



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

**ALINE GABRIELY BEZERRA DE SOUZA**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA PRODUZIDA COM ADIÇÃO  
DO RESÍDUO DA BORRACHA DE PNEU TRITURADO**

**MACAPÁ**

**2019**

**ALINE GABRIELY BEZERRA DE SOUZA**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA PRODUZIDA COM ADIÇÃO  
DO RESÍDUO DA BORRACHA DE PNEU TRITURADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Construção de Edifícios do Instituto Federal do Amapá, Campus Macapá, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo.  
Orientador: Prof. Me. Leila Cristina Nunes Ribeiro

**MACAPÁ  
2019**

# ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA PRODUZIDA COM ADIÇÃO DO RESÍDUO DA BORRACHA DE PNEU

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Construção de Edifícios do Instituto Federal do Amapá, Campus Macapá, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo.  
Orientador: Prof. Me. Leila Cristina Nunes Ribeiro

## BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. Leila Cristina Nunes Ribeiro

---

Prof. Me. Sandro Ferreira Barreto

---

Prof. Me. Ruan Fabrício Gonçalves Moraes

Aprovada (o) em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nota: \_\_\_\_\_

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

691.5  
S729e

Souza, Aline Gabriely Bezerra de.

Análise das propriedades da argamassa produzida com adição do resíduo da borracha de pneu triturado / Aline Gabriely Bezerra de Souza – Macapá, 2019.

49 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá, Curso de Tecnologia em Construção de Edifícios, 2019.

Orientador: Ma. Leila Cristina Nunes Ribeiro

1. Argamassa. 2. Pneu triturado - resíduos. 3. Sustentabilidade ambiental. I. Ribeiro, Leila Cristina Nunes, orient. II. Título.

---

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por tudo que conquistei nesta caminhada com muito esforço e dedicação. A minha mãe, pela dedicação e amor incondicional. A meu pai, que me ensinou através de exemplos valores como ética, honestidade, autoconfiança e determinação. Esses são os verdadeiros responsáveis pela minha formação como pessoa, sempre me inspirando a me superar a cada dia. A minha filha Maria Sofia por me motivar a buscar uma nova profissão para dar uma vida melhor a ela. Aos meus irmãos agradeço pelo companheirismo e cumplicidade. Aos técnicos de laboratório José Ribeiro, Rômulo Pires e a minha amiga Rosangela Sampaio pela ajuda na realização dos ensaios, a Professora Leila Ribeiro, pelas orientações, ensinamentos e conselhos que contribuíram para minha formação acadêmica. Aos meus colegas de classe, agradeço pelos momentos vividos nesses três anos e meio de muita luta e estudo, os quais sempre estarão presentes em meu coração. Agradeço ainda, ao Diretor do Campus Macapá, Professor Márcio Prado, que contribuiu na compra de material para a execução desta pesquisa e ao IFAP por ceder o laboratório para realização dos ensaios e me proporcionar um ensino de qualidade.

## RESUMO

A grande quantidade de pneus descartados em nosso país tem motivado propostas de ações que diminuam os impactos ambientais e a execução de pesquisas sobre métodos prováveis de como podem ser reaproveitados. O objetivo deste trabalho é fazer o reaproveitamento do pneu triturado a partir do resíduo da borracha, inserindo-o na pasta de argamassa substituindo, parcialmente, o agregado miúdo para ser feita análises de suas propriedades, para então ser classificada e como poderá ser utilizada na indústria da construção civil. Para isso, foram realizados alguns ensaios como o índice de consistência, absorção de água por capilaridade, compressão axial, além do ensaio de ultrassom em corpos-de-prova de referência, com 10%, 20% e 30% de resíduo. No ensaio de compressão axial aos 28 dias de cura, para traço 1:4, a argamassa sem adição de borracha, teve resistência, em média, 13,5 MPa e, enquanto que com adição de borracha para cada traço, obteve-se os valores de 6,24 MPa para com 10%, 2,65 MPa para com 20% e 0,66 MPa para com 30%, havendo uma diminuição da resistência. Desse modo, mesmo com a queda da resistência, em relação a uma argamassa convencional de areia e cimento, não podemos descartar a utilização da mesma na construção civil, pois esse não é o único requisito necessário para definir a aplicabilidade desta argamassa com adição do resíduo da borracha.

Palavras-Chave: Argamassa. Propriedades. Resíduo de borracha de pneu triturado.

## ABSTRACT

The large amount of discarded tires in our country has motivated proposals for actions that reduce environmental impacts and the execution of research on probable methods of how they can be reused. The objective of this work is to reuse the crushed tire from the rubber residue, inserting it in the mortar paste, partially replacing the fine aggregate for analysis of its properties, to then be classified and how it can be used in construction industry. For this, some tests were carried out, such as the consistency index, water absorption by capillarity, axial compression, in addition to the ultrasound test on reference specimens, with 10%, 20% and 30% residue. In the axial compression test at 28 days of curing, for the 1: 4 line, the mortar without the addition of rubber had resistance, on average, 13.5 MPa and, while with the addition of rubber for each line, the values of 6.24 MPa for 10%, 2.65 MPa for 20% and 0.66 MPa for 30%, with a decrease in strength. Thus, even with the drop in resistance, in relation to a conventional sand and cement mortar, we cannot rule out its use in civil construction, as this is not the only necessary requirement to define the applicability of this mortar with the addition of the residue of rubber.

Key words: Mortar. Properties. Crushed tire rubber residue.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferentes alternativas de revestimento de parede	17
Figura 2 – Estrutura de um pneu radial	19
Figura 3 – Triturador de Pneu e Borracha	20
Figura 4 – Ensaio de Massa Específica da Areia pelo frasco de Chapman	27
Figura 5 – Ensaio de Massa Específica da Borracha de Pneu Triturado pelo frasco de Chapman	28
Figura 6 – Mesa para Índice de Consistência com argamassa após a última queda	29
Figura 7 – Corpos-de-prova moldado	29
Figura 8 – Corpos-de-prova desmoldados	30
Figura 9 – Ensaio de compressão axial	30
Figura 10 – EMIC	31
Figura 11 – Corpos-de-prova sendo posicionados sobre suportes	32
Figura 12 – Corpos-de-prova marcados a 5 mm	32
Figura 13 – Pesagem dos corpos-de-prova	33
Figura 14 – Aparelho de Ultrassom Pundit Lab	34
Figura 15 – Calibração dos emissores/receptores	34
Figura 16 – Corpos-de-prova rompidos aos 7 dias de cura	37
Figura 17 – Velocidade de Propagação das Ondas Longitudinais	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das argamassas segundo suas funções na construção	15
Tabela 2 – Especificações do CP II F-32 segundo a ABNT	22
Tabela 3 – Quantificação de materiais para 15 corpos-de-prova para cada traço	24
Tabela 4 – Resultados do peneiramento da areia	25
Tabela 5 – Resultados do peneiramento da borracha de pneu triturado	26
Tabela 6 – Resultados dos Índices de Consistência	35
Tabela 7 – Resultados da absorção de água por capilaridade após 3h (em g/cm <sup>2</sup> )	39
Tabela 8 – Resultados da absorção de água por capilaridade após 6h (em g/cm <sup>2</sup> )	40
Tabela 9 – Resultados da absorção de água por capilaridade após 24h (em g/cm <sup>2</sup> )	41
Tabela 10 – Resultados da absorção de água por capilaridade após 48h (em g/cm <sup>2</sup> )	42

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva Granulométrica da Areia	25
Gráfico 2 – Curva Granulométrica da Borracha de Pneu Triturado	26
Gráfico 3 – Resultados da resistência à compressão axial aos 7 dias de idade do traço de referência (MPa)	36
Gráfico 4 – Resultados da resistência à compressão axial aos 7 dias de idade do traço com 10% de substituição da areia pelo resíduo (MPa)	36
Gráfico 5 – Resultados da resistência à compressão axial aos 7 dias de idade do traço com 20% de substituição da areia pelo resíduo (MPa)	36
Gráfico 6 – Resultados da resistência à compressão axial aos 7 dias de idade do traço com 30% de substituição da areia pelo resíduo (MPa)	36
Gráfico 7 – Resultados da resistência à compressão axial aos 28 dias de idade do traço de referência (MPa)	38
Gráfico 8 – Resultados da resistência à compressão axial aos 28 dias de idade do traço com 10% de substituição da areia pelo resíduo (MPa)	38
Gráfico 9 – Resultados da resistência à compressão axial aos 28 dias de idade do traço com 20% de substituição da areia pelo resíduo (MPa)	38
Gráfico 10 – Resultados da resistência à compressão axial aos 28 dias de idade do traço com 30% de substituição da areia pelo resíduo (MPa)	38
Gráfico 11 – Comparativo dos resultados da resistência à compressão axial aos 28 dias de todos os traços	39
Gráfico 12 – Média da Absorção de água por capilaridade após 3h do início (em g/cm <sup>2</sup> )	40
Gráfico 13 – Média da Absorção de água por capilaridade após 6h do início (em g/cm <sup>2</sup> )	41
Gráfico 14 – Média da Absorção de água por capilaridade após 24h do início (em g/cm <sup>2</sup> )	42
Gráfico 15 – Média da Absorção de água por capilaridade após 48h do início (em g/cm <sup>2</sup> )	42
Gráfico 16 – Média da Absorção de água por capilaridade	44
Gráfico 17 – Média da Velocidade Ultrassônica	45

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Argamassa</b>	<b>15</b>
3.1.1	Classificação das argamassas	15
3.1.2	Definição	16
3.1.2.1	Argamassa de assentamento de alvenaria	16
3.1.2.2	Argamassa de revestimento	16
3.1.3	Funções e propriedades	18
<b>3.2</b>	<b>O pneu</b>	<b>18</b>
3.2.1	Composição do Pneu	18
<b>3.3</b>	<b>Da sustentabilidade ambiental</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E TRAÇO</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Areia</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Cimento Portland CII – F32</b>	<b>22</b>
<b>4.3</b>	<b>Água</b>	<b>23</b>
<b>4.4</b>	<b>Resíduo da borracha de pneu</b>	<b>23</b>
<b>4.5</b>	<b>O traço</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS</b>	<b>24</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise granulométrica e massa específica dos agregados</b>	<b>24</b>
<b>5.2</b>	<b>Determinação do índice de consistência da argamassa</b>	<b>28</b>
<b>5.3</b>	<b>Ensaio de compressão axial</b>	<b>30</b>
<b>5.4</b>	<b>Determinação de absorção de água por capilaridade</b>	<b>31</b>
<b>5.5</b>	<b>Ensaio de ultrassom</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>35</b>
<b>6.1</b>	<b>Consistência</b>	<b>35</b>
<b>6.2</b>	<b>Resistência</b>	<b>35</b>
<b>6.3</b>	<b>Absorção</b>	<b>39</b>
<b>6.4</b>	<b>Ultrassom</b>	<b>43</b>

<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, conforme dados divulgados pela SEST SENAT (2019), são descartados anualmente aproximadamente 450 mil toneladas de pneus, ou seja, 90 milhões de unidades de pneus para carros de passeios.

