



**unifaema**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAEMA – UNIFAEMA**

**CARLOS EDUARDO SOUZA LIMA**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU COMO SUBSTITUIÇÃO  
DE AGREGADO MIÚDO EM CONCRETO**

**ARIQUEMES - RO  
2024**

**CARLOS EDUARDO SOUZA LIMA**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU COMO SUBSTITUIÇÃO  
DE AGREGADO MIÚDO EM CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Esp. Philippe Thiago Ferreira Costa.

**ARIQUEMES - RO  
2024**

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

L732u Lima, Carlos Eduardo Souza.

Utilização de resíduos de borracha de pneu como substituição de agregado miúdo em concreto. / Carlos Eduardo Souza Lima. Ariquemes, RO: Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, 2024. 42 f. ; il.

Orientador: Prof. Esp. Philippe Thiago Ferreira Costa.

Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, Ariquemes/RO, 2024.

1. Concreto. 2. Sílica ativa. 3. Borracha. I. Título. II. Costa, Philippe Thiago Ferreira.

CDD 624

**Bibliotecária Responsável**  
Isabelle da Silva Souza  
CRB 1148/11


**CARLOS EDUARDO SOUZA LIMA**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU COMO SUBSTITUIÇÃO  
DE AGREGADO MIÚDO EM CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Esp. Philippe Thiago Ferreira Costa.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 PHILIPPE THIAGO FERREIRA COSTA  
Data: 28/11/2024 22:13:26-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof(a). Esp. Philippe Thiago Ferreira Costa  
UNIFAEMA

Assinado digitalmente por: ROEMIR PERES  
MACHADO MOREIRA  
Razão: Sou Responsável pelo Documento  
Localização: UNIFAEMA - Ariquemes/RO  
O tempo: 21-11-2024 22:06:25

---

Prof(a). Dr. Roemir Peres Machado Moreira  
UNIFAEMA

SILENIA PRISCILA DA SILVA  
LEMES:02029279030  
030  
Assinado de forma digital por SILENIA PRISCILA DA SILVA  
LEMES:02029279030  
Dados: 2024.11.28 14:31:47 -04'00'

---

Prof(a). Ma. Silênia Priscila da Silva Lemes  
UNIFAEMA

**ARIQUEMES – RO  
2024**

*Dedico este trabalho à memória do meu amigo Andrey Alexandre, que foi tão cedo, mas que deixa eterna saudade.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, a Deus, pela minha vida e por me ajudar a vencer todos os obstáculos ao longo do curso.

Aos meus pais, que me incentivaram nos momentos difíceis e por fazer o meu sonho de ser um engenheiro civil virar realidade, sem eles não seria possível.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

Agradeço aos meus colegas de classe por compartilharem comigo inúmeros momentos de descobertas e aprendizados, bem como pelo companheirismo demonstrado durante este percurso de formação.

*Tudo posso naquele que me fortalece.*

*Filipenses 4:13*

## RESUMO

O concreto é um dos materiais mais utilizados dentro da construção civil, sendo composto por cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água. Aditivos e adições são produtos adicionais, utilizados quando o concreto necessita de uma melhora em seu desempenho. Esse material apresenta alta resistência e durabilidade devido a adições de minerais, neste trabalho foi utilizado a sílica ativa. Para alcançar uma resistência alta, o fator água/cimento foi baixíssimo, foi possível através da utilização do aditivo superplastificante. A adição da borracha é uma alternativa ecológica e econômica para o concreto e, também para solucionar um problema ambiental no Brasil e no mundo, pois existiram toneladas de borrachas derivadas de pneus velhos e não possuem utilidade para todo esse montante e não possui local de descarte ideal, isto está se tornando um problema crescente no meio ambiente. O presente trabalho analisa a resistência à compressão deste material com dois traços, diferenciando-se apenas na porcentagem da adição da borracha. Notou-se primeiramente que a adição da borracha no concreto apresentou uma menor trabalhabilidade, assim precisando para fins práticos utilizar aditivo químico. Foram realizados os ensaios dos materiais seguindo as NBR, com os resultados desses ensaios foi realizado o traço e para a realização do concreto foi seguido os passos das Normas Brasileiras Regulamentadoras. Com relação à resistência à compressão, foi possível analisar o resultado aos 3, 7 e 28 dias. E por fim, o resultado do concreto com adição de borracha não foi o esperado, obtendo resistências inferiores a 1 MPa dentro dos 7 dias e só no dia 28 que chegou a uma resistência de 10,99 MPa.

**Palavras-chave:** Concreto; sílica ativa; borracha.



## ABSTRACT

Concrete is one of the most widely used materials in the construction industry. It consists of cement, large aggregate, small aggregate and water. Additives and additions are additional products used when concrete needs to improve its performance. This material has high resistance and durability due to mineral additions, in this work active silica was used. To achieve a high strength, the water/cement factor was very low, which was made possible by the use of the superplasticizer additive. The addition of rubber is an ecological and economical alternative for concrete and also solves an environmental problem in Brazil and worldwide, as there are tons of rubber derived from old tires and there is no use for all this amount and there is no ideal disposal site, this is becoming a growing problem in the environment. This work analyzes the compressive strength of this material with two traits, differing only in the percentage of rubber added. Firstly, it was noted that the addition of rubber to the concrete had a lower workability, thus requiring the use of a chemical additive for practical purposes. Tests were carried out on the materials in accordance with the NBR. The results of these tests were used to create the mix and the concrete was made in accordance with the Brazilian Regulatory Standards. With regard to compressive strength, it was possible to analyze the results at 3, 7 and 28 days. Finally, the results of the concrete with added rubber were not as expected, obtaining strengths of less than 1 MPa within 7 days and only on day 28 did it reach a strength of 10.99 MPa.

**Keywords:** concrete; active activity; rubber.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática do agregado, da zona de transição e da matriz de pasta de cimento .....	20
Figura 2: Agregado miúdo sendo levado para estufa .....	30
Figura 3: Amostra 01 (500g) .....	32
Figura 4: Amostra 02 (500g) .....	32
Figura 5: Agregado graúdo sendo levado para estufa .....	33
Figura 6: Sílica Ativa .....	35
Figura 7: Superplastificante .....	36
Figura 8: Corpos de prova .....	37
Figura 9: Slump Test .....	37
Figura 10: Cura dos corpos de prova .....	38
Figura 11: Ruptura dos corpos de prova .....	39

## LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1: Teor de umidade .....	32
----------------------------------	----

