16 apresenta os valores encontrados para cada traço do concreto imerso e pesado por balança hidrostática, assim como é especificado pela NBR 9778 ABNT, 2009. Os resultados expostos representam a média de três corpos-de-prova.

Tabela 16 - Média das massas dos corpos-de-prova imersos

Amostra	Massa do corpo-de-prova imerso
Traço referencial	2.058
5% borracha fina	2011,33
10% borracha fina	1986,33
5% borracha média	2034,67
10% borracha média	2022,67

Fonte: Autoria própria, 2019.

Observando a Tabela 16, e com o auxílio da NBR 9778 ABNT, 2009, obteve-se os resultados relacionado ao índice de vazios de cada traço de concreto produzido, sendo estes apresentados na Tabela 17 abaixo:

Tabela 17 - Índice de vazios

Amostra	Índice de Vazios
Traço referencial	3,22
5% borracha fina	4,13
10% borracha fina	2,68
5% borracha média	3,52
10% borracha média	4,46

Fonte: Autoria própria, 2019.

Analisando a Tabela 17, pode-se concluir que:

- Com exceção do concreto com 10% de borracha fina, os demais traços obtiveram valores superiores ao traço referencial;
- O concreto com 10% de borracha média alcançou o maior índice de vazios;
- A diferença dos índices de vazios obtidas para os traços com 5% e 10% de substituição do agregado miúdo, mostra que a granulometria tem influência direta na obtenção dos resultados.

5.6 MASSA ESPECÍFICA SECA E SATURADA

Através do auxílio da NBR 9778 ABNT, 2009, foi possível determinar a massa específica seca e também a massa específica dos corpos-de-prova. Na Tabela 18, estão contidos os resultados obtidos no ensaio. Os cálculos foram realizados utilizando a média dos valores encontrados em três corpos-de-prova de cada traço do concreto.

Tabela 18 - Determinação de massa específica seca e massa específica saturada

Amostra	Massa Específica Seca	Massa Específica saturada
Traço referencial	2,22	2,25
5% borracha fina	2,16	2,2
10% borracha fina	2,17	2,2
5% borracha média	2,18	2,22
10% borracha média	2,19	2,24

Fonte: Autoria própria, 2019.

Analisando a Tabela 18, pode-se observar:

- Os traços com 5% e 10% de borracha fina obtiveram a mesma massa específica saturada;

- A maior diferença entre a massa específica seca e massa específica saturada ocorre no concreto com 5% de borracha fina;
- Nos traços do concreto onde há presença de borracha, não há uma grande variação da massa específica saturada;
- Todos os traços com a presença de borracha obtiveram valores de massa específica seca e de massa específica saturada inferiores ao traço referencial do concreto;

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como propósito estudar a viabilidade da aplicação de resíduos de borracha de pneus inservíveis na fabricação de concretos convencionais para fins estruturais, buscando resultados satisfatórios de resistência à compressão, e ainda analisando seu desenvolvimento quanto à trabalhabilidade, resistência à tração na flexão, massa específica seca, massa específica saturada, índice de vazios e absorção de água por imersão. Com o objetivo de colaborar com o desenvolvimento sustentável e também o aperfeiçoamento do concreto com a utilização de um material bastante abundante atualmente e que possui seu descarte, na maioria das vezes, inadequado.

As considerações expostas foram elaboradas de acordo com os resultados alcançados no programa experimental. Porém as inúmeras possibilidades de combinação entre os métodos de aplicação, características e quantidades dos materiais não são desenvolvidas nessas considerações, assim sendo necessário o desenvolvimento de mais pesquisas a respeito deste tema.

A substituição do agregado miúdo, em volume, por resíduos de borracha de pneu inservível acarreta na redução da resistência à compressão do concreto. Aos sete dias de idade, com exceção do traço desenvolvido com 10% de borracha média, onde foi alcançado uma resistência à compressão bem inferior em relação ao traço referencial, todos os traços desenvolvidos com a utilização de borracha alcançaram resultados próximos, porém aos 28 dias somente o traço com 10% de borracha fina obteve um valor satisfatório, acima de 25MPa juntamente com o traço referencial, como preconiza a NBR 6118 ABNT, 2014. De outro modo, todos os traços desenvolvidos com borracha apresentaram uma melhor qualidade em relação a ruptura, sem que houvesse um grande despedaçamento do concreto.