Muitas vezes, os pneus inservíveis são descartados de forma incorreta gerando um grande problema para o meio ambiente por conter propriedades químicas, resíduos que demoram a cerca 600 anos para se decomporem na natureza. Por isso, realizar o descarte correto dos pneus evita danos ao meio ambiente e à saúde pública. A grande quantidade de pneus descartados em nosso país tem motivado propostas de ações que diminuam os impactos ambientais e a execução de pesquisas sobre métodos prováveis de como podem ser reaproveitados.

Os pneus inservíveis são dispostos inteiros em aterros de lixo comum ou até mesmo, jogados em vias públicas, rios e córregos. Quando são empilhados em quintais ou terrenos baldios, proporcionam a multiplicação de bichos que podem propagar muitas doenças como, por exemplo, a leptospirose, dengue, chycungunha e, quando estão expostos à luz do sol e às águas das chuvas, os pneus começam a se desfazer tanto em líquidos como em gases, contaminando ecossistemas inteiros e a atmosfera.

O aumento de vendas de automóveis a cada ano no Brasil fez com que houvesse um crescimento do setor, saindo da decadência financeira causada pela crise, os brasileiros cada vez mais estão aumentando sua autoridade de compra e acabam fazendo a aquisição desses veículos. Mesmo com resultados positivos de crescimento, há também fatores negativos, gerando uma grande quantidade de pneus usados, tornando o descarte mais constante, muitas vezes, em locais inapropriados, causando problemas para o meio ambiente.

Além disso, segundo o artigo publicado pela Gazeta São Mateus (2018), ao acumular água e sujeira, os pneus também contaminam o solo, podendo causar infecções nas pessoas e até mesmo, os animais que se alimentam de recursos naturais contaminados pela eliminação de resíduos químicos que consistem os pneus.

Segundo o relatório pneumático do IBAMA (2018) que tem como base o ano de 2017, em que foram colocadas no mercado de reposição 60.424.080 unidades, o que equivale 839.863,47 toneladas.

A reciclagem converte o dispensável em matéria-prima que é agregada na produção de um novo material que será aproveitado no mercado. Se for feita de maneira regular e constante, contribui para redução do impacto ambiental. Contudo, é necessário que se realizem pesquisas na área de produção de materiais utilizando resíduos que afetam a natureza, como exemplo a argamassa, para a comprovação das características do material, sua qualidade e a melhor forma de aplicação para esse novo material a ser colocado no mercado.

A construção civil é uma grande geradora de resíduos, além de consumir grandes quantidades dos recursos naturais não renováveis. Um meio de se utilizar estes resíduos é introduzindo-os em argamassas e/ou concretos, substituindo, parcial ou totalmente, um elemento que não se reaproveite pelos resíduos. Porém, são de grande importância que se estude os usos e as propriedades destes materiais com o intuito de garantir a viabilidade na sua utilização. Conforme Meneguini (2003) para se conseguir um melhor comportamento do resíduo de borracha em argamassa é necessário que se diminua o tamanho das partículas de borracha, através de peneiramento do resíduo de borracha.

A reciclagem de resíduos é um meio de contribuir para a preservação ambiental. Há estudos com resíduos de pneus, aonde vem sendo analisado sua aplicabilidade em materiais de construção civil, em suas várias formas, verificando que é muito viável devido sua alta durabilidade, por ser um material bastante elástico e possuir a função de isolante por conta da sua baixa condutividade térmica e sonora.

Nesta pesquisa, foram estudadas possibilidades de produção de argamassa com diferentes traços, utilizando resíduos de pneu na substituição de 10%, 20% e 30% do agregado miúdo (areia). Através dos mesmos, as pastas foram submetidas a ensaio de consistência conforme a NBR 13.276/2002 e logo após, moldados corpos de provas cilíndricos de 50 mm x100 mm, os quais foram submetidos a ensaio de compressão axial aos 7 e 28 dias de cura de acordo com a NBR 7215/1996, além de ensaio de absorção de água por capilaridade segundo a NBR 9779/1995 e ensaio de ultrassom.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Esta pesquisa teve como objetivo geral fazer o reaproveitamento do pneu triturado a partir do resíduo da borracha, inserindo-o na pasta de argamassa substituindo, parcialmente, o agregado miúdo para análise de suas propriedades, para então ser especificada a sua utilização na construção civil.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analisar o resíduo de pneu triturado quanto a sua granulometria, escolhendo o mais adequado para o traço;
- Identificar o traço que obtiver melhor resistência e trabalhabilidade, de acordo com as proporções estudadas;
- Comparar os resultados dos corpos-de-prova produzidos com resíduo com o traço referência;
- Procurar soluções alternativas de reaproveitamento de resíduos de pneu, diminuindo o impacto ambiental quanto ao descarte.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Argamassa

Segundo Isaia (2017), pode ser definida como materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais.

##### 3.1.1 Classificação das argamassas

A classificação das argamassas está descrita na Tabela 1, conforme sua função.

Tabela 1 – Classificação das argamassas segundo suas funções na construção

Função	Tipo
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação de alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alvenaria de vedação
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	Argamassa de contrapiso
	Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas - colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Fonte: Livro Materiais de Construção Civil, IBRACON, 2017

### 3.1.2 Definição das Argamassas

#### 3.1.2.1 Argamassa de assentamento de alvenaria

Isaia (2017) define a argamassa utilizada para a elevação de paredes e muros de blocos ou tijolos. E suas principais funções são de unificar as unidades de alvenaria de modo a constituir um elemento monolítico, ajudando na resistência aos esforços laterais e racionar igualmente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos. Além de selar as juntas garantindo a isenção de furos, trincas ou porosidade das paredes causadas pela infiltração de água das chuvas e absorver as deformações naturais, como as de retração por secagem e as de origem térmica, a que a alvenaria estiver exposta.

As propriedades essenciais para o bom desempenho das argamassas de alvenaria são:

- Trabalhabilidade – consistência e plasticidade adequadas ao processo de execução, além de uma grande retenção de água;
- Aderência;
- Resistência mecânica;
- Capacidade de absorver deformações.

#### 3.1.2.2 Argamassa de revestimento

É utilizada para revestir paredes, muros e tetos, os quais, geralmente, recebem acabamentos como revestimentos cerâmicos, pintura, laminados, etc. São aplicadas em camadas determinadas como: chapisco, emboço, reboco, camada única e revestimento decorativo monocamada (Figura 1).

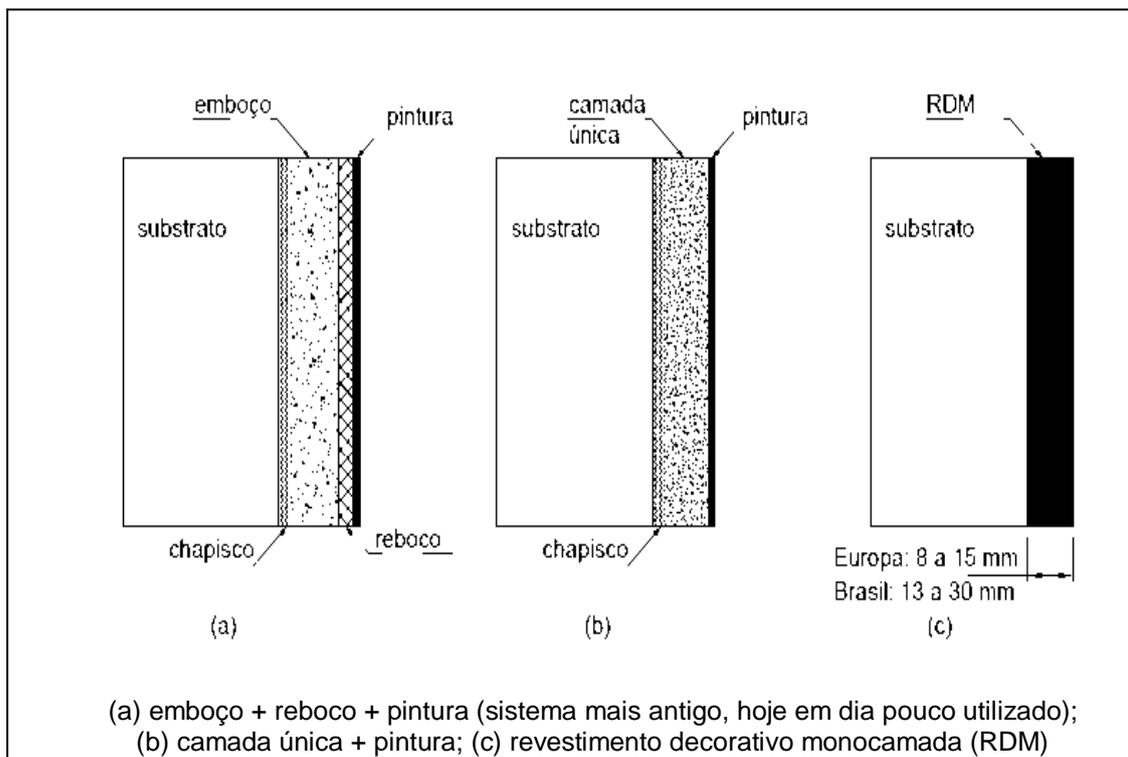
Definindo o chapisco como uma camada de preparo da base, empregada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de facilitar o revestimento posterior, garantindo maior aderência, por conta de sua superfície porosa. Já o emboço, é considerado o corpo do revestimento e suas principais funções são a vedação e regularização da superfície e a proteção da edificação, evitando a penetração de agentes agressivos, aplicado sobre chapisco, atua como base para a aplicação do reboco, devendo promover a boa ancoragem com ele e possuir uniformidade de absorção para que haja boa aderência entre as duas camadas.

O reboco é uma camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície alisada para receber o revestimento como a pintura, por exemplo, ou aquela que está definida em projeto para acabamento final.

A camada única é considerada um revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre a qual é colocada a pintura, cerâmica, madeira, etc., também conhecida como massa única ou reboco paulista, que, atualmente, é uma opção bastante utilizada no Brasil.

O RDM – Revestimento Decorativo Monocamada ou “monocapa” refere-se a um revestimento aplicado em camada única, que faz, juntamente, a função de regularização da parede, além da parte decorativa, atualmente, bastante utilizado na Europa. É um produto industrializado, ainda não normalizado no Brasil, com composição variável de acordo com o fabricante, normalmente contém: cimento branco, cal hidratada, agregados de várias naturezas, pigmentos inorgânicos, fungicidas, além de vários aditivos como: plastificante, retentor de água, incorporador de ar e outros.

Figura 1 – Diferentes alternativas de revestimento de parede



### 3.1.3 Funções e Propriedades

Isaia (2017) estabelece as principais funções de um revestimento de argamassa de parede que são de proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso dos revestimentos externos, além de compor o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo para o isolamento térmico de aproximadamente 30%, isolamento acústico de aproximadamente 50%, não há absorção de água em uma porcentagem entre 70 e 100%, aproximadamente, segurança ao fogo e resistência ao desgaste, além dos abalos superficiais.