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica da Areia .....	31
Gráfico 2: Curva granulométrica da Brita .....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de concreto estruturais .....	22
Tabela 2: Tipos de cimento Portland normalizados no Brasil .....	23
Tabela 3: Tabela de Relação Água/Cimento .....	28
Tabela 4: Resumo dos Ensaios dos corpos de prova.....	28
Tabela 5: Traço do concreto (Kg).....	29
Tabela 6: Massa específica do cimento CP II – F40.....	29
Tabela 7: Tabela granulométrica da Areia.....	31
Tabela 8: Tabela da massa específica da Areia.....	32
Tabela 9: Tabela granulométrica da Brita.....	33
Tabela 10: Tabela da massa específica da Brita.....	34
Tabela 11: Tabela da massa específica da Borracha.....	35
Tabela 12: Tabela da massa específica da Sílica Ativa.....	36
Tabela 13: Resistência à compressão dos corpos de prova moldados com CAD com adição da borracha .....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de cimento Portland
a/c	Relação água cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ARI	Alta resistência inicial
BC	Baixo Calor de Hidratação
CAD	Concreto de alta desempenho
CAR	Concreto de alta resistência
cm	Centímetro
CP	Cimento Portland
CP I	Cimento Portland Comum
CP I – S	Cimento Portland Comum com Adição
CP II – E	Cimento Portland Composto com Escória
CP II – F	Cimento Portland Composto com Filler
CP II – Z	Cimento Portland Composto com Pozolana
CP III	Cimento Portland de Alto Forno
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
C-S-H	Silicato de cálcio hidratado
fck	Resistência Característica do Concreto à Compressão
kg	Quilogramas
µm	Micrómetro
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1. JUSTIFICATIVA.....	18
1.2. OBJETIVOS.....	18
<b>1.2.1. Geral</b> .....	<b>18</b>
<b>1.2.2. Específicos</b> .....	<b>18</b>
<b>1.2.3. Hipótese</b> .....	<b>19</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>20</b>
2.1. ESTRUTURA DO CONCRETO .....	20
2.2. DOSAGEM DE CONCRETO .....	20
<b>2.2.1. Seleção dos materiais</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.1.1. Cimento</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.1.2. Agregados</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.1.3. Água</b> .....	<b>24</b>
2.3. BORRACHA NO BRASIL.....	24
2.4. PRODUÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA TRITURADA DE PNEUS.....	25
2.5. UTILIZAÇÃO DA BORRACHA NA PRODUÇÃO DE CONCRETO .....	26
<b>3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>28</b>
3.1. DA COLETA DE DADOS .....	28
<b>3.1.1. Identificação das características dos</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1.1.1. Cimento</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1.1.1.1 Determinação da massa específica do cimento</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1.1.1.2. Agregado miúdo</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.1.1.2.1. Secagem do agregado miúdo</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.1.1.2.2. Determinação da curva granulométrica da areia</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.1.1.2.3. Determinação da massa específica da areia</b> .....	<b>31</b>
<b>3.1.1.1.2.4. Teor de umidade da areia</b> .....	<b>32</b>
<b>3.1.1.1.3. Agregado graúdo</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1.1.1.3.1. Secagem do agregado graúdo</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1.1.1.3.2. Determinação da curva granulométrica da brita</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1.1.1.3.3. Determinação da massa específica da brita</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1.1.1.3.4. Teor de umidade da brita</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1.1.1.4. Borracha</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1.1.1.4.1. Massa específica da borracha</b> .....	<b>35</b>

3.1.1.5. Sílica ativa .....	35
3.1.1.6. Aditivo .....	36
3.2. PROCEDIMENTO.....	36
3.2.1. Preparo do concreto.....	36
3.2.2. Consistência pelo abatimento do tronco de cone.....	37
3.2.3. Moldagem dos corpos de prova .....	38
3.2.4. Cura dos corpos de prova.....	38
3.2.5. Ruptura dos corpos de prova .....	38
3.2.5.1. Concreto com adição de borracha .....	39
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	40
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	41
REFERÊNCIAS .....	42



## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Castro (2007), devido às qualidades excelentes do concreto, tal material proporcionou um enorme avanço no desenvolvimento da construção civil. Com o avanço das tecnologias e o aprimoramento de novos materiais, o concreto passou por uma grande evolução dentro da engenharia.

Para Neville (2013), o concreto de modo geral é qualquer produto produzido a partir de um meio cimentante, gerado a partir da reação entre cimento e água. O resultado da mistura de cimento, agregado miúdo e agregado graúdo que quando em contato com a água forma o concreto. No caso para obter um concreto com mais desempenho, são acrescentados à mistura aditivos químicos e adições minerais. Tais adições ampliam significativamente a resistência e a durabilidade do concreto.

Conforme a norma brasileira NBR 7222 (2011), o concreto CAD apresenta resistência à compressão maior que 50 MPa. Em países e cidades onde a construção civil teve um grande crescimento vertical, é muito utilizado o concreto de alto desempenho (CAD), por sua maior resistência.

Segundo Conama (2009), no Brasil são fabricados mais de 70 milhões de pneus anualmente, e grande parte deles é descartada irregularmente. A Resolução Conama n.º 416, de 30 de setembro de 2009, determina que importadores e fabricantes de pneus novos devem coletar e destinar adequadamente os pneus existentes e que não possuem serventia no território nacional.

Segundo Martins (2005), através dos diversos resíduos industriais com um potencial globalizado quanto ao impacto ambiental gerado, tem-se a borracha derivado de pneu inservível, a qual, por apresentar longa degradação e perfazer quantidades colossais de resíduos, tem sido objeto de estudo de inúmeras pesquisas que visam, entre outras aplicações, aproveitar uma fração desse material na produção de concretos, substituindo parte do agregado ou do aglomerante na sua produção, por borracha de pneu triturada.

Para Fogaça (2005), a borracha possui ótima resistência contra os esforços mecânicos, porém para que isso ocorra, ela precisa passar por um processo chamado vulcanização, decorrente de um procedimento tratado da adição de enxofre ao poliisopreno, ocasionando o rompimento das suas ligações químicas, baixa histerese, baixa deformação e elevada elasticidade. Sendo que a borracha no seu estado natural possui variação em sua propriedade, ou seja, menor elasticidade, dificultando a utilização, pois em temperaturas altas apresenta característica quebradiça e em temperaturas baixas apresenta característica pegajosa.

Conforme Paulo Monteiro (2014), no Brasil há um montante elevado de borrachas derivadas de pneus que, após um período sem utilidade, acabam sendo

descartadas incorretamente ou incineradas. Devido a esse fator, o custo da introdução da borracha no concreto é muito baixo.

## 1.1. JUSTIFICATIVA

Este tipo de concreto se justifica pela adição de fibras de borrachas, substituindo parte do agregado miúdo, fazendo com que torna-se um concreto mais econômico e ecológico, devido a grande quantidade de resíduos de borracha que é descartado no mundo.

O uso da areia como agregado miúdo é muito usual mundialmente, por ser encontrada em abundância em vários locais do mundo. Porém, isso não significa que todo tipo de areia é adequado para o uso em concreto, portanto, a adição de resíduos pode ser uma alternativa viável e econômica para a produção do concreto.

O uso da borracha nesse concreto, por meio da adição na dosagem usando o agregado miúdo como referência, melhora as propriedades mecânicas, justificada pela elevada elasticidade que ela apresenta e ainda minimiza o impacto ambiental através do descarte incorreto desse resíduo.

Portanto, este trabalho se justifica através da adição parcial em relação ao agregado miúdo pela borracha, para a produção de um concreto para obter características semelhantes ou melhores que um concreto normal.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Geral

Utilizar resíduos de borracha para a realização de um concreto mais econômico, substituindo parte do agregado miúdo por borracha.