Com relação a trabalhabilidade, foi possível constatar que a presença de resíduos de pneu no traço possui efeitos positivos e negativos. O ensaio do tronco de cone revelou que tanto a granulometria quanto a porcentagem substituída influenciam na trabalhabilidade, sendo que os maiores valores alcançados foram com as maiores substituições e com a maior granulometria.

Quanto a absorção de água, apenas o traço com a presença de 10% de borracha fina obteve o resultado inferior ao traço referencial, enquanto os demais traços obtiveram valores acima, podendo concluir que a substituição do agregado miúdo pela borracha aumenta, mesmo que não seja em valores elevados, a absorção de água no concreto.

Com relação ao índice de vazios, é possível concluir que a sua porcentagem aumenta quando houve a substituição parcial do agregado miúdo, exceto no traço desenvolvido com 10% de borracha fina.

Com relação à massa específica seca e massa específica saturada, pode-se concluir que a presença das fibras de borracha de pneu não altera de forma significativa, pois os resultados obtidos foram bastante próximos ao do traço referencial.

Conclui-se que o concreto com fibras de borracha de pneus inservíveis não é recomendado para aplicação em elementos estruturais, pois os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão e nos demais ensaios obtiveram resultados inferiores ao do concreto convencional. Porém sua utilização pode ser positiva em diversas outras áreas da construção civil, como calçadas, muros de contenção, bancos de praça, estradas entre outros elementos não estruturais, visto que o concreto com resíduos de borracha apresenta uma capacidade de romper sem que haja uma ampla fragmentação.

6.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Abaixo são apresentadas algumas sugestões para pesquisas futuras sobre o tema estudado:

- Avaliação do comportamento acústico do concreto com a presença de fibras de borracha de pneu;
- Estudo do módulo de elasticidade de concretos com a presença de fibras de borracha de pneu;
- Estudo do concreto com resíduos de pneu através de outros métodos de dosagem;
- Realização do estudo do concreto com a variação dos materiais empregados em sua fabricação, como aglomerante e agregados;
- Elaboração do estudo das características das fibras de borracha de pneu para seu uso mais adequado na dosagem do concreto e, assim, seu melhor aproveitamento em elementos na construção civil.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **Projetos de estruturas de concreto – Procedimento: NBR 6118**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central — Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 11578**: Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 15900**: Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de- prova. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 7680**: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 33**: Concreto - Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998.

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

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção da água. Rio de Janeiro, 2009.

ANIP. **A Fabricação do Pneu.** Disponível em: <<http://www.anip.org.br/fabricacao/>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

ALBUQUERQUE, Albéria Cavalcante de. **Estudo das propriedades de concreto massa com adição de partículas de borracha de pneu.** 2009. 259 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ALBUQUERQUE, Alexandre Serpa. Agregados. In: BAUER, L.a. Falcão. **Materiais de Construção.** Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos, 2000. p. 63-120.

ANDRADE, Hered de Souza. **Pneus inservíveis: alternativas possíveis de reutilização.** 2007. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <http://tcc.bu.ufsc.br/Economia293475.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2018.

BAUER, L.a. Falcão; NORONHA, M.a. Azevedo. Estudo De Dosagem. In: BAUER, L.a. Falcão. **Materiais de Construção.** Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos, 2010. p. 186-239.

BOAVENTURA, Márcio Carneiro. **Avaliação da Resistência à Compressão de Concretos Produzidos com Resíduos de Pneus.** 2011. - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). **Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoções de políticas públicas.** Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel>. Acesso em: 17 abr. 2019.

CERATTI, Jorge Augusto Pereira. Materiais betuminosos. In: ISAIA, Geraldo C. **Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: Ibracon, 2010. p. 1359.

CIMINO, Marly Alvares. **Gerenciamento de pneumáticos inservíveis: análise crítica de procedimentos operacionais e tecnologias para minimização, adotados no território nacional.** 2004. 192 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia, Universidade de Federal de São Carlos, São Carlos, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4253/DissMAC.pdf?sequence=1>. Acesso em: 23 nov. 2018.

CINCOTTO, M. A. **Utilização de Subprodutos e Resíduos na Indústria da Construção Civil.** Tecnologia das Edificações. São Paulo: Editora Pini Ltda, 1998, p.23-26.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM . **Fichas técnicas > pneus.** Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/7/pneus>. Acesso em: 21 nov. 2018.