E para o bom desempenho das argamassas, essas devem possuir propriedades que são essenciais, como a trabalhabilidade, especialmente consistência, a plasticidade e adesão inicial; a retração, a aderência, permeabilidade à água; resistência mecânica, principalmente, a superficial e capacidade de absorver deformações.

## 3. 2 O pneu

Segundo a Resolução nº 416 do CONAMA (2009) o pneu ou pneumático é considerado uma parte de um sistema de rodagem, constituído de polímeros com propriedades elásticas, produtos compostos de fibras, aço e outros materiais que quando desenvolvido em uma roda de veículo e contendo fluidos sobre pressão, transmite tração permitindo sua aderência ao solo, sustentando elasticamente a carga do veículo e resistindo à pressão causada pela reação do solo.

### 3.2.1 Composição do Pneu

O Sindicato Nacional da Indústria de Pneumáticos, Câmaras de Ar e Camelback – SINPEC relaciona a aparência externa do pneu com a borracha. Porém, ninguém imagina que esta roda resistente fabricada para percorrer por milhares de quilômetros em todos os tipos de estrada, campos enlameados, pedras, desertos e até terras geladas, conta com muitos outros itens que são responsáveis pela estabilidade necessária para garantir a segurança dos motoristas.

A combinação perfeita de matérias-primas, como borracha natural, derivados de petróleo, aço e produtos químicos, dá origem ao pneu, considerado um dos

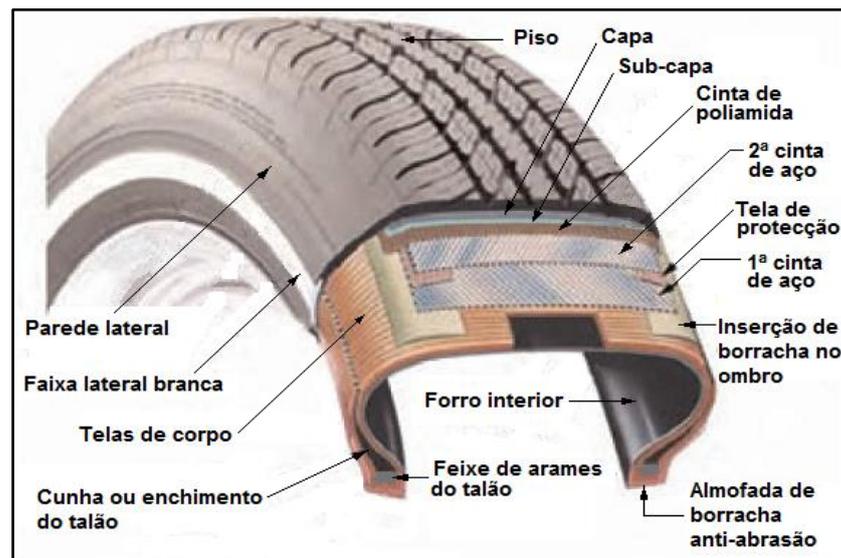
principais componentes dos automotivos. A parcela de utilização de cada um desses itens na fabricação varia de acordo com a utilização que será dada ao produto final. Prova disso é a diferença da composição entre os pneus de passeio e de caminhão, por exemplo.

O SINPEC em sua home page, na sessão de fabricação do pneu, mostra que no pneu de passeio, a borracha predomina, sendo 27% sintética e 14% natural. O negro de fumo constitui 28% da composição. Os derivados de petróleo e produtos químicos respondem por 17%, o material metálico (ou aço) por 10% e o têxtil por 4%.

Os pneus de automóveis são projetados para suportar altas velocidades, enquanto os pneus de carga são fabricados de acordo com o peso que deverão sustentar. Com isso, a quantidade de borracha natural nos pneus de caminhões está em torno de 30%.

Atualmente o pneu é uma estrutura bem mais complexa, constituída por três tipos de materiais: borracha, têxtil e metal (Figura 2).

Figura 2 – Estrutura de um pneu radial



Fonte: Google imagens

### 3.3 Da sustentabilidade ambiental

Segundo Sanágua (2018), as principais consequências do descarte inadequado dos pneus, cujos são: problemas na biodegradação, dificuldades em saneamento básico e gastos excessivos.

O descarte incorreto de pneus no meio ambiente é um grande problema ambiental, principalmente, pelo elevado tempo de deterioração, poluindo solo e contaminando as áreas onde ali estão. Além do mais, quando estes estão sujeitos à luz do sol e das chuvas, os pneus começam a se desagregar em líquidos e gases, afetando a atmosfera terrestre.

Os pneus também são causadores de várias doenças, como a dengue, malária e febre amarela, essas são algumas dos problemas originados do descarte incorreto de pneus, pois acumulam água e muita sujeira, além de contaminarem o solo, podendo também causar infecções nas pessoas, atingindo até os animais que se alimentam dos recursos naturais que acabam sendo contaminados pela eliminação de resíduos químicos que os pneus apresentam em sua composição.

Mesmo que seja difícil o descarte de pneus, pode ser feito de forma correta, porque hoje já há centros de descarte especializados ou até mesmo lojas que realizam a deterioração correta de pneus sem agredir o meio ambiente. Nessas áreas, o processo de reciclagem de pneus usados e velhos é complicado, mas todos os pneus inservíveis entram no processo de decomposição.

Uma das formas de reaproveitamento desses pneus é com a ajuda de trituradores de pneu e borracha, sendo picados em tamanhos diversos e aproveitados em mistura com as pedras de brita para serem drenados com o líquido que o material dissolve, servindo para acabamento asfáltico em ruas, também pode ser reprocessada a ponto de virar borracha.

Figura 3 – Triturador de Pneu e Borracha



Fonte: Google Imagens

Os pneus podem ser triturados e moídos e as máquinas fazem sua compressão onde o volume fica quase a se tornar borracha e projetado para adequar-se como matéria-prima de calçados e materiais de construção, como argamassas e concretos. São utilizados filtros para que os despojos lançados nesse método não sejam lançados no ar e os tubos servem como depósitos para os gases e a queima não se torna um transtorno na produção da borracha.

Na maior parte das circunstâncias, o descarte de pneus não tem o objetivo da eliminação por inteiro, podendo ser feito o reaproveitamento desse material, motivando empresas de reciclagem e coletores para ampliar seu negócio, buscando promover uma coleta consciente por parte dessas empresas e do público que tem interesse em utilizá-lo, por exemplo, em pesquisas que busquem o reaproveitamento desse material seja em qualquer área.

Kurz (2017) fez um estudo sobre a potencialidade do uso de resíduo da borracha de pneu em argamassa, analisando suas propriedades físicas e mecânicas, concluindo que a utilização de resíduo de borracha em argamassas provoca mudanças de comportamento, mesmo com valores mais baixos de resistência, seu emprego pode ser viável, porque em muitas utilizações, a resistência não é o requisito mais importante. Assim, apontando o uso desse resíduo em substituição ao agregado miúdo, como uma possibilidade viável, tanto em relação ao meio ambiente quanto ao seu desempenho, pois o seu uso agregado na argamassa de revestimento com resíduo não apresentou mudanças visuais e mudanças de comportamento quanto à absorção de água em relação à argamassa de revestimento de referência.

## **4 MATERIAIS E TRAÇO**

### **4.1 Areia**

Bauer (2002) define areia, como sendo de origem natural ou um resultado de britamento de rochas, ou ainda uma mistura de ambas, cujos grãos de maior tamanho passam no mínimo 85% nas malhas da peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075  $\mu\text{m}$ . A areia utilizada nesta pesquisa é proveniente de jazidas do município de Porto Grande - AP.

## 4.2 Cimento Portland CPII – F32

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), o cimento Portland pode ser definido como um pó fino que possui propriedades aglomerantes e ligantes. Sua utilização para confecção de concretos e argamassas se dá pelo fato de mesmo se enrijecer após entrar em contato com a água, bem como possuir propriedades ligantes.

Assim como os demais cimentos portland compostos, o CP II F é um tipo de cimento para uso e aplicação em geral. Ideal para utilização em estruturas de concreto armado, pavimentos de concreto, argamassa de chapisco, assentamento de blocos, revestimento, pisos e contrapisos, grautes, concreto protendido, pré-moldados e artefatos de concreto.

O cimento Portland composto tem diversas possibilidades de aplicação e por isso é um dos cimentos mais utilizados no Brasil. Suas propriedades atendem desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, concreto massa e concreto para pavimentos. O CP II F-32 tem adição de fíler calcário, em teor entre 6 e 10% e não é o mais indicado para aplicação em meios muito agressivos e, suas especificações estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Especificações do CPII F-32 segundo ABNT

CP II-F-32	Especificações ABNT	
<b>ENSAIOS FÍSICOS</b>		
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	>2600	NBR NM 76
Tempo de início de pega (h:min)	>1	NBR NM 65
Tempo de fim de pega (h:min)	<10	NBR NM 65
Finura na peneira # 200 (%)	<12,0	NBR 11579
Finura na peneira # 325 (%)	–	NBR 9202
Expansibilidade a quente (mm)	<5,0	NBR 11582
Consistência normal (%)	–	NBR NM 43
Resistência à compressão 1 dia (MPa)	–	NBR 7215
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	>10,0	NBR 7215
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	>20,0	NBR 7215
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	>32,0	NBR 7215
<b>ENSAIOS QUÍMICOS</b>		
Perda ao fogo (%)	<6,5	NBR 5743

Resíduo insolúvel (%)	<2,5	NBR 5744
Trióxido de enxofre – SO <sub>3</sub> (%)	<4,0	NBR 5745
Óxido de cálcio livre – CaO Livre (%)	–	NBR 7227
Óxido de magnésio – MgO (%)	<6,5	NBR 9203
Óxido de alumínio – Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	–	NBR 9203
Óxido de silício – SiO <sub>2</sub> (%)	–	NBR 9203
Óxido de ferro – Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	–	NBR 9203
Óxido de cálcio – CaO (%)	–	NBR 9203
Equivalente alcalino (%)	–	–

Fonte: Cimento.org

### 4.3 Água

Utilizou-se água do laboratório do IFAP para desencadear as propriedades ligantes do cimento.

### 4.4 Resíduo da borracha de pneu

De acordo com a NBR 10004/2004 (Resíduos sólidos – Classificação), os resíduos de borracha são considerados resíduos de classe II-B inertes, que, quando amostrados de uma forma representativa, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

O resíduo da borracha de pneu triturado foi adquirido na RPM PNEUS VIPAL MACAPÁ, localizada na Rua Mita Cordeiro, no município de Macapá, no bairro Amazonas.