### 1.2.2. Específicos

- Verificar a possibilidade da realização de um concreto substituindo parte do agregado miúdo por resíduos de borracha.
- Identificar os resultados obtidos do concreto produzido com fibras de borracha, aos esforços de compressão axial.
- Averiguar a viabilidade técnica da utilização da borracha na produção de concretos

### **1.2.3. Hipótese**

A utilização do concreto adaptado com fibras de borracha é uma alternativa que deve ter um estudo mais aprofundado. Pois, a utilização da fibra da borracha como parte do agregado miúdo é uma alternativa mais sustentável e mais barata, visto que a borracha é um material que possui seu descarte incorreto, encontrada em diversas unidades de recapagem de pneus, tornando-se um concreto ecológico e mais econômico.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

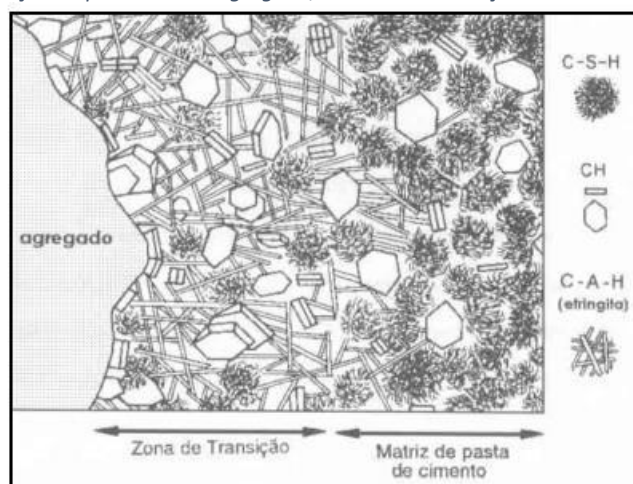
### 2.1. ESTRUTURA DO CONCRETO

Neville (1997) observa que, a partir de uma seção transversal de uma peça de concreto, pode-se facilmente distinguir duas das fases que compõem o concreto, sendo as partículas de agregados de diferentes formas e tamanhos e um meio ligante entre elas, que é a massa de pasta de cimento hidratada. Em uma visão macroscópica, o concreto pode ser considerado um material bifásico, constituído apenas de partículas de agregados e a pasta de cimento que as liga.

No entanto, quando esta mesma seção está sobre a visão em um nível microscópico, a microestrutura do concreto se torna mais complexa. Neste nível é identificada uma terceira fase, a qual é chamada de zona de transição, que é a região de diferentes estruturas microscópicas, que se localiza entre as partículas do agregado e a pasta do cimento, tornando mais forte a ligação entre esses elementos (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

São heterogêneas o que faz com que a complexidade da microestrutura do concreto aumente ainda mais, o que de acordo com Mehta e Monteiro (2008), explica a dificuldade de se obter uma previsão do comportamento do concreto através de métodos e modelos teóricos de relação estrutura/propriedades.

Figura 1 – Representação esquemática do agregado, da zona de transição e da matriz de pasta de cimento



Fonte: MEHTA e MONTEIRO (2008)

### 2.2. DOSAGEM DE CONCRETO

Todo método de dosagem tem como objetivo principal determinar uma proporção adequada e econômica dos materiais constituintes do concreto, com o propósito de se conseguir um concreto que atenda aos requisitos previamente

estabelecidos como resistência, durabilidades e consistência, com o menor custo possível (AİTCIN, 2000).

De acordo com Alves (2000), Mendes (2002), há grande diferença entre se produzir CAD por métodos específicos e por métodos utilizados para dosagem de concretos convencionais devido ao traço, pois em concretos de alto desempenho utilizam outros componentes como sílica e aditivos que mudam a composição do traço. Ainda segundo o autor, os métodos específicos apresentam uma maior economia de cimento por m<sup>3</sup> (metros cúbicos). Do ponto de vista prático, alguns métodos são bem mais simplificados que outros, exigindo poucos ensaios preliminares e partindo de pressupostos. Fica a critério do produtor do concreto escolher o método que melhor se adequar às condições técnicas disponíveis.

Aİtcin e Neville (2003) subdividiram a relação água/cimento em duas partes: a primeira representa a quantidade de água necessária para a completa hidratação do cimento; e a segunda representa a quantidade de água adicional necessária para obter uma trabalhabilidade adequada. Dessa maneira, o concreto ideal deve conter água suficiente para desenvolver a resistência máxima do cimento e, ao mesmo tempo, fornece as propriedades reológicas necessárias ao seu lançamento.

Ressaltando que, para o concreto de alto desempenho, o fator água/cimento é bem mais reduzido se comparado com o concreto comum, o que dificulta a sua trabalhabilidade. De acordo com o AİTCIN (2000) os requisitos de qualidade da água para concretos de alto desempenho são os mesmos que para concretos convencionais.

A dosagem da água depende de diversos fatores, como a natureza e a dosagem do cimento, características quanto à forma, tamanho, densidade e absorção dos agregados, além de temperatura e a trabalhabilidade do concreto.

Segundo Mehta e Monteiro (1994 *apud* Mendes 2002), concretos de alto desempenho, com dosagens realizadas com materiais convencionais, atingem resistências de 40 MPa ou superior.

Shah (1981, *apud* Mendes 2002) justifica essa limitação utilizando dois argumentos:

a) Para se produzir concretos de resistência à compressão superior a 40 MPa, se faz vital um controle mais rigoroso na dosagem e seleção dos materiais constituintes. Esse é um fator determinante para que os concretos convencionais fiquem entre uma média de 20 MPa e 40 MPa, podendo assim, os concretos que forem planejados para ultrapassar esse valor, serem chamados de concreto de alta resistência.

b) Estudos experimentais sobre a microestrutura do concreto comprovam que resistências acima de 40 MPa diferem as suas propriedades em relação aos concretos convencionais. Como a prática usual para dimensionamento de estruturas, ainda se

tem como base experimentos realizados com concretos convencionais, o que é preferível que concretos com resistências superiores a 40 MPa sejam mantidos em uma classe diferenciada, de maneira a alertar o projetista da necessidade de ajuste nas equações existentes.

De acordo com a NBR 8953 (2015), classifica-se o concreto em dois grupos perante a sua resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ), como ilustra a Tabela 1.

Tabela 1 – Classes de concreto estruturais

Classe de resistência grupo I	Resistência característica à compressão (MPa)	Classe de resistência grupo II	Resistência característica à compressão (MPa)
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: NBR 8953 (2015)

## 2.2.1. Seleção dos materiais

### 2.2.1.1. Cimento

O cimento Portland é o produto resultante da pulverização do clínquer, material este produzido pela calcinação de silicatos hidráulicos de cálcio e sulfato de cálcio natural, que são conduzidos à temperatura de sua fusão incipiente, ainda podendo apresentar eventuais adições de substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego (BAUER, 2000).