FERREIRA, Aleixinho Angola; FARIA JUNIOR, Cleonir Andrade. Potencial de utilização de borracha de pneus inservíveis como agregado na produção de concreto não estrutural. In: JORNADA DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 5., 2015, Tangará da Serra. **Anais...**. Tangará da Serra: Unic, 2015. p. 1 - 16. Disponível em: <file:///C:/Users/Administrador/Downloads/24028.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2018.

FRANÇA, Valério Henrique et al. Concreto com utilização de borracha residual de pneus. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1., 2004, São Paulo. **Anais...**. São Paulo: Antac, 2004. p. 1 - 12. Disponível em: <file:///C:/Users/Administrador/Downloads/PAP0638d.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2018.

GERSCOVICH, Denise M S. **Estrutura de contenção: Muro de Arrimo**. 2010. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2018.

GIACOBBE, Silva; FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto de Cimento Portland com borracha de pneus**. 2008. 17 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Usp, São Paulo, 2008. Disponível em: http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00513.pdf. Acesso em: 25 nov. 2018.

GRECA Asfaltos. **Linha ecoflex pave**. Disponível em: http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/13_estudo_ecoflex_2009.pdf. Acesso em: 27 nov. 2018.

HANAI, João Bento de. Diagnóstico dos Centros de P&D na Área de Concreto. São Paulo, **Revista Concreto**, Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON, n. 40, ano XXXIII, Set.Out.Nov.,2005. P 36-44.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010.

HELENE, Paulo. **Dosagem do Concreto de Cimento Portland**. In: ISAIA, G. C. (ed.). CONCRETO. Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro de Concreto IBRACON. 2005, p. 439-472.

KAMIMURA, E. **Potencial de Utilização dos Resíduos de Borracha de Pneus pela Indústria da Construção Civil**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/Sc, 2002.

SINDIPNEUS. **MANUAL TWI: INFORMAÇÕES TÉCNICAS SOBRE PNEUS**. Minas Gerais: Sindipneus, 2012.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística Reversa: Meio ambiente e competitividade**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LEVY, Salomon Mony. Materiais Reciclados na Construção Civil. In: ISAIA, Geraldo C. **Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2010. p. 1712.

MARQUES FILHO, J. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. Prefácio. 2ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2010. 2v.

MARTINS, Israel Rodrigo de Freitas. **Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha**. 2005. 149 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91486/martins_irf_me_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 23 nov. 2018.

MIKHAILOVA, Irina. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Economia e Desenvolvimento**, [S.l.], jul. 2011. ISSN 2595-833X. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/eed/article/view/3442>. Acesso em: 26 nov. 2018

MAIS, Oeste. **Ponteserradense constrói muro utilizando apenas pneus velhos**. 2015. Disponível em: <https://www.oestemais.com.br/geral/ponteserradense-constroiu-muro-utilizando-apenas-pneus-velhos/>. Acesso em: 25 nov. 2018.

OLIVEIRA, Hélio Martins de. Cimento Portland. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos, 2000. p. 35-60.

OLIVEIRA, Hélio Martins de. Propriedades do Concreto Endurecido. In: BAUER, L.a. Falcão. **Materiais de Construção**. 9. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos, 2012. Cap. 10. p. 284-313.

PEREIRA, F. R. et al. **Marketing ambiental**: uma ferramenta empresarial estratégica. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://revistaconexao.aems.edu.br/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=1208>. Acesso em: 27 nov. 2018.

PETRUCCI, Eladio G. R.. Borracha. In: PETRUCCI, Eladio G. R.. **Materiais de Construção Civil**. Porto Alegre: Globo, 1979. p. 412-419.

PETRUCCI, Eladio G. R. Propriedades do Concreto Fresco. In: PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 9. ed. Porto Alegre: Globo, 1982. p. 81-94.

RESENDE, Eduardo Lima. **Canal de distribuição reverso na reciclagem de pneu**: estudo de caso. 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=5284@1. Acesso em: 27 nov. 2018.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de Dosagem de concreto**. ET-67. 3 ed. São Paulo: IBRACON – Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS SBRT. **Reciclagem e reutilização do pneu**. 2006. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/acessoRT/2358>. Acesso em: 27 nov. 2018.