### 4.5 O traço

O traço 1:4 foi definido para ser utilizado nesta pesquisa por ser o mais usual, sendo calculado a quantidade de materiais, primeiramente, para um corpo de prova cilíndrico de 5 mm x 10 mm, em que é necessário 100,1 g de cimento, 250,2 g de areia e 73,1g de água, em seguida, para 15 corpos de referência e 15 corpos

para cada porcentagem de substituição da areia por borracha de pneu triturado, cujas são de 10%, 20% e 30%, conforme as quantificações descritas na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantificação de materiais para 15 corpos-de-prova para cada traço

	<b>REFERÊNCIA</b>	<b>COM 10%</b>	<b>COM 20%</b>	<b>COM 30%</b>
<b>Cimento</b>	1.501,5 g	1.501,5 g	1.501,5 g	1.501,5 g
<b>Areia</b>	3.753 g	3.378 g	3.003 g	2.626,5 g
<b>Resíduo</b>	—	375 g	750 g	1.126,5 g
<b>Água</b>	1.096,5 g	1.096,5 g	1.096,5 g + 71,9 g	1.096,5 g + 575,2 g

Fonte: Autora

Como se pode observar na Tabela 3, nos traços com 20% e 30% de resíduo de borracha de pneu triturado, foi adicionado mais água para poder dar plasticidade na pasta de argamassa produzida, pois o volume da borracha de pneu triturado se tornou maior que o da areia, dificultando assim a mistura.

## **5 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**

### **5.1 Análise granulométrica e massa específica dos agregados**

Para a determinação da granulométrica do agregado é utilizado a NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica, cujo objetivo é de estabelecer o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos. No caso desta pesquisa, foi feito o ensaio granulométrico do agregado miúdo, onde foi definido o módulo de finura e a dimensão máxima.

Para isso, utilizou-se uma balança de precisão para pesagem de 500 g de areia seca após ter passado 24h na estufa a 100°C. Logo após foi feito o peneiramento desse agregado no kit de peneiras, utilizando o agitador mecânico.

Após o peneiramento, foi feita a pesagem da massa retida nas peneiras, logo após, a porcentagem retida, a acumulada e a passante, definindo assim o Diâmetro máximo e o módulo de finura do agregado miúdo.

A partir do peneiramento dos agregados, obtiveram-se os resultados do Diâmetro Máximo e Módulo de Finura dos mesmos, conforme as Tabelas 4 e 5. Além da curva granulométrica composta nos Gráficos 1 e 2.

Tabela 4 – Resultados do peneiramento da areia

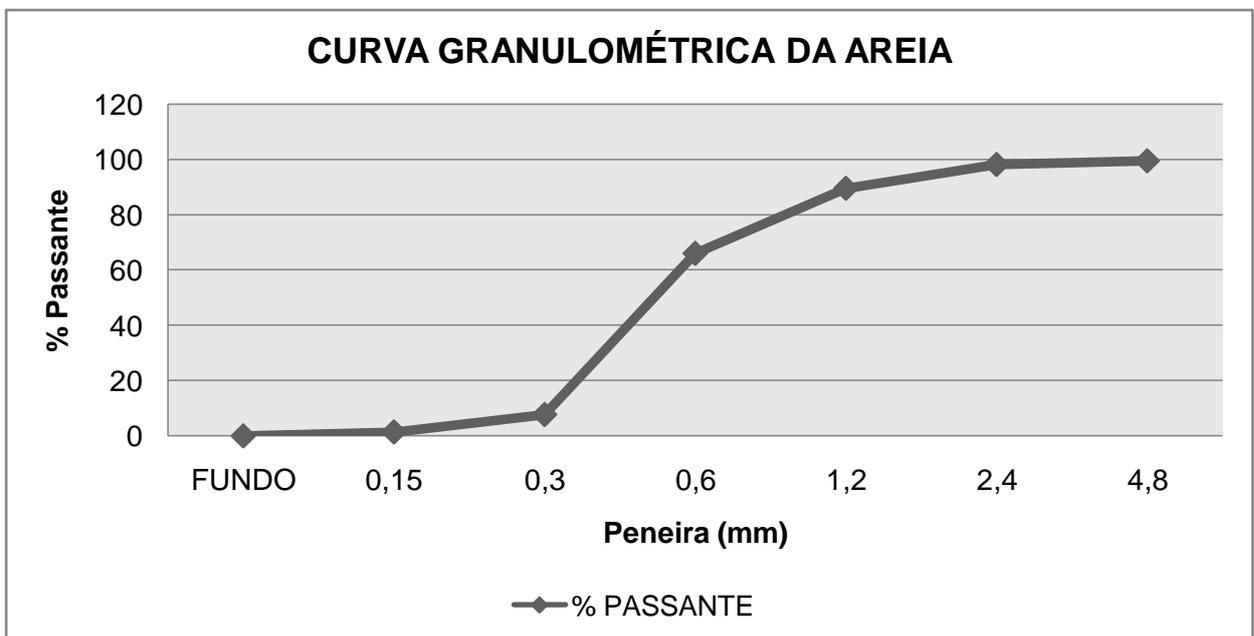
Peneira (mm)	Massa retida na peneira (g)	% Retida na peneira	% Retida Acumulada	% Passante
4,8	5,2	0,5328	0,5328	99,4672
2,4	12,9	1,3217	1,8545	98,1455
1,2	84,1	8,6168	10,4713	89,5287
0,6	229,6	23,5246	33,9959	66,0041
0,3	568,6	58,2582	92,2541	7,7459
0,15	61,6	6,3115	98,5656	1,4344
Fundo	14,0	1,4344	100,0	0
Total	976,0	—	—	—

$D_{m\acute{a}x} = 2,4 \text{ mm}$

$M\acute{o}dulo \text{ de finura} = \frac{0,5 + 1,8 + 10,5 + 33,9 + 92,2 + 98,5}{100} = \frac{237,4}{100} = 2,374$

Fonte: Autora

Gráfico 1 – Curva Granulométrica da Areia



Fonte: Autora

Tabela 5 – Resultados do peneiramento da borracha de pneu triturado

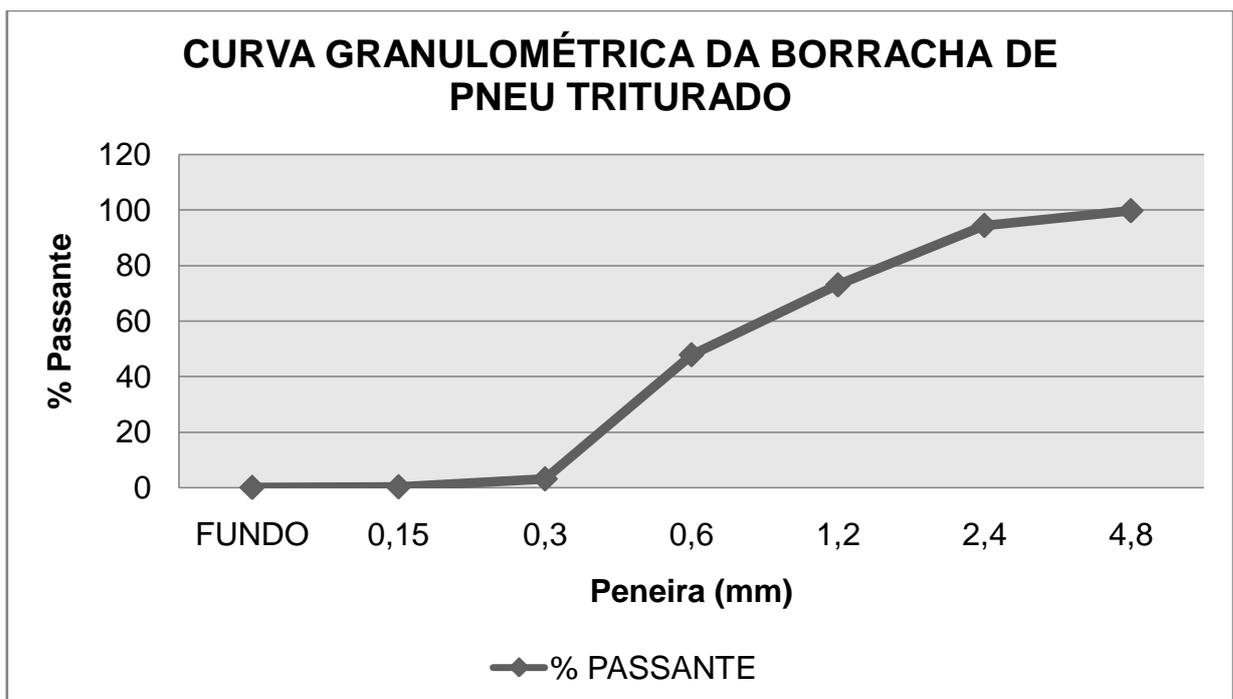
Peneira (mm)	Massa retida na peneira (g)	% Retida na peneira	% Retida Acumulada	% Passante
4,8	48,5	4,8861	4,8861	95,1139
2,4	362,6	36,5303	41,4164	58,5836
1,2	350,3	35,2911	76,7075	23,2925
0,6	169,7	17,0965	93,804	11,0821
0,3	44,2	4,4529	98,2569	1,7431
0,15	13,7	1,3802	99,6371	0,3629
Fundo	3,6	0,3626	99,9997	0,0003
Total	992,6	—	—	—

$D_{m\acute{a}x} = 4,8 \text{ mm}$

$$\text{M\acute{o}dulo de finura} = \frac{4,9 + 41,4 + 76,7 + 93,8 + 98,3 + 99,6}{100} = \frac{414,7}{100} = 4,147$$

Fonte: Autora

Gráfico 2 – Curva Granulométrica da Borracha de Pneu Triturado



Fonte: Autora

O ensaio de determinação da massa específica da areia foi realizado de acordo com a NBR 9776/1987 – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman, onde se colocou água no frasco até a marca de 200 cm<sup>3</sup>, deixando-o em repouso para que a água escorrer totalmente, em seguida, foi introduzido 500g da areia no frasco, após agitado para a eliminação das bolhas de ar, após 24hs, anotou-se o valor que a água subiu depois que a areia a absolveu (Figura 4). E através da fórmula se obteve o valor da massa específica, a qual foi de 2,63 g/cm<sup>3</sup>.

Figura 4 – Ensaio de Massa Específica da Areia pelo frasco de Chapman



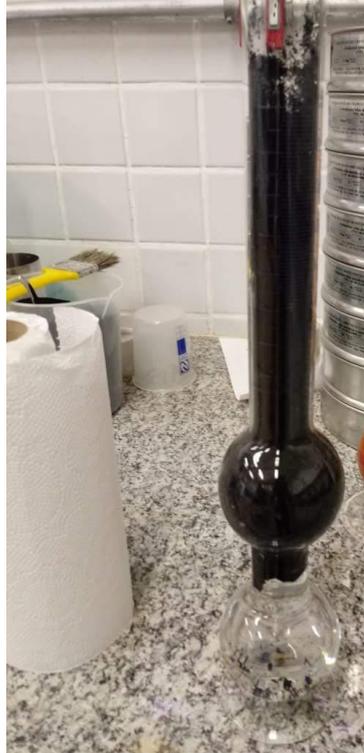
Fonte: Autora

O ensaio de determinação da massa específica do resíduo da borracha de pneu foi feito de acordo com a NBR 9776/1987 – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.