Bauer (2000) enfatiza ainda que os principais componentes do cimento Portland são a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), a cal ( $\text{CaO}$ ), o óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Em menor proporção, também tem Magnésio ( $\text{MgO}$ ), anidro sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ) e outros. No processo de fusão que resulta no *clínquer*, ocorrem combinações químicas que formam quatro compostos: o silicato tricálcico (C3S), maior responsável pela resistência em todas as idades, o silicato dicálcico (C2S), que tem maior importância no processo de endurecimento em idades mais avançadas, o aluminato tricálcico (C3A), que contribui para a resistência no primeiro dia e para o calor de hidratação no início do período de cura, e o ferro aluminato tetracálcico (C4AF<sub>e</sub>), que coopera para o aumento da resistência química do concreto.

A Tabela 2 apresenta os tipos de cimento Portland nacionais normalizados, suas siglas, classes e composições.

Tabela 2 – Tipos de cimento Portland normalizados no Brasil

Nome técnico do cimento portland	Sigla	Classes	Conteúdo dos componentes (%)			
			Clínquer + gesso	Escória	Pozolana	Fíler
Comum	CP I	25, 32, 40	100	0	0	0
Comum com adição	CP I-S	25, 32, 40	99-95	0	1-5	0
Composto com escória	CP II-E	25, 32, 41	94-56	6-14	0	0-10
Composto com pozolana	CP II-Z	25, 32, 42	94-76	0	6-14	0-10
Composto com fíler	CP II-F	25, 32, 43	94-90	0	0	6-10
Alto-forno	CP III	25, 32, 44	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CP IV	25, 32, 45	85-45	0	15-50	0-5
Alta resistência inicial	CP V-ARI	-	100-95	0	0	0-5
Resistência a sulfatos	RS	25, 32, 45	A composição depende do tipo original do qual é derivado			
Baixo calor de hidratação	BC	25, 32, 46				
Branco estrutural	CPB	25, 32, 47	-	-	-	-

Fonte: BATTAGIN (2011)

### 2.2.1.2. Agregados

De acordo com Simplicio (2003), os agregados são os componentes que poderão limitar a resistência à compressão do concreto. A seleção dos agregados não se faz tão criteriosa para a produção do concreto convencional. Na maioria das vezes, é apenas necessário verificar se está conforme as exigências das normas para agregados. No entanto, para o CAD, a pasta hidratada de cimento e a zona de transição podem ser resistentes ao ponto que, se os agregados, particularmente os graúdos, não obtiverem uma resistência suficiente, eles podem tornar-se o elo mais fraco dentro do concreto (AITCIN, 2000).

Em relação aos materiais necessários para a produção do CAD, a seleção dos agregados tem grande importância, pois dependendo do tipo de agregado escolhido, ele pode tornar-se o elemento mais fraco dentro do concreto, levando o concreto a romper pela resistência do agregado (BACARJI, et al., 2014 *apud* ROHDEN, et al., 2015).

Almeida (1996) e o American Concrete Institute 363R-92 (2001) recomendam que os agregados de modo geral, devem apresentar as seguintes características:

- Boa resistência à compressão;
- 100% britado e com o mínimo de partículas achatadas ou alongadas;
- Granulometria que minimize o consumo de água;
- Forma e textura superficial que favoreçam a aderência com a pasta;
- Devem ser limpos e isentos de substâncias deletérias;
- Propriedades químicas adequadas para evitar a deterioração devido à composição do cimento ou ataque de agentes externos.

Segundo O'Reilly Díaz (1998), com os agregados graúdos naturais, comumente empregados nos concretos convencionais. Conforme Aïtcin (2000), quanto mais alta a resistência à compressão que se deseja alcançar, menor é o tamanho do agregado graúdo.

No caso do agregado miúdo, a granulometria da areia deve crescer proporcionalmente à resistência à compressão e ao consumo de cimento, com um módulo de finura preferível na faixa de 2,70 a 3,00 quando disponível (AITCIN, 2000).

E ainda, a forma e textura têm um efeito significativo sobre a demanda de água de uma mistura; enquanto a lamelaridade e a forma do agregado graúdo geralmente têm um efeito apreciável sobre a trabalhabilidade do concreto (NEVILLE, 1997).

### **2.2.1.3. Água**

Neville (2003) subdividiu a relação água/cimento em duas partes: a primeira representa a quantidade de água necessária para a completa hidratação do cimento; e a segunda representa a quantidade de água adicional necessária para obter uma trabalhabilidade adequada (água de trabalhabilidade). Dessa maneira, o concreto ideal deverá conter água suficiente para desenvolver a resistência máxima do cimento e ao mesmo tempo fornece as propriedades reológicas necessárias ao seu lançamento.

Ressaltando que, para o concreto de alto desempenho, o fator água/cimento é bem reduzido se comparado com o concreto convencional, o que dificulta a sua trabalhabilidade.

## **2.3. BORRACHA NO BRASIL**

De acordo com Cherobim (1983), em 1495, Cristóvão Colombo já observava a borracha brasileira; entretanto, apenas em 1743, quando o naturalista francês Charles Marie la Condamine descreveu o processo de extração e fabricação da goma de látex



é que a borracha gerou interesses comerciais. As regiões mais produtivas estão nas terras do Acre.

Silva (2005) destaca que a produção da borracha desenvolveu grande parte da Amazônia, junto com o Departamento de Loreto, no Peru, com capital em Iquitos e a maior parte da produção era pelo Rio Amazonas. Manaus e Belém geraram grandes riquezas com as tarifas alfandegárias através da instalação das empresas estrangeiras na região. Entre o ano de 1827 até a primeira década do século XX, foram produzidas em torno de 80 mil toneladas de borracha na região.

#### 2.4. PRODUÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA TRITURADA DE PNEUS

Segundo Genslanger, (1906), existe um superávit elevado de borracha no Brasil e no mundo, conforme a Universidade de Vrije, na Holanda. Foi averiguado que são produzidos no mundo 2 milhões de novos pneus por dia, ou seja, 730 milhões de pneus só no Brasil são descartados, 17 milhões de pneus no mundo e, desse valor, 40 % é borracha que poderia ser reutilizada em uma outra situação ou recicladas.

Antes do processo da trituração da borracha é necessária vulcanizar a borracha como já foi dito antes para que ela possa ter a característica da elasticidade e principalmente perder a sua sensibilidade a temperatura, este processo é a combinação química perante os corpos que são denominados de agentes vulcanizantes, resultando ao processo pelo qual a borracha adquire a característica de sofrer deformações, e retomar suas dimensões iniciais (BULLETIN, 1999).

Depois da borracha vulcanizada, pode-se realizar o processo de trituração. Perante Padilla (1999), o processo da produção de resíduos da borracha é bem simples. Sendo realizada em quatro etapas, sendo elas:

1° Limpeza: depois de selecionar o material, ele deve ser lavado para a retirada de impurezas como ferros e arames que possam estar conectados ao material.

2° Trituração: termo denominado para a transformação de pneus em sílices (pedaço). Nesse processo de trituração, a máquina é refrigerada com água para poder resfriar as facas que posteriormente possam cortar e triturar o pneu. A máquina que geralmente é utilizada no processo é o triturador.

3° Re-Moagem: processo de transformação em grão de borracha. Nesse processo, as máquinas trituram a borracha novamente, porém em uma velocidade maior.

4° Separação: depois de realizada a trituração, a borracha deve ser separada através de um filtro, onde esse filtro vai separar os resíduos da borracha de impurezas como pó, entre outras substâncias que possam ter sido trituradas.