SINDIPNEUS. **O pneu, composição e estrutura**. Disponível em: http://www.vias-seguras.com/veiculos/pneumaticos/manual_twi_informacoes_tecnicas_sobre_pneus/o_pneu_composicao_e_estrutura. Acesso em: 23 nov. 2018.

SINPEC. **História do Pneu**. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/sinpec/sobre-o-sinpec/historia-do-pneu/>. Acesso em: 23 nov. 2018.

SOBRAL, Ermani Sávio. Propriedades do Concreto Fresco. In: BAUER, L.a. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos, 2012. Cap. 9. p. 267-283.

VOTORANTIM. **Traço de concreto: A Importância do Controle de Água**. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/traco-de-concreto-a-importancia-do-controle-de-agua>. Acesso em: 27 nov. 2018.

Figura 19 - Traço referencial - Ensaio de Abatimento



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 20 - Borracha fina 5% - Ensaio de Abatimento



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 21 - Borracha fina 10% - Ensaio de Abatimento



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 22 - Borracha média 5% - Ensaio de Abatimento



Fonte: Autoria própria, 2019.

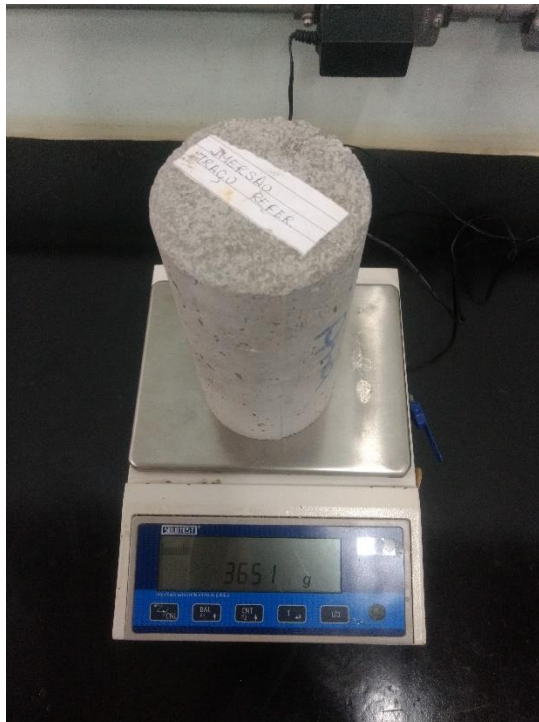
Figura 23 - Borracha média 10% - Ensaio de Abatimento



Fonte: Aatoria própria, 2019.

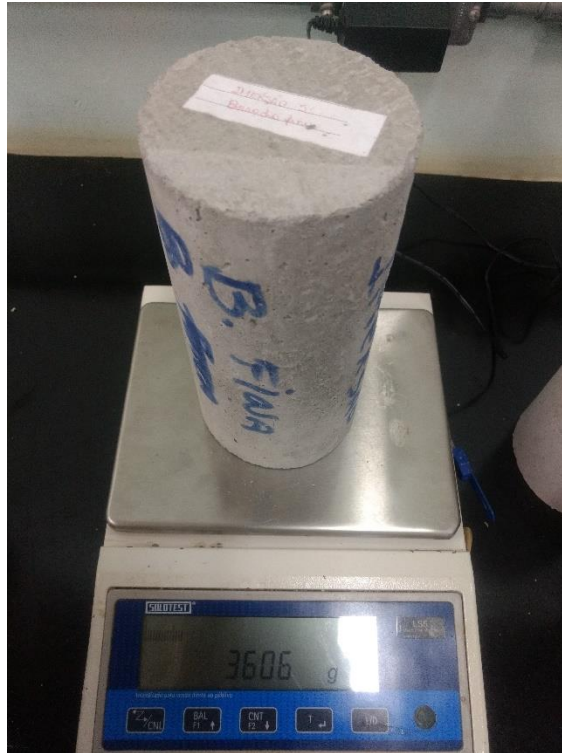
APÊNDICE B – Registro fotográfico do ensaio para determinação do índice de absorção de água, índice de vazios e massa específica