Colocou-se água no frasco até a marca de 200 cm<sup>3</sup>, deixando-o em repouso para que a água escorrer totalmente, em seguida, foi introduzido 500g da borracha de pneu triturado no frasco, após agitado para a eliminação das bolhas de ar, mas não foi possível colocar todo o volume de agregado, e conseguinte, impossível obter

a massa específica da borracha de pneu triturado através do frasco de Chapman por não haver a absorção da água pelo resíduo, como podemos ver na Figura 5.

Figura 5 – Ensaio de Massa Específica da Borracha pelo frasco de Chapman



Fonte: Autora

## 5.2 Determinação do índice de consistência da argamassa

Conforme a NBR 13276/2002 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência, o ensaio foi feito no laboratório, onde se preparou a mistura de argamassa de acordo com o traço definido, após a mistura deixou-se cada mistura em repouso por 15 minutos, em seguida homogeneizou-se a argamassa manualmente com espátula por um período de 30 segundos.

Na mesa para índice de consistência e a parede de molde tronco-cônico limpos com um pano úmido, encheu-se o tronco-cônico em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, aplicou-se respectivamente 15, 10 e 5 golpes com o soquete, de maneira que fosse distribuída uniformemente. Após o rasamento da argamassa com a régua metálica rente à borda do molde eliminando as partículas em volta do mesmo com pano úmido, foi acionada a manivela da mesa

para índice de consistência de modo que a mesa subiu e caiu 30 vezes por 30 segundos de maneira uniforme e, imediatamente, após a última queda da mesa foi medido com a régua, três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro, o espalhamento do molde tronco-cônico original de argamassa. (Figura 6).

Figura 6 – Mesa para índice de consistência com argamassa após a última queda



Fonte: Autora

Registrado as três medidas, obteve-se o índice de consistência de cada traço de argamassa produzida, correspondente à média das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros e arredondadas ao número mais próximo. Em seguida, foram moldados 60 corpos-de-prova, sendo 15 para cada traço (Figura 7).

Figura 7 – Corpos-de-prova moldados



Fonte: Autora

### 5.3 Ensaio de compressão axial

Conforme a NBR 7215/1996 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão, foram produzidos 24 corpos-de-prova de 50 mm x 100 mm, desmoldados após 24h (Figura 8), em que aos 7 e 28 dias de cura, os mesmos foram submetidos ao ensaio de compressão axial (Figura 9) desenvolvido mecanicamente na EMIC (Figura 10) , em que os resultados já saem expressos em números e gráficos nos relatórios.

Figura 8 – Corpos-de-prova desmoldados



Fonte: Autora

Figura 9 – Ensaio de compressão axial



Fonte: Autora

Figura 10 – EMIC



Fonte: Autora

#### 5.4 Determinação de absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade foi determinada de acordo com a NBR 9779/1995. Assim, após 28 dias de cura dos 12 corpos-de-prova de 50 mm x 100 mm, instalou-se um recipiente num ambiente com temperatura constante de aproximadamente 23°C, onde os corpos-de-prova foram posicionados sobre suportes (Figura 11), o recipiente foi preenchido com água de modo que o nível d'água permanecesse constante a  $5 \pm 1$  mm (Figura 12) acima da face dos corpos, evitando que molhasse outras superfícies.

Durante o ensaio foi determinada a massa dos corpos-de-prova (Figura 13) com 3h, 6h, 24h e 48h contadas a partir da colocação dos mesmos em contato com a água. A cada pesagem os corpos foram enxugados com um pano úmido e após cada etapa, retornaram imediatamente ao recipiente de ensaio.

Figura 11 – Corpos-de-prova sendo posicionados sobre suportes



Fonte: Autora

Figura 12 – Corpos-de-prova marcados a 5 mm



Fonte: Autora

Figura 13 – Pesagem dos corpos-de-prova



Fonte: Autora

A NBR 9779/2012 determina “que absorção de água por capilaridade deva ser expressa em  $\text{g}/\text{cm}^3$ , calculada dividindo o aumento de massa pela área da seção transversal da superfície do corpo-de-prova em contato com água”, de acordo com a seguinte equação:

$$C = \frac{A - B}{S}$$

Em que:

C = absorção de água por capilaridade, em  $\text{g}/\text{cm}^3$

A = massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, em g

B = massa do corpo-de-prova seco, assim que este atingir a temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ , em g

S = área da seção transversal, em  $\text{cm}^2$

## 5.5 Ensaio de ultrassom

O ensaio de ultrassom foi realizado, de acordo com a NBR 8802/2013, no aparelho Pundit Lab+ com banda de 500 kHz e resolução 0,1  $\mu$ s (Figura 14) para verificar a velocidade das ondas ultrassônicas dos corpos-de-prova de argamassa sem e com resíduo de borracha de pneu triturado. É uma técnica não destrutiva, geralmente, utilizada para detectar e determinar irregularidades, como os vazios numa mistura de argamassa, por exemplo.

Feita a calibração dos emissores/receptores (Figura 15) e as configurações necessárias, mediu-se a velocidade das ondas ultrassônicas de cada corpo-de-prova por três vezes, escolhendo assim, o menor valor entre eles para ser adotado.

Figura 14 – Aparelho de Ultrassom Pundit Lab



Fonte: Autora

Figura 15 – Calibração dos emissores/receptores



Fonte: Autora

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Consistência

O índice de consistência dos corpos-de-prova de argamassa foi determinado a partir da média das três medidas (em mm) de diâmetro anotadas dos traços de referência e com 10%, 20% e 30% de resíduo da borracha de pneu triturado produzido, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados dos Índices de Consistência

TRAÇOS	REFERÊNCIA	COM 10%	COM 20%	COM 30%
1ª MEDIDA	230 mm	205 mm	165 mm	200 mm
2ª MEDIDA	240 mm	195 mm	165 mm	205 mm
3ª MEDIDA	229 mm	187 mm	165 mm	200 mm
<b>MÉDIA</b>	<b>233 mm</b>	<b>196 mm</b>	<b>165 mm</b>	<b>202 mm</b>

Fonte: Autora

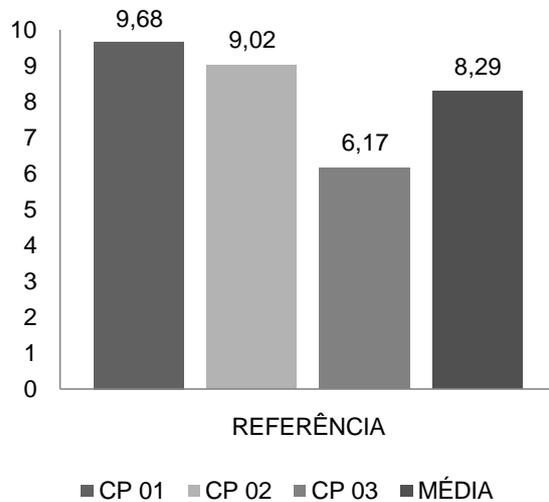
A partir desses resultados, pode-se notar que os traços com 10% e 20% são mais consistentes comparado ao traço de referência, pois houve uma diminuição do diâmetro da pasta espalhada na mesa, apesar do valor da relação água/cimento ser bem parecidos.

O traço com 30%, apesar de ter o maior volume de resíduo, não ficou tão consistente em relação com o traço de referência, por conta da relação água/cimento ser maior.

### 6.2 Resistência

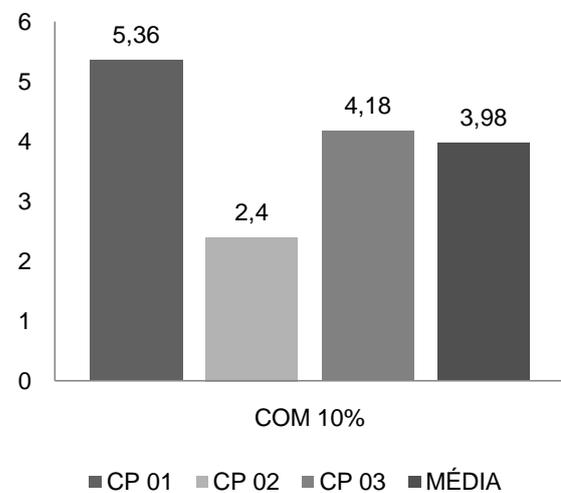
O ensaio de resistência à compressão axial foi desenvolvido mecanicamente pela EMIC, primeiramente, aos 7 dias de cura, 12 corpos-de-prova, sendo 3 para o traço de referência e, conseqüentemente, 3 para cada traço com 10%, 20% e 30% de substituição da areia pelo resíduo da borracha de pneu triturado, expressos nos gráficos.

Gráfico 3 – Resultados da resistência à compressão axial aos 7 dias de idade do traço de referência (MPa)



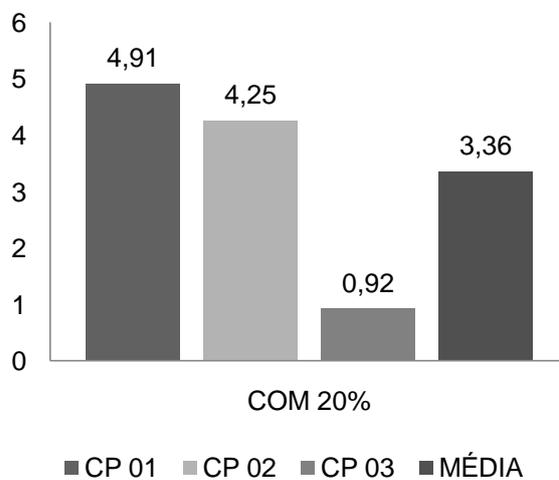
Fonte: Autora

Gráfico 4 – Resultados da resistência à compressão axial aos 7 dias de idade do traço com 10% de substituição da areia pelo resíduo (MPa)



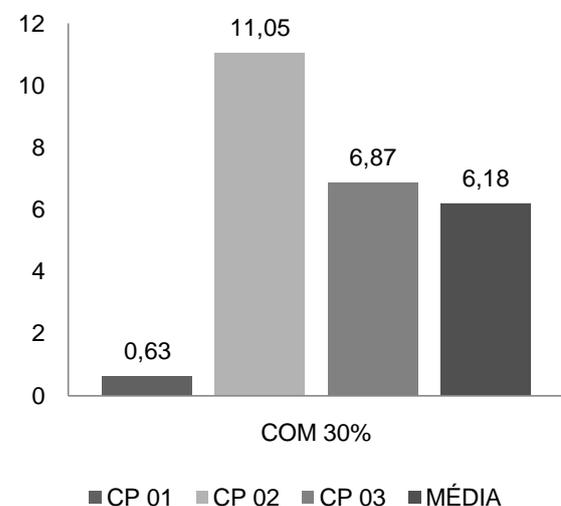
Fonte: Autora

Gráfico 5 – Resultados da resistência à compressão axial aos 7 dias de idade do traço com 20% de substituição da areia pelo resíduo (MPa)



Fonte: Autora

Gráfico 6 – Resultados da resistência à compressão axial aos 7 dias de idade do traço com 30% de substituição da areia pelo resíduo (MPa)



Fonte: Autora

Pode-se observar que houve a diminuição da resistência dos corpos-de-prova com substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo em relação ao traço de referência, ocorreu em alguns casos que a força deu negativa antes de romper completamente dando para perceber que não ultrapassava o corpo por inteiro, quebrando apenas a parte superior.