## 2.5. UTILIZAÇÃO DA BORRACHA NA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Pedro (2011) retrata que alguns materiais reciclados estão sendo incorporados na construção civil, por necessitarem de matérias-primas sustentáveis. A inserção desses materiais pode ser feita junto à massa ou na substituição de agregados, onde a borracha pneus vem sendo testada como substituição de um agregado, na fabricação de argamassas de acabamento e pavers.

Segundo Granzotto (2010), a utilização do pneu inservível como resíduo é ideal, por trazer uma certa facilidade de manuseio e transporte, assim não gerando riscos para quem a controla. De certo modo, a borracha inservível é encontrada com muita facilidade em diversas cidades, facilitando assim a sua reciclagem.

Silva et al. (2019) realizou uma pesquisa que tinha o cunho de inserir resíduos de borracha em proporções de 6% e 9% em um concreto que seria destinado à fabricação de lajes intertravadas. O resultado do estudo foi satisfatório, por demonstrar que existe a viabilidade técnica, ambiental e econômica dessa utilização.

Albuquerque (2009) relata que a construção civil tem recebido uma grande participação da borracha, pois tem grande utilidade na produção de concretos e também na produção de argamassas para reboco, visto que suas características elásticas facilitam na redução de trincas. Alguns estudos apontam que o uso da borracha na construção civil pode ser efetivo em outras áreas também, resguardando o aperfeiçoamento de técnicas para sua utilização.

Bernardi (2019) realizou alguns estudos sobre os benefícios da utilização da borracha em pó na fabricação de alguns revestimentos da construção civil. Ele chegou à conclusão de que o acréscimo de pó no estado endurecido do concreto tende a desfavorecer as resistências à tração na flexão e também de compressão axial, porém foi visto que houve uma redução na absorção de água pelas argamassas pelo aumento do pó de borracha. A mistura realizada com pó de borracha de pneus inservíveis traz melhorias no manuseio e na absorção da argamassa, mesmo que essa mistura apresente baixos valores de resistência mecânica.

Mayer Filho (2006) e Granzotto (2010) reforçam que a produção de concreto com borrachas de pneus recicláveis auxilia na diminuição de poluição e reduz impactos gerados pela extração dos seus agregados. Com a adição da borracha, o custo final pode diminuir, gerando uma economia na obra mediante um material que pode ser adquirido com facilidade.

Basquer (2014) afirma que em concretos asfálticos é possível retardar fissuras se utilizar borracha de pneus em sua fabricação, assim melhorando a resistência do asfalto. Essa possibilidade é devida às características elásticas que as borrachas apresentam dentre suas propriedades mecânicas.

Romualdo et al. (2011) relata que, adicionando o equivalente a 5% de fibras de pneus em concreto para pavimentação de calçadas, ocorre o ganho de características de flexibilidade e também em outras propriedades mecânicas desse concreto, porém ele perde parte de sua resistência.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1. DA COLETA DE DADOS

O intuito deste estudo é analisar o comportamento do concreto utilizando a fibra de borracha de pneu como substituição em parte do agregado miúdo. Para a realização desse concreto, foram usados os seguintes componentes:

- Cimento;
- Agregado miúdo (areia lavada);
- Agregado miúdo (fibra de borracha de pneu);
- Agregado graúdo;
- Super plastificante;
- Sílica Ativa;
- Água.

*Tabela 3 - Tabela de Relação Água/Cimento*

RELAÇÃO A/C	FAIXA DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (Mpa)
0.40 - 0.35	50 - 75
0.35 - 0.30	75 - 100
0.30 - 0.25	100 - 125
0.25 - 0.20	> 125

*Fonte: Aitcin (2000)*

Foi utilizada a relação a/c de 0.24, com objetivo de obter uma maior resistência. Por se tratar de um concreto que busca maior desempenho, quanto menor a relação a/c, maior será sua resistência.

*Tabela 4 - Resumo dos Ensaios dos Corpos de Prova*

ENSAIOS DOS CORPOS DE PROVAS			
TRAÇO	ENSAIO	NUMERO DE AMOSTRAS	IDADE DE ROMPIMENTO
A	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL	12	3, 7 e 28 dias
B	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL	12	3, 7 e 28 dias

*Fonte: Autoria própria (2024)*

Para a realização deste estudo de caso foi realizado dois tipos de traços, por se tratar que a análise será feita de duas formas distintas, um traço para o concreto com utilização de fibra de borracha substituindo 10% do agregado miúdo e por último utilizando fibra de borracha substituindo 15% do agregado miúdo.

Tabela 5 – Traço do concreto (Kg)

Cimento	Areia	Brita	Água	Sílica Ativa	Aditivo
1	: 1,24	: 1,83	: 0,24	: 0,10	: 0,020

Fonte: Autoria própria (2024)

### 3.1.1. Identificação das características dos

#### 3.1.1.1. Cimento

O cimento utilizado foi o CP II – F40, pois na região de Rondônia é utilizado como cimento estrutural para obter resistência a 40 MPa, maior que a resistência do cimento comum utilizado em obra, que chega em média 25 MPa. Fornecido pela empresa Votorantim, sediada na cidade de Porto Velho – RO.

##### 3.1.1.1.1 Determinação da massa específica do cimento

Este ensaio foi realizado nos parâmetros estabelecidos da norma NBR NM 23 (2001). Inicialmente preencheu-se o frasco Le Chatelier com o auxílio de um funil de haste longa com líquido que não reage com o cimento até atingir o nível entre 0 e 1 cm<sup>3</sup>.

O frasco então foi colocado em banho no termorregulador para que a temperatura do frasco fique semelhante à temperatura ambiente. Registra-se então a primeira leitura do volume denominado e volume inicial. Em seguida, foi introduzida uma amostra de 60g de cimento no mesmo frasco, tampando-o e girando-o de posição inclinada até parar de emergir bolhas para a superfície do líquido. Por final, se fez uma nova leitura do volume denominado e volume final, então se obteve a massa específica do cimento através da divisão da massa da amostra pela diferença dos volumes.

Tabela 6 – Massa específica do cimento CP II – F40

Nº da Amostra	Massa da Amostra (g)	Leitura dos Volumes (cm <sup>3</sup> )		Diferença de volume (Vf - Vi)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
		Inicial Vi	Final VF		
A1	60	0	19,67	19,67	3,05
A2	60	0	19,67	19,67	3,05
Resultado final					3,05

Fonte: Autoria própria (2024)

O teste comprovou que a massa da partícula do cimento CP II – F40, ou seja, a massa real, é menor do que de um cimento convencional que em média possui uma massa de 3,12 g/cm<sup>3</sup>. Será usado para a determinação do traço do concreto o resultado obtido neste ensaio.

### 3.1.1.2. Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi retirado do rio Jamari, localizado na cidade de Ariquemes – RO e fornecido pela empresa Marplen materiais de construção, que tem sua sede em Ariquemes.

#### 3.1.1.2.1. Secagem do agregado miúdo

A areia foi levada para a estufa para secar por 24 horas à temperatura de 105 °C seguindo a NBR NM 52 (2009), para retirar toda umidade e ser utilizada no ensaio de granulometria.