Figura 24 - Traço referencial seco



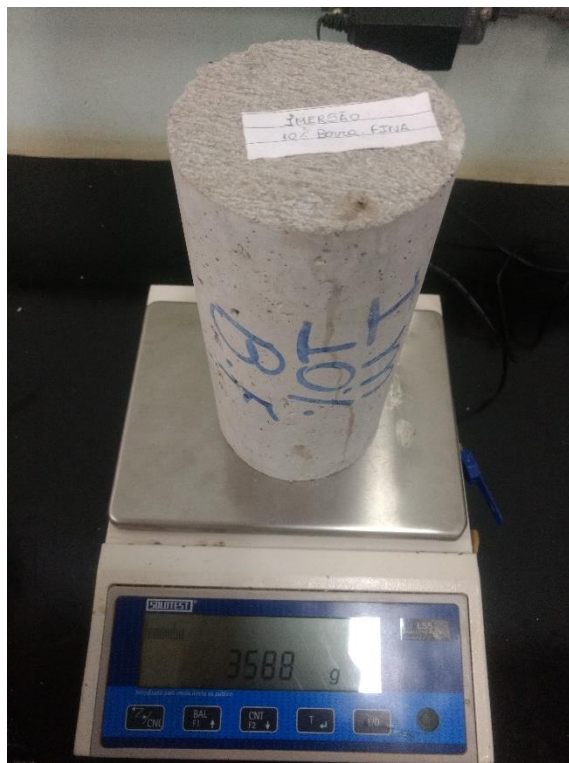
Fonte: Aatoria própria, 2019.

Figura 25 - Traço seco com 5% de borracha fina



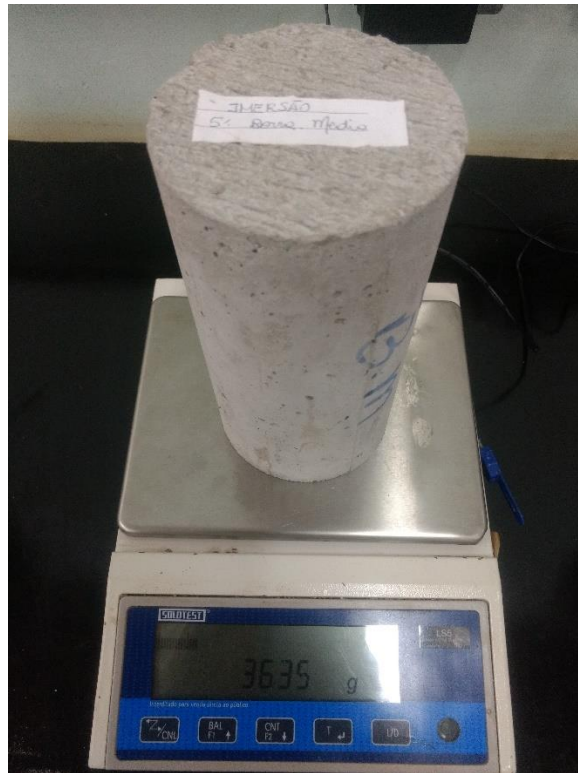
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 26 - Traço seco com 10% de borracha fina



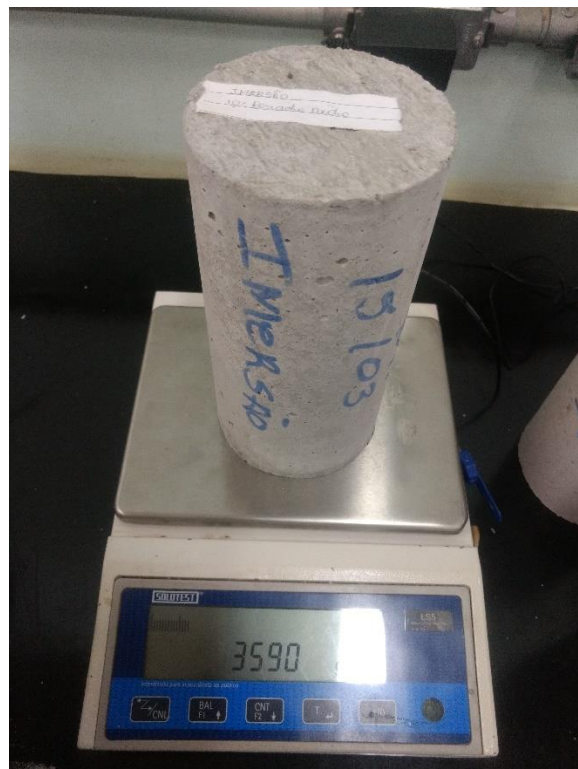
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 27 - Traço seco com 5% de borracha média