Os corpos-de-prova com 20% e 30% quando foram rompidos começaram a soltar farelos de borracha e areia, não havendo aderência dos agregados à pasta de argamassa, podendo ser visto na Figura 16.

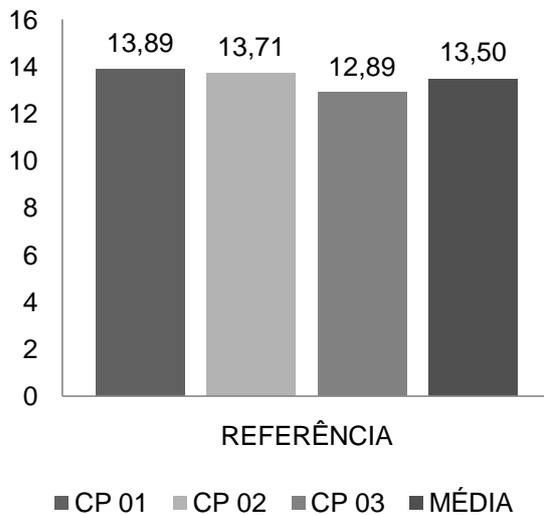
Figura 16 – Corpos-de-prova rompidos aos 7 dias de cura



Fonte: Autora

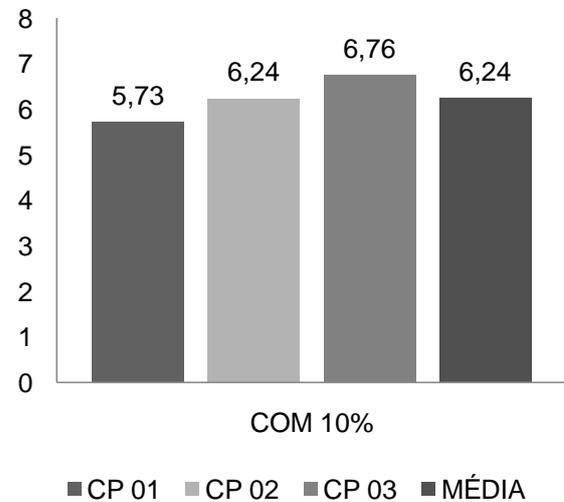
Após 28 dias de cura dos corpos-de-prova, o ensaio de compressão axial foi realizado novamente para verificar se houve ou não o aumento da resistência da mistura de argamassa sem e com substituição parcial da areia pelo resíduo da borracha de pneu triturado, onde os resultados estão expressos nos gráficos a seguir.

Gráfico 7 – Resultados da resistência à compressão axial aos 28 dias de idade do traço de referência (MPa)



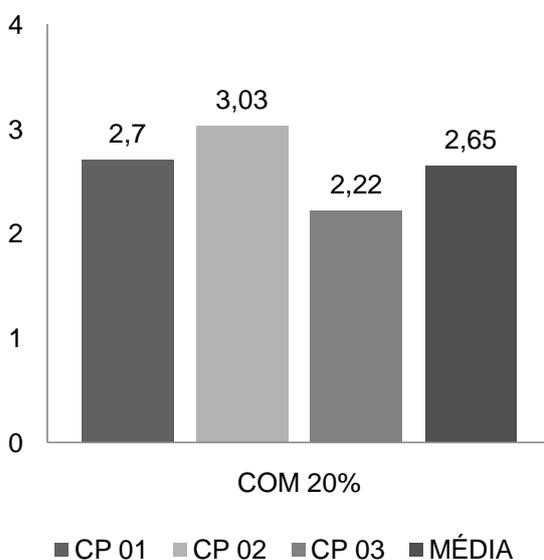
Fonte: Autora

Gráfico 8 – Resultados da resistência à compressão axial aos 28 dias de idade do traço com 10% de substituição da areia pelo resíduo (MPa)



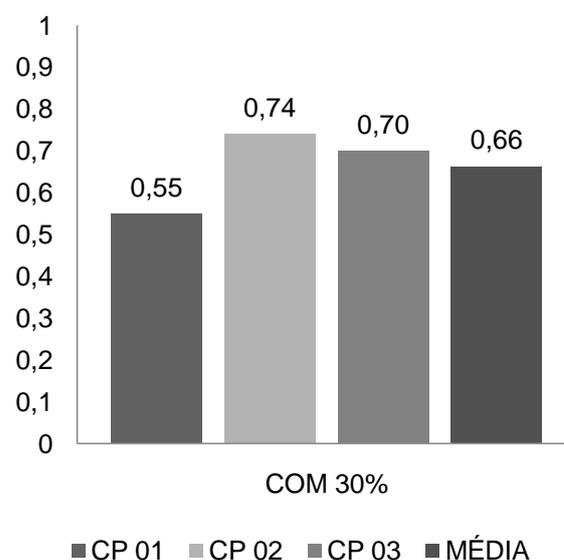
Fonte: Autora

Gráfico 9 – Resultados da resistência à compressão axial aos 28 dias de idade do traço com 20% de substituição da areia pelo resíduo (MPa)



Fonte: Autora

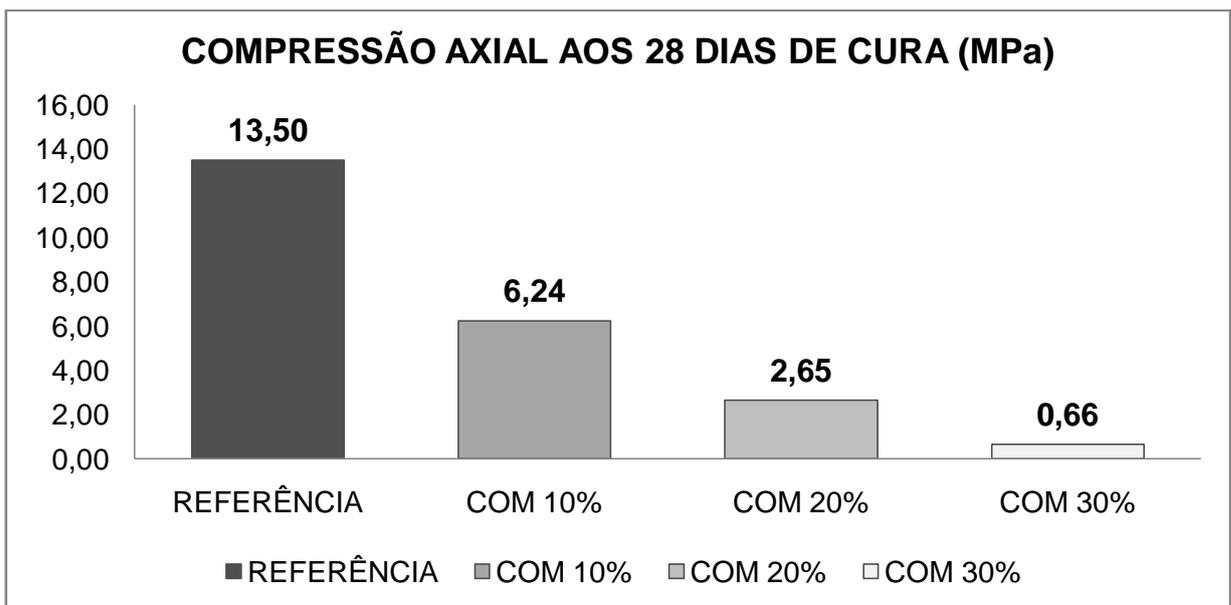
Gráfico 10 – Resultados da resistência à compressão axial aos 28 dias de idade do traço com 30% de substituição da areia pelo resíduo (MPa)



Fonte: Autora

Como se pode notar nos gráficos, aos 28 dias, que a resistência teve um aumento em relação aos 7 dias, principalmente, no traço com 10% de resíduo como mostra o Gráfico 11, onde a média dos resultados evidencia claramente essa queda. Assim, mesmo com essa baixa em relação ao traço de referência, a resistência não pode ser considerada o único quesito para se avaliar o potencial de uma pasta de argamassa.

Gráfico 11 – Comparativo dos resultados da resistência à compressão axial aos 28 dias de idade de todos os traços



Fonte: Autora

### 6.3 ABSORÇÃO

A determinação da absorção de água por capilaridade após 3h do início se obteve os resultados a partir da fórmula descrita no tópico 7.4 desta pesquisa.

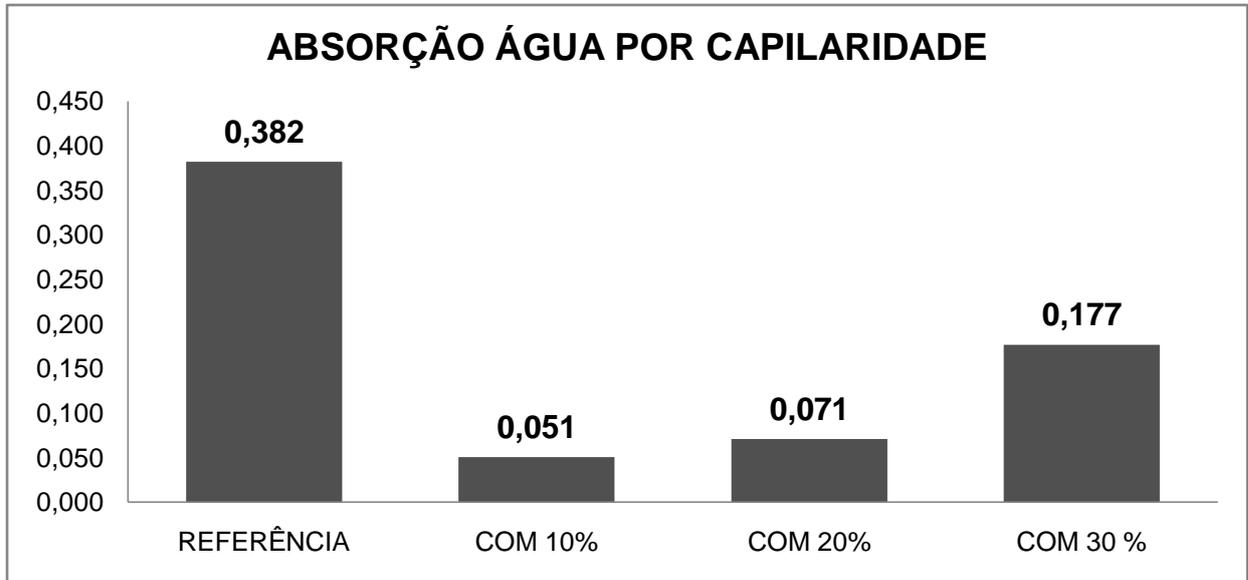
Tabela 7 – Resultados da absorção de água por capilaridade após 3h (em g/cm<sup>2</sup>)

ITEM	REFERÊNCIA	COM 10%	COM 20%	COM 30%
CP 01	0,362	0,046	0,056	0,240
CP 02	0,413	0,046	0,066	0,153
CP03	0,372	0,061	0,092	0,138

Fonte: Autora

Com os dados referenciados na Tabela 7, pode-se demonstrar, graficamente, a média da absorção para cada traço, conforme o Gráfico 12.