Figura 2 - Agregado miúdo sendo levado para estufa



Fonte: Autorial própria (2024)

#### 3.1.1.2.2. Determinação da curva granulométrica da areia

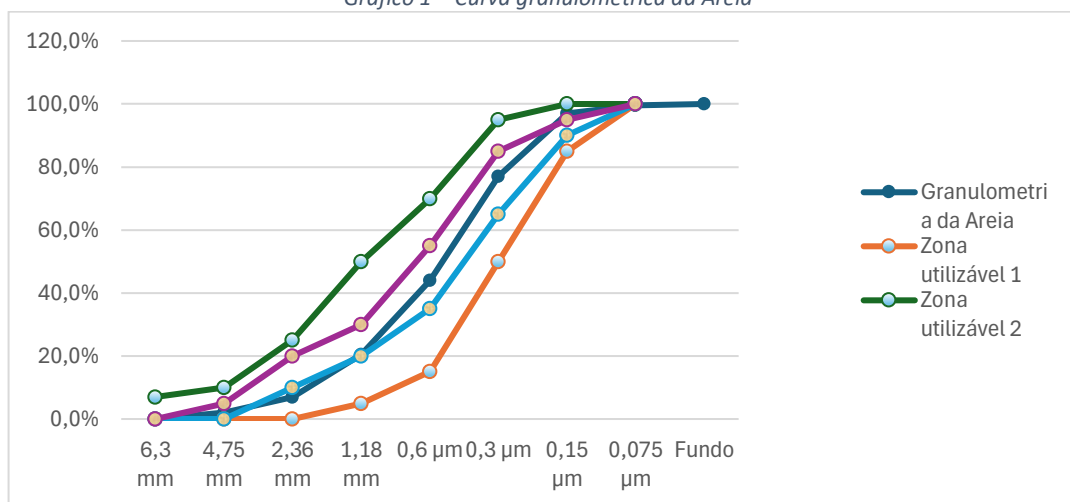
Para a realização da curva granulométrica do agregado miúdo, utilizaram-se 1000g de areia. Seguindo as especificações da NBR 7211 (2009), foram utilizadas as peneiras 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6  $\mu\text{m}$ , 0,3  $\mu\text{m}$ , 0,15  $\mu\text{m}$  e 0,075  $\mu\text{m}$ . Seguindo o passo a passo da NBR NM 248 (2001) e assim com dados obtidos, foi realizada a curva granulométrica e análise do agregado miúdo.

Tabela 7 – Tabela granulométrica da Areia

Peneira	Peso retido (g)	% Retida			Especificação: NBR 7211			
		Individual	Acumulada	Passa	Limites inferiores		Limites superiores	
					Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
6,3 mm	0	0,0%	0,0%	100,0%	0	0	0	7%
4,75 mm	20	2,0%	2,0%	98,0%	0	0	5%	10%
2,36 mm	50	5,0%	7,0%	93,0%	0	10%	20%	25%
1,18 mm	135	13,5%	20,5%	79,5%	5%	20%	30%	50%
0,6 µm	235	23,5%	44,0%	56,0%	15%	35%	55%	70%
0,3 µm	330	33,0%	77,0%	23,0%	50%	65%	85%	95%
0,15 µm	200	20,0%	97,0%	3,0%	85%	90%	95%	100%
0,075 µm	25	2,5%	99,5%	0,5%	100%	100%	100%	100%
Fundo	5	0,5%	100,0%	0,0%				
Total	1000	100,0%	447,0%					
D. máx do agregado: 4,75 mm				Módulo de finura do agregado: 2,48				

Fonte: Autoria própria (2024)

Gráfico 1 – Curva granulométrica da Areia



Fonte: Autoria própria (2024)

O módulo de finura do agregado foi de 2,48, ou seja, classificou a areia como uma areia média, o que não é bom, pois quanto menor o módulo de finura maior é a quantidade de água necessária para colocar no concreto para se obter a mesma trabalhabilidade e então, com esse acréscimo a resistência do concreto diminui. Cabe salientar que é possível notar que a areia do rio Jamari está dentro da zona utilizável para agregados miúdos conforme NBR 7211(2009).

### 3.1.1.2.3. Determinação da massa específica da areia

A massa específica da areia foi obtida com base nas recomendações da NBR 9776 (1987). Com a utilização do frasco de Chapman e duas amostras de 500g do

agregado miúdo, foi possível determinar a massa. O processo utilizou 200ml de água no frasco e em seguida acrescentou a amostra de areia, logo após fazer a diferença de volume depois e antes de acrescentar a areia, isso para as duas amostras.

Figura 3 – amostra 01 (500g)



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 4 – amostra 02 (500g)



Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 8 – Tabela da massa específica da Areia

Nº da Amostra	Massa da Amostra (g)	Leitura dos Volumes (cm <sup>3</sup> )		Diferença de volume (Vf-Vi)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
		Inicial Vi	Final VF		
A1	500	200	391	191	2,61
A2	500	200	385	185	2,7
Resultado final					2,65

Fonte: Autoria própria (2024)

#### 3.1.1.2.4. Teor de umidade da areia

Foi retirada uma amostra de areia de 1000g, tendo sido levada para a estufa onde permaneceu por 24 horas, onde a mesma amostra foi repesada para saber o peso da areia seca. Com os dados coletados, foi utilizada a fórmula de teor de umidade seguindo a NBR 6457 (2016).

Equação 1 – Teor de umidade

$$W = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100$$

Fonte: Autor (NBR 6457 (2016))

O teor de umidade encontrado foi de 1,01%, ou seja, pode-se analisar que o agregado miúdo estava com pouca umidade em seu primeiro estado natural, sendo assim, foi passado pelo processo de secagem para não atrapalhar a dosagem do traço.



### 3.1.1.3. Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado no trabalho foi proveniente da Marplen materiais de construção localizada em Ariquemes – RO, foi adquirido nesta loja devido à disponibilidade do material.

#### 3.1.1.3.1. Secagem do agregado graúdo

A brita foi levada para a estufa para secar por 24 horas à temperatura de 105 °C seguindo a NBR NM 52 (2009), para retirar toda umidade e ser utilizada no ensaio de granulometria.