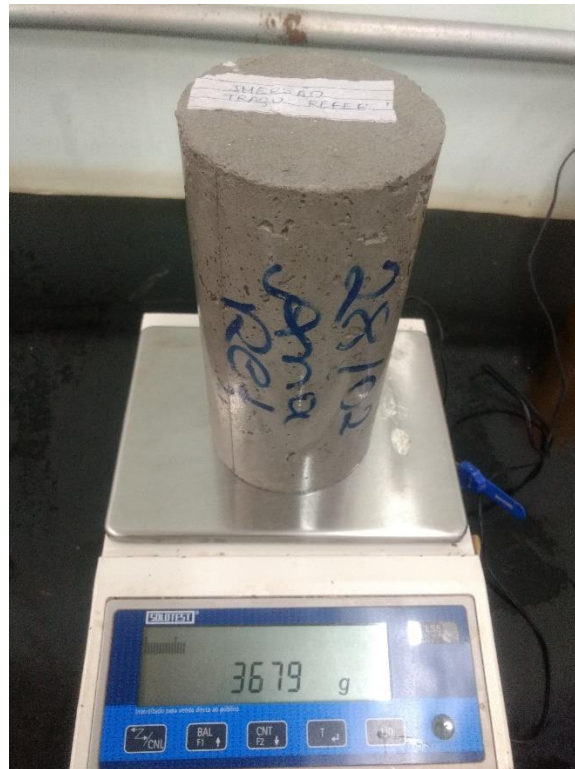
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 28 - Traço seco com 10% de borracha média



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 29 - Traço referencial com 24h de imersão



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 30 - Traço com 5% de borracha fina com 24h de imersão



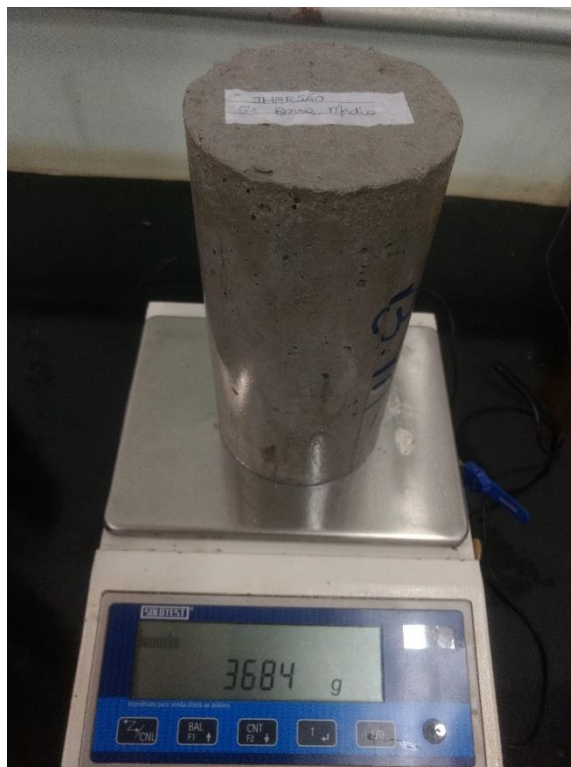
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 31 - Traço com 10% de borracha fina com 24h de imersão



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 32 - Traço com 5% de borracha média com 24h de imersão



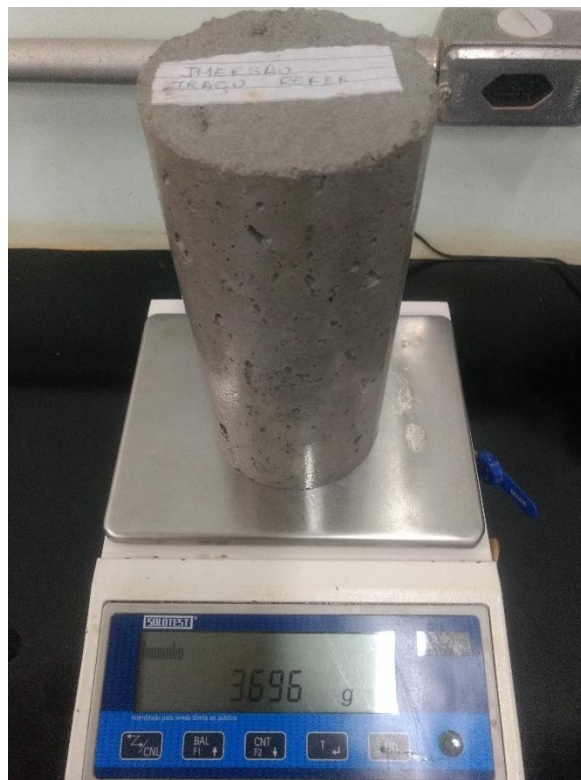
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 33 - Traço com 10% de borracha média com 24h de imersão