Gráfico 12 – Média de Absorção de água por capilaridade após 3h do início (em g/cm<sup>2</sup>)



Fonte: Autora

Analisando o gráfico, pode-se notar que o traço com 10% de substituição da areia pelo resíduo da borracha de pneu triturado teve maior desempenho de absorção, apresentando menor absorção do que os de 20% e 30% em relação ao traço de referência em razão da porosidade ser menor.

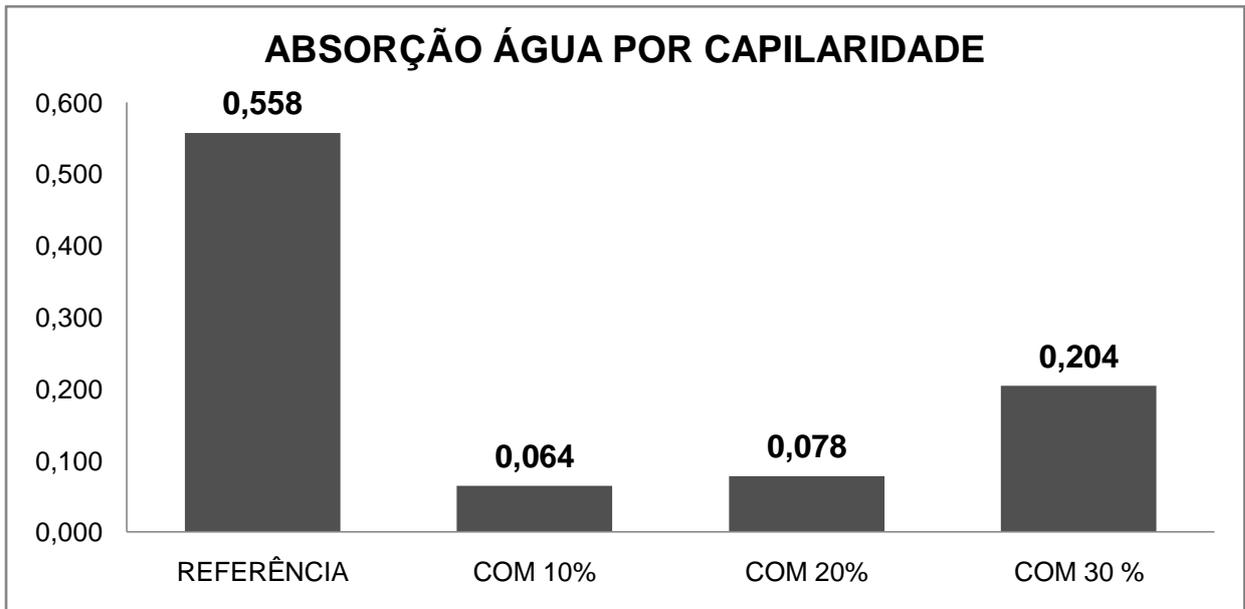
Com 6h após o início do ensaio obteve-se os resultados de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados da absorção de água por capilaridade após 6h (em g/cm<sup>2</sup>)

ITEM	REFERÊNCIA	COM 10%	COM 20%	COM 30%
CP 01	0,520	0,061	0,066	0,281
CP 02	0,622	0,056	0,066	0,179
CP03	0,531	0,076	0,102	0,153

Fonte: Autora

Com os dados referenciados na Tabela 8, pode-se demonstrar, graficamente, a média da absorção para cada traço, conforme o Gráfico 13.

Gráfico 13 – Média de absorção de água por capilaridade após 6h do início (em g/cm<sup>2</sup>)

Fonte: Autora

Após 6h a absorção da água teve um pequeno aumento, mas os traços com 10% e 20%, havendo uma diferença de 0,014 g/cm<sup>2</sup> de um para o outro, continuaram a absolver menos do que o traço de referência e o de 30%.

O traço de 30% que tem a relação água/cimento bem maior, que o traço de referência, absolveu 0,354 g/cm<sup>2</sup> de água em relação ao de referência, levando a crer que a porosidade é bem maior.

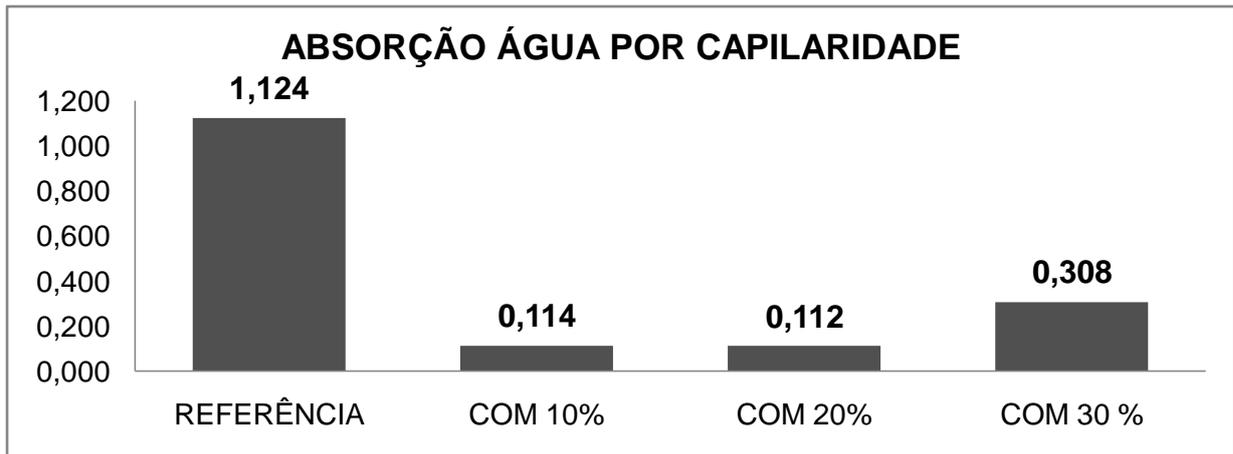
Após 24h de ensaio, os resultados obtidos estão expostos na Tabela 9 e, respectivamente, o Gráfico 14 com a média de absorção de água pelos corpos-de-prova.

Tabela 9 – Resultados da absorção de água por capilaridade após 24h (em g/cm<sup>2</sup>)

ITEM	REFERÊNCIA	COM 10%	COM 20%	COM 30%
<b>CP 01</b>	1,031	0,107	0,107	0,444
<b>CP 02</b>	1,291	0,102	0,092	0,250
<b>CP03</b>	1,051	0,133	0,138	0,230

Fonte: Autora

Gráfico 14 – Média de absorção de água por capilaridade após 24h do início



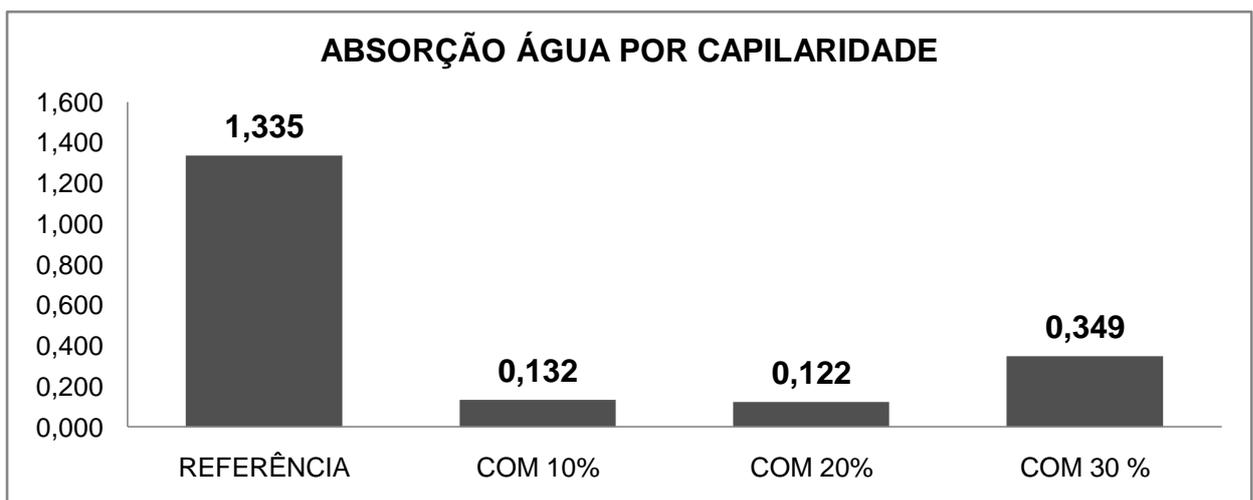
Fonte: Autora

Finalizando o ensaio, após 48h, alcançou-se o resultado da absorção de água dos corpos-de-prova analisados, cujos valores estão expressos na Tabela 10 e, conseqüentemente, as médias dos corpos estão referenciadas no Gráfico 15.

Tabela 10 – Resultados da absorção de água por capilaridade após 48h (em g/cm<sup>2</sup>)

ITEM	REFERÊNCIA	COM 10%	COM 20%	COM 30%
CP 01	1,265	0,127	0,112	0,495
CP 02	1,459	0,122	0,102	0,286
CP03	1,281	0,148	0,153	0,265

Fonte: Autora

Gráfico 15 – Média de Absorção de água por capilaridade após 48h do início (em g/cm<sup>2</sup>)

Fonte: Autora

Os resultados do ensaio de absorção de capilaridade mostram que, durante as 6h primeiras horas, os corpos-de-prova com 10% de substituição da areia pelo resíduo da borracha de pneu triturado que absorveram em média  $0,064 \text{ g/cm}^2$  de água, em relação aos de referência que em média absorveram  $0,558 \text{ g/cm}^2$ , assim, absorvendo menos água do que os traços de 20% ( $0,078 \text{ g/cm}^2$ ) e 30% ( $0,204 \text{ g/cm}^2$ ). Mas após as 48h, houve uma baixa de absorção de água pelos corpos de 20% que absorveram em média  $0,122 \text{ g/cm}^2$  em relação aos de referência que foi de  $1,335 \text{ g/cm}^2$ .

A partir dos resultados mostrados após as 48h do ensaio, pode-se dizer que os traços com 10% e 20% absorvem bem menos água, levantando a hipótese de diminuição de fissuras, caso essas argamassas sejam aplicadas em paredes externas. Para confirmação é preciso fazer outros tipos de ensaios para verificar, realmente, se esses traços são viáveis para revestimento externo como o reboco, por exemplo.

