

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE FIBRAS METÁLICAS,  
OBTIDAS DA RECICLAGEM DE EMBALAGENS, EM CONCRETOS.**  
**(Fibras de Latas de Tinta PVA)**

**HENRY CARLOS BOERO COSTA**

**MANAUS**  
**2017**

**HENRY CARLOS BOERO COSTA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE FIBRAS METÁLICAS,  
OBTIDAS DA RECICLAGEM DE EMBALAGENS, EM CONCRETOS.  
(Fibras de Latas de Tinta PVA)**

Orientador: Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho.

**MANAUS  
NOVEMBRO / 2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**HENRY CARLOS BOERO COSTA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE FIBRAS METÁLICAS,  
OBTIDAS DA RECICLAGEM DE EMBALAGENS, EM CONCRETOS.**  
**(Fibras de aço de latas de tinta PVA)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Materiais

Orientador: Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho

**MANAUS**  
**NOVEMBRO /2017.**

## Ficha Catalográfica

Boero Costa, Henry Carlos

Estudo da viabilidade técnica do uso de fibras metálicas, obtidas da reciclagem de embalagens, em concretos / Henry Carlos Boero Costa. – Manaus, 2017.

130f.; il. color, 31 cm.

Orientador: Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas.

1. Concreto 2. Fibras de aço 3. Concretos com fibras de aço 4. Reciclagem de embalagens metálicas. I. Melo Filho, João de Almeida (Orientador) II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

**HENRY CARLOS BOERO COSTA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE FIBRAS METÁLICAS,  
OBTIDAS DA RECICLAGEM DE EMBALAGENS, EM CONCRETOS.  
(Fibras aço de latas de tinta PVA)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**Aprovada, em 07 de novembro de 2017.**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho, D. Sc, Orientador  
Universidade Federal do Amazonas

---

Prof. Raimundo Pereira de Vasconcelos, D.Sc, Membro

---

Prof. Dr. Jean Carlos Silva Andrade, D.Sc, Membro

## AGRADECIMENTOS

A Deus Pai Todo Poderoso, por nos proporcionar a vida e a Natureza. Alvo constante de investigação das Engenharias. Oferecendo-nos infinitas e constantes surpresas a cada dia.

Ao meu pai e minha mãe, *in memoriam*, motivadores de nosso avanço na vida profissional e intelectual.

A minha esposa que ancora um porto seguro a minha vida, sendo madrinha dos incentivos de progressos dentro de toda família.

Ao Prof. João Melo Filho, pela dedicada orientação a trabalhos importantes não só de utilidade científica, bem como de alcance social, confirmando que a importância da Engenharia é distribuir bem estar e renda a todos os seguimentos sociais.

Ao Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos, pelos esclarecimentos impecáveis dados para a realização de minha pesquisa.

Aos professores da UFAM pela dedicação e zelo no ministério do ensino, passando informações fundamentais para a concepção da aprendizagem e regramento das metodologias científica da abordagem de cada disciplina até o trabalho atual.

Ao Geomensor e amigo Wagner, profissional dedicado, pelos trabalhos de geoprocessamento de áreas, alvo dos estudos.

Ao Professor Dr. Luís Edmundo, pela orientação nos ensaios de Microscopia Óptica e Eletrônica de Varredura, na UFBA.

A FARO e seus funcionários pelo salto de qualidade no ensino das Engenharias no Estado de Rondônia.

A meu tio Edmilson Barroso da Costa, que acompanhou e motivou as pessoas em todas as fases de seleção, medição e cortes das fibras de aço, observando milimetricamente as dimensões das fibras.

Aos catadores de latas que participaram da seleção, limpeza e corte das latas. Seguimento social importante para os pesquisadores.

A todos os Engenheiros, “*in memoriam*”, que se dedicaram a construção da Estrada de Ferro Madeira Mamoré – EFMM, berço da origem de Rondônia.

*"Concreto, não há material mais consumido pelo homem em tamanha quantidade, com exceção da água".*

*Scientific American, Brunauer e Capeland.*

## RESUMO

As embalagens metálicas de acondicionamento de tintas de acabamento, como as de PVA, em geral são descartadas em lixões, levando cerca de cinco anos para a sua degradação natural, causando um impacto ao meio ambiente. Sem qualquer tipo de reaproveitamento. Estima-se que somente na cidade de Porto Velho são descartadas 648.000 unidades por ano, segundo a Associação Comercial de Rondônia. Para tanto, procurou-se mostrar a sua utilização como uma fibra metálica adicionada no concreto, submetendo o compósito, aos ensaios de resistência mecânica à compressão axial, resistência de compressão diametral, e a resistência à tração na flexão em corpos prismáticos. Os resultados obtidos são, embora que ainda iniciais, promissores principalmente nos resultados dos ensaios que se obtém aos 28º dias, dos corpos de prova com a adição de fibras submetidos a compressão axial, a tração diametral e a tração à flexão. A adição de fibras metálicas promoveu um aumento de resistência, em relação ao concreto de referencia, de até 20,28%, na tração à flexão em corpos prismáticos, sendo um bom indicador para que os estudos possam continuar, em se tratando de um material de baixo custo e de alto índice presente nos resíduos sólidos provenientes da construção civil. Observou-se a importância do ajuste no fator de forma, da fibra de aço, necessário para melhorar ainda mais o desempenho do concreto. Nos ensaios realizados através de Microscopia Eletrônica de Varredura e Óptica, verifica-se a evidente diminuição das fraturas a medida que se aumenta o