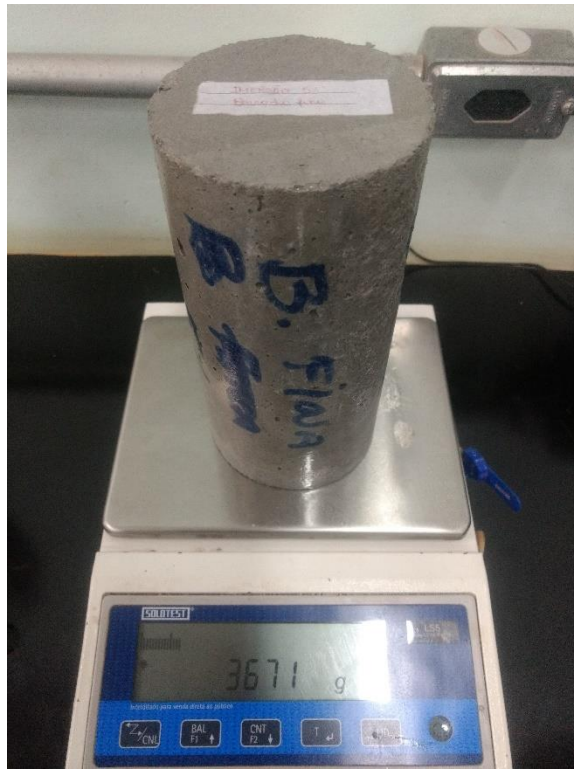
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 34 - Traço referencial com 48h de imersão



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 35 - Traço com 5% de borracha fina com 48h de imersão



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 36 - Traço com 10% de borracha fina com 48h de imersão



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 37 - Traço com 5% de borracha média com 48h de imersão



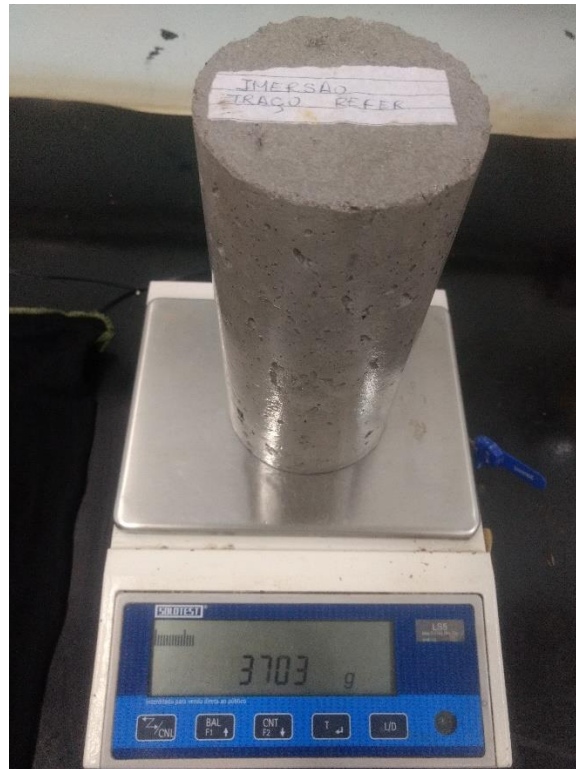
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 38 - Traço com 10% de borracha média com 48h de imersão



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 39 - Traço referencial com 72h de imersão