#### **6.4 Ultrassom**

Através do aparelho de ultrassom, para verificar a coerência de acordo com os resultados de Bungey (1989), uma vez que a velocidade da onda depende da massa específica da amostra, ou seja, os poros fechados, abertos e capilares presentes nos corpos-de-prova influenciam na velocidade de propagação da onda ultrassônica longitudinal.

A porosidade por ultrassom está relacionada com a velocidade de propagação da onda ultrassônica longitudinal, onde as perdas do sinal no meio com elevado nível de porosidade são maiores, nos corpos-de-prova confeccionados com pneu a velocidade da onda ultrassônica foi maior, o que pode estar correlacionado com uma maior quantidade de água utilizada na confecção desses corpos-de-prova.

A Figura 17 corrobora com a relação da porosidade com a velocidade da onda ultrassônica, mostrando que a essa velocidade na água é maior que no ar.

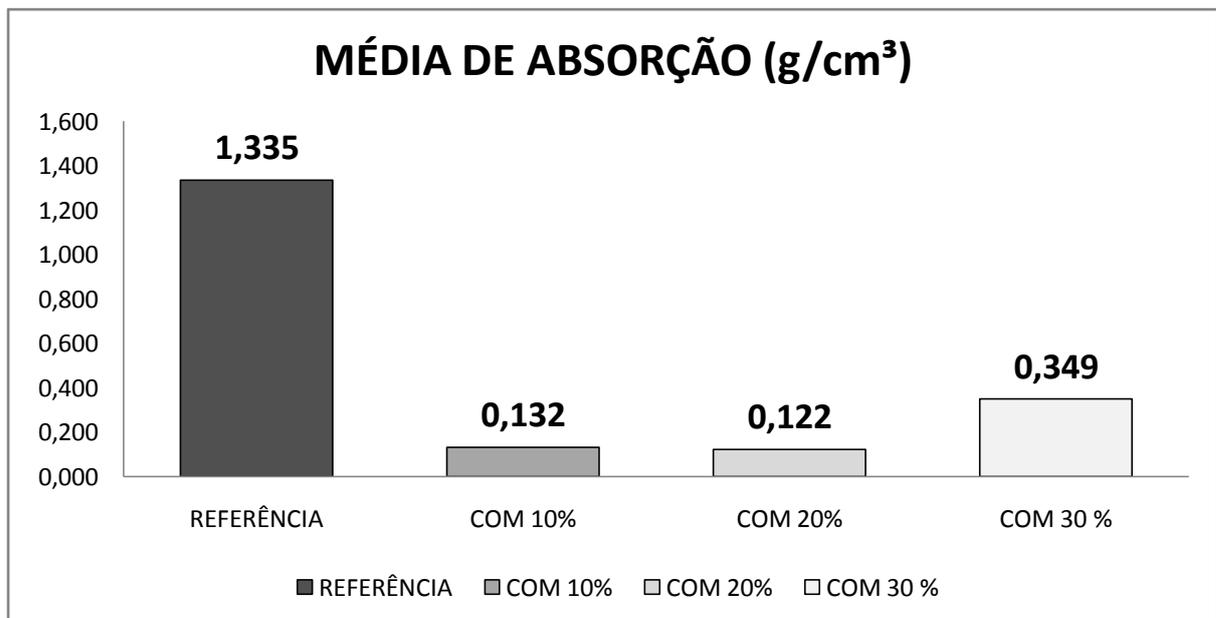
Figura 17 – Velocidade de Propagação das Ondas Longitudinais

Material	Velocidade m/s
Ar	330
Alumínio	6300
Cobre	4700
Ouro	3200
Aço	5900
Aço inoxidável	5800
Nylon	2600
Óleo(SAE30)	1700
Água	1480
Prata	3600
Titânio	6100
Níquel	5600

Fonte: Ultrasonic Testing, Krautkramer

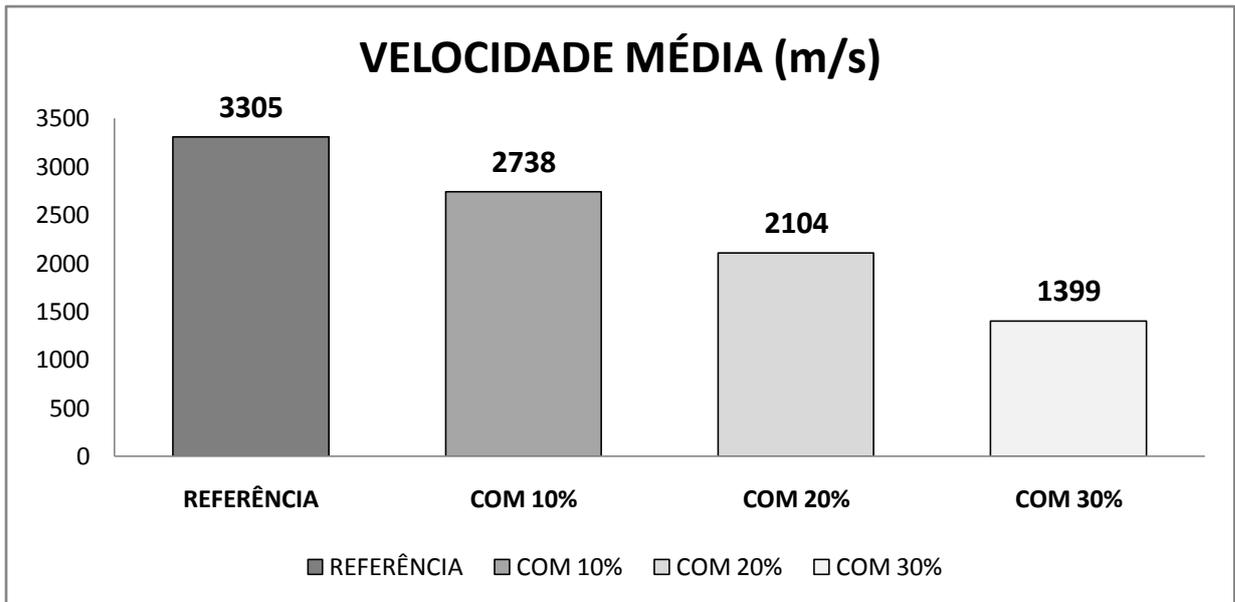
Assim, podemos fazer relação da porosidade através dos resultados de absorção e ultrassom expressos nos Gráficos 16 e 17.

Gráfico 16 – Média de Absorção de Água por Capilaridade



Fonte: Autora

Gráfico 17 – Média da Velocidade Ultrassônica



Fonte: Autora

Corpos-de-prova que utilizaram mais água tiveram um tempo maior de resposta do sinal ultrassônico, fazendo com que houvesse a diminuição da velocidade, devido o obstáculo encontrado por conta do acréscimo de água no corpo-de-prova.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, foi possível se chegar às seguintes conclusões:

A argamassa produzida com 10% de substituição do agregado miúdo pelo resíduo de borracha de pneu triturado pode ser comparada à argamassa de reboco externo industrializada por se enquadrar nos requisitos de resistência à compressão axial atingindo a média de 6,24 MPa, conforme a NBR 13281/2005. Além disso, essa argamassa absorve menos água do que a convencional, tornando-a viável para uso externo.

Kurz (2017) substituiu a areia por borracha nas proporções de 2,5%, 5%, 10% e 15%, utilizando o traço de referência de 1:3, fazendo os ensaios de índice de consistência, compressão axial, resistência a tração por compressão diametral, de absorção por capilaridade e por imersão, chegando à conclusão de que houve um decréscimo nas resistências das argamassas com resíduo, já nas absorções algumas possuíram melhor desempenho que a argamassa de referência. Conclusão essa que nos leva a perceber que o estudo desenvolvido nesta pesquisa está condizendo com os resultados da autora, apesar de não ter sido possível a realização de ensaios como o de compressão diametral e absorção por imersão.

Esses ensaios que foram realizados nas argamassas salientaram que a substituição de areia pelo resíduo de borracha triturado leva a um aumento na relação a/c para manter a trabalhabilidade e o índice de consistência dentro do especificado pela norma, sendo que este aumento é superior nas pastas de argamassas com maior proporção de substituição da areia pelo resíduo de borracha.

De acordo com os resultados encontrados, é mais viável utilizar as argamassas com proporções de até 10% de substituição da areia pelo resíduo, para não haver problemas futuros com patologias.

Esta pesquisa contribuiu positivamente para reforçar os conhecimentos adquiridos na disciplina de concreto e argamassas, desde o traço até a determinação das especificidades dos materiais utilizados, de acordo com as normas da ABNT.

O objetivo do trabalho foi alcançado com êxito, pois foi possível fazer o reaproveitamento do pneu inserindo-o na pasta de argamassa substituindo, parcialmente, o agregado miúdo pelo resíduo da borracha de pneu triturado, onde se

identificou o melhor traço, especificando a finalidade para ser utilizada na construção civil, criando uma solução alternativa para a diminuição do impacto ambiental quanto ao descarte incorreto dos pneus.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

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

ABNT. **NBR 13276 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT. **NBR NM 248 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. **NBR 9776 – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT. **NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro, 2000.

BUNGEY, J. H. **The Testing of Concrete in Structures**. 2 ed. ed. London: Surrey University Press, 1989.

CANOVA, J. A. **Influência da adição de pó de borracha em argamassa de revestimento**. Tese de D. Sc. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais* ed. G. C. Isaia. 3ªed. São Paulo, IBRACON, 2017. Volume 3.

CAMPITELI, V. C. **Porosidade do Concreto**. Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 20. 1987. (ICS/CIN).

CONAMA. **Resolução nº 416 de 30 de setembro de 2009**. Pags. 64-65.

KRAUTKRAMER. **Ultrasonic Testing of Materials**. Alemanha. Second edition.

KURZ, M. N. et al. **A potencialidade do uso de resíduo de borracha de pneu em argamassa: análise das propriedades físicas e mecânicas**. Revista Matéria, v.23, n.3, 2018.

MENEGUINI, E. C. A. **Comportamento de argamassas com emprego de pó de borracha**. Dissertação do M. Sc. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

Pensamento Verde. **As principais consequências do descarte de pneus no meio ambiente.** Disponível em: <<https://www.gazetasaomateus.com.br/as-principais-consequencias-do-descarte-de-pneus-no-meio-ambiente/>>. Acesso em 09 de dezembro de 2019.

SANAGUA. **As principais consequências do descarte de pneus no meio ambiente.** Disponível em: <<http://sanagua.com.br/noticias/as-principais-consequencias-do-descarte-de-pneus-no-meio-ambiente-517.html>>. Acesso em 13 de dezembro de 2019.

SINPEC. **Matéria-prima.** Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/sinpec/sobre-o-sinpec/historia-do-pneu/fabricacao/>>. Acesso em 22 de dezembro de 2019.