Figura 5 - Agregado graúdo sendo levado para estufa



Fonte: Autoria própria (2024)

#### 3.1.1.3.2. Determinação da curva granulométrica da brita

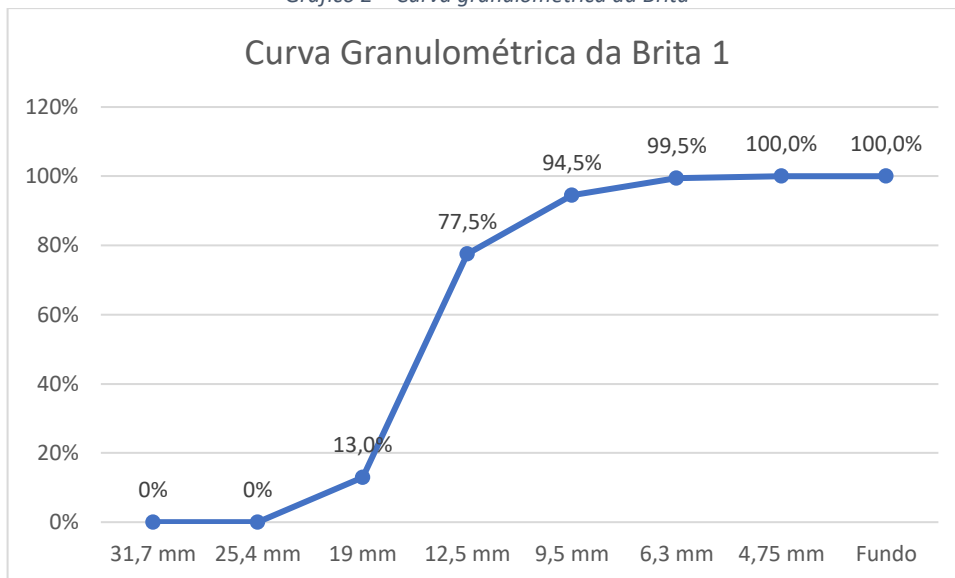
Este ensaio é semelhante ao do agregado miúdo, seguindo as normas da NBR NM 248 (2001) e NBR 7211 (2009). Foram utilizadas as peneiras 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm e 4,75 mm.

Tabela 9 – Tabela granulométrica da Brita

Peneira	Peso retido	% Retida		
		Individual	Acumulada	Passa
31,7 mm	0	0%	0%	100%
25,4 mm	0	0%	0%	100%
19 mm	130	13,0%	13,0%	87%
12,5 mm	645	64,5%	77,5%	23%
9,5 mm	170	17,0%	94,5%	6%
6,3 mm	50	5,0%	99,5%	0%
4,75 mm	5	0,5%	100,0%	0%
Fundo	0	0,0%	100,0%	0%
Total	1000	100,0%	484,5%	
D. máx do agregado: 19,0 mm				
Módulo de finura do agregado: 2,08				

Fonte: Autoria própria (2024)

Gráfico 2 – Curva granulométrica da Brita



Fonte: Autoria própria (2024)

O diâmetro máximo característico foi de 19 mm, o que classifica o agregado como brita 1(um), que é a mais recomendada para o concreto de alto desempenho.

### 3.1.1.3.3. Determinação da massa específica da brita

A massa específica da brita foi fornecida pela empresa que forneceu o agregado graúdo, informaram que a massa é de 2,61 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 10 – Tabela da massa específica da Brita

Material	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
Brita 1	2,61
Resultado final	2,61

Fonte: Autoria própria (2024)

### 3.1.1.3.4. Teor de umidade da brita

O teste de teor de umidade foi realizado com os mesmos processos utilizados para fazer o do agregado miúdo, seguindo a NBR 6457 (2016).

O teor de umidade encontrado foi de 0,5 %, ou seja, conclui-se que o agregado graúdo estava praticamente sem umidade, o que, conseqüentemente, não irá afetar na trabalhabilidade e na resistência final do concreto.

### 3.1.1.4. Borracha

A fibra de borracha de pneu foi obtida pela empresa Renop Renovadora de Pneus, localizada na cidade de Ariquemes - RO, sendo material procedente de reciclagem. Para o material estar apto a ser utilizado como agregado miúdo, foi necessário passar por uma peneira #4,75 mm.

#### 3.1.1.4.1. Massa específica da borracha

A massa específica da borracha foi fornecida pela própria empresa que forneu o material, sendo 1,19 g/cm<sup>3</sup>.

*Tabela 11 – Tabela da massa específica da Borracha*

Material	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
Borracha	1,19
Resultado final	1,19

*Fonte: Autoria própria (2024)*

### 3.1.1.5. Sílica ativa

A sílica ativa (Figura 6) foi fornecida pela empresa Viapol sediada na cidade de Caçapava – SP, mas adquirida na loja de Porto Velho - RO, produto utilizado na fabricação de concreto estrutural. Massa específica de 2,2 g/cm<sup>3</sup> fornecida pela empresa.

*Figura 6 – Sílica Ativa*



*Fonte: Autoria própria (2024)*

Tabela 12 – Tabela da massa específica da Sílica Ativa

Material	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
Sílica Ativa	2,20
Resultado final	2,20

Fonte: Autoria própria (2024)

### 3.1.1.6. Aditivo

Foi utilizado o aditivo Superplastificante (Figura 7) para ser possível baixar o fator água/cimento sem que o concreto perca sua trabalhabilidade, produto fornecido pela empresa Nova Mina, sediada na cidade de Ariquemes – RO.

Figura 7 – Superplastificante



Fonte: Autoria própria (2024)

## 3.2. PROCEDIMENTO

### 3.2.1. Preparo do concreto

Inicialmente, foi feita a separação dos materiais suficientes para ser feita a produção de 24 corpos de prova cilíndricos, como mostra a Figura 8, sendo 12 corpos para cada traço. Sendo feita a separação de 4 corpos de prova para cada rompimento em 3 dias de cura, 7 dias de cura e 28 dias de cura de cada traço. O procedimento realizado para a fabricação do concreto foi seguindo as normas da NBR 12655 (2015).

Figura 8 – Corpos de prova



Fonte: Autoria própria (2024)

### 3.2.2. Consistência pelo abatimento do tronco de cone

A realização deste ensaio, também conhecido como “Slump Test”, foi realizado para cada traço de concreto seguindo a NBR NM 67 (1996). Foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, para cada um dos traços.

O abatimento obtido pelo “*Slump test*” utilizando estes traços foi de 30 mm, muito abaixo do desejado de aproximadamente 160 mm, portanto, foi adicionado mais água aos poucos juntamente com aditivo superplastificante. O processo foi repetido duas vezes até então se encontrar um abatimento de 180 mm. Apesar da excessiva fluidez, optou-se em utilizar este traço para atingir a resistência estabelecida pelos objetivos.

Figura 9 – Slump Test



Fonte: Autoria própria (2024)

### 3.2.3. Moldagem dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova foi realizada em três camadas e em cada uma das camadas foi realizado um adensamento Manual com 12 golpes com uma haste metálica, mesma utilizada no “slump test”, conforme norma da NBR 5738 (2015), com a conclusão da moldagem dos corpos foi utilizado uma colher de pedreiro para realizar a nivelção do topo dos corpos de prova.

### 3.2.4. Cura dos corpos de prova

Com a conclusão das etapas anteriores, fez-se a desmoldagem dos corpos após a secagem de cada um, que levou aproximadamente 24 horas. Em seguida, foram submersos em uma caixa d’água até o dia de seus rompimentos em 3, 7 e 28 dias.

*Figura 10 – Cura dos corpos de prova*



*Fonte: Aatoria própria (2024)*

### 3.2.5. Ruptura dos corpos de prova

Os rompimentos dos corpos de prova foram realizados na máquina universal eletro hidráulica no Centro Universitário FAEMA - UNIFAEMA, seguindo a NBR 5739 (2007). O rompimento seguiu o cronograma dos dias estabelecidos na cura dos corpos de prova, com os dados obtidos foram realizados o estudo comparativo dos três tipos de traços e assim chegando a uma conclusão.

Figura 11 – Ruptura dos Corpos de prova



Fonte: Autoria própria (2024)

### 3.2.5.1. Concreto com adição de borracha

A Tabela 13 apresenta a resistência à compressão axial dos corpos de prova.

Tabela 13 – Resistência à compressão dos corpos de prova moldados com adição da borracha

Corpos de Prova	Idade (Dias)	Resistência à Compressão (MPa)	Média da Resistência (MPa)
Traço A (10%)	3	0,79	4,23
Traço A (10%)	7	0,92	
Traço A (10%)	28	10,99	
Traço B (15%)	3	0,86	0,88
Traço B (15%)	7	0,82	
Traço B (15%)	28	0,95	

Fonte: Autoria própria (2024)

Observa-se que o concreto com a adição da borracha obteve um resultado ruim, tendo uma resistência inferior que a resistência mínima de um concreto normal. No traço A, que possui uma adição de 10% de borracha no agregado miúdo, não atingiu nem 1 MPa durante os 7 dias de cura, obtendo uma resistência de 10,99 MPa no dia 28. No traço B, que possui adição de 15% de borracha no agregado miúdo, sua resistência não ultrapassou de 1 MPa durante os 28 dias. Tendo demonstrado resultados desagradáveis, ao manter resistências inferiores a um concreto normal, mostrando que a utilização da borracha para substituir parte do agregado miúdo é imprópria para a construção civil.

#### **4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Observando os resultados obtidos neste trabalho, é possível fazer a análise da trabalhabilidade e da resistência à compressão do concreto com adição de borracha, de acordo com os dois traços apresentados.

Com relação à trabalhabilidade do concreto, foi verificado que a utilização da borracha no agregado fez com que essa trabalhabilidade diminuísse comparada com o uso do concreto convencional. Porém, a borracha não supriu as características da areia e afetou a reação química e física do concreto, prejudicando sua resistência. A utilização do cimento CP II – F40 não supriu característica de resistência inicial alta, com 28 dias, o concreto não teve o resultado esperado.

Analisando a resistência à compressão, percebe-se que nenhum dos traços obteve resultados bons, não conseguiram nem alcançar uma resistência de um concreto convencional de obra que resiste a 25 MPa. Mesmo assim, teve uma diferença considerável dos dois traços estudados. Nos primeiros 7 dias de cura, não houve uma diferença significativa entre elas, já no dia 28, o traço B, que possui 15 % de adição de borracha, não ultrapassou 1 MPa e o traço A alcançou a resistência de 10,99 MPa.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos aplicando outros materiais no traço do concreto convencional vêm sendo desenvolvidos e cada vez mais se aperfeiçoando. As adições minerais, como a sílica ativa utilizado no presente trabalho, vêm apresentando um grande potencial quando unidos ao uso de aditivos químicos, como, por exemplo, o superplastificante. Isso possibilita o desenvolvimento de concretos com suas propriedades melhoradas, dando ao mercado novas possibilidades no ramo da construção civil.

Com base nos ensaios realizados, notou-se que os traços feitos com a adição da borracha apresentou uma baixíssima resistência. Aos 28 dias, acredita-se que tal verificação possa estar relacionada à superfície específica dos grãos da borracha, e pela estrutura química da borracha, como, por exemplo, a sua elasticidade pode ter interferido na resistência do concreto.

Analisando os resultados alcançados, foi comprovado que a borracha não pode ser utilizada como material secundário para a composição do concreto substituindo parte do agregado miúdo. Pois o concreto com a borracha não atingiu a resistência esperada, principalmente nos 7 primeiros dias, que não ultrapassou 1 MPa, não tendo variação nos corpos de provas.

Com os resultados alcançados, pode-se comprovar que a utilização do cimento CP II – F40 e da borracha no concreto do estudo não pode ser utilizada devido à sua baixíssima resistência. A utilização da borracha prejudicou a reação química do concreto e sua característica elástica tirou a durabilidade do concreto, devido a isso tornou-se um concreto descartado para o uso na construção civil.

## REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova – Especificação. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776**: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

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

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

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

AÏTCIN, Pierre Claude. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo Ed. Pini 2000. p.668.

ALMEIDA, I. R. **Influência da microssílica e do superplastificante na durabilidade dos concretos**. In: Seminário O Concreto - A utilização da sílica ativa em sua composição, Rio de Janeiro, 1996.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 363. State-of-the-art report on high strength concrete, ACI 363R-92 (Reapproved 1997). **ACI Manual of Concrete Practice 2001**. ACI, Detroit (USA), 2001. p.55.

BASQUER, F.S, Sustentabilidade na Construção Civil, **O uso do Asfalto Borracha. Asfaltos Modificados**, Rio de Janeiro, 2014.

CASTRO, A. L. **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho**. São Carlos, 2007. Tese (Doutorado em Engenharia dos Materiais) – Universidade de São Paulo.

MARTINS, I. R. F. **Concreto de alto desempenho com adição de resíduos de borracha de pneu**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2005.

MEHTA, P. K.; AÏTCIN, P. C. Principles underlying production for High Strength Performance concrete. **Cement, concrete & aggregates**. V. 12, n.2, 1990. p. 70-78.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3 ed. São Paulo: Pini, 2008.

MENDES, S. E. S. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba.** Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: PINI, 1997.

SILVA, M. de A. **A Borracha passada na História: Os Soldados da Borracha durante a Segunda Guerra.** Monografia para obtenção do grau de Bacharel em História. Universidade do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: 2005. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/15856847/SILVA-MARIA-A-Borracha-passa-na-Historia-Os-Soldados-da-Borracha-na-Segunda-Guerra-Mundial>> Acesso em: 11 fev. 2019.

## RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PLÁGIO

**DISCENTE:** Carlos Eduardo Souza Lima

**CURSO:** Engenharia Civil

**DATA DE ANÁLISE:** 25.10.2024

### RESULTADO DA ANÁLISE

#### Estatísticas

Suspeitas na Internet: **3,19%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet [▲](#)

Suspeitas confirmadas: **2,96%**

Confirmada existência dos trechos suspeitos nos endereços encontrados [▲](#)

Texto analisado: **84,5%**

*Percentual do texto efetivamente analisado (frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).*

Sucesso da análise: **100%**

*Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.*

Analisado por Plagius - Detector de Plágio 2.9.4  
quinta-feira, 25 de outubro de 2024

### PARECER FINAL

Declaro para devidos fins, que o trabalho do discente CARLOS EDUARDO SOUZA LIMA n. de matrícula 43998 do curso de Engenharia Civil, foi aprovado na verificação de plágio, com porcentagem conferida em 3,19%. Devendo o aluno realizar as correções necessárias.

Assinado digitalmente por: ISABELLE DA SILVA SOUZA  
Razão: Responsável pelo documento  
Localização: UNIFAEMA - Ariqueme/RO  
O tempo: 25-10-2024 21:34:23

**ISABELLE DA SILVA SOUZA**  
**Bibliotecária CRB 1148/11**  
Biblioteca Central Júlio Bordignon  
Centro Universitário Faema – UNIFAEMA