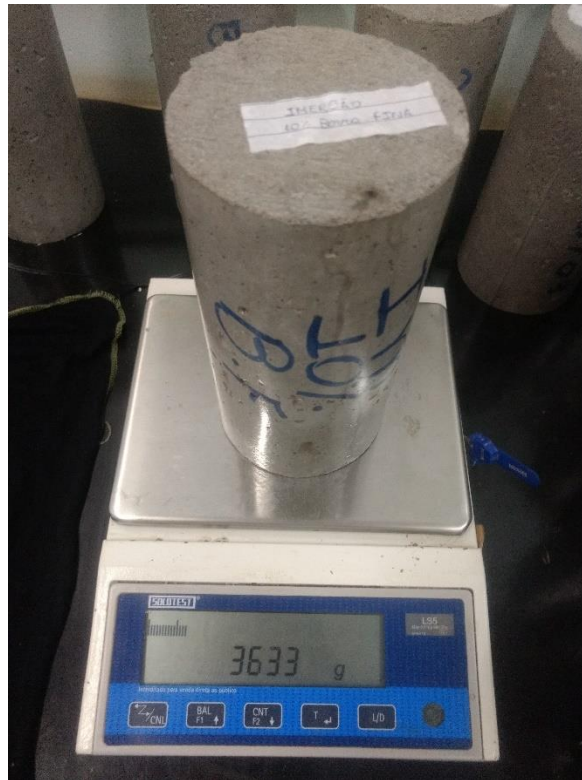
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 40 - Traço com 5% de borracha fina com 72h de imersão



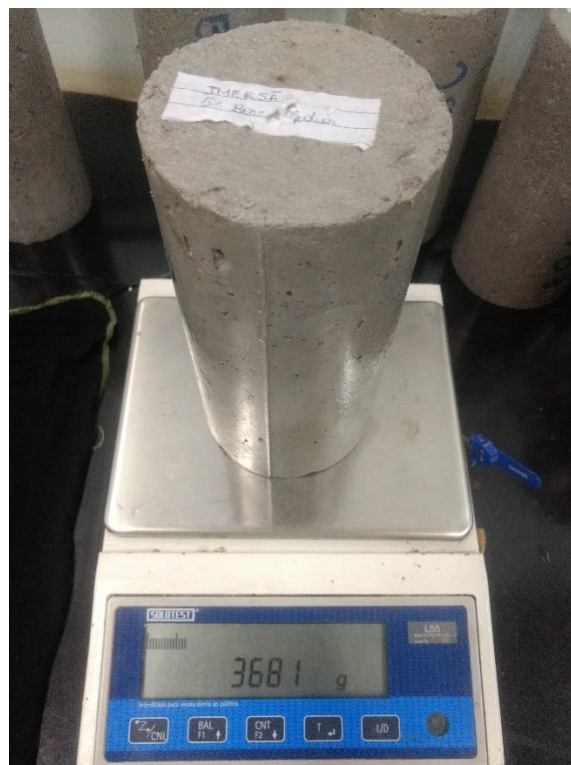
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 41 - Traço com 10% de borracha fina com 72h de imersão



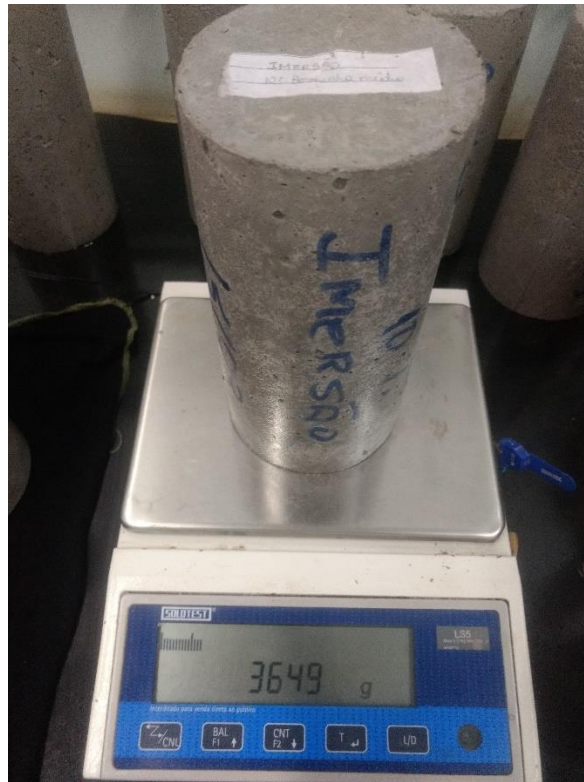
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 42 - Traço com 5% de borracha média com 72h de imersão



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 43 - Traço com 10% de borracha média com 72h de imersão



Fonte: Autoria própria, 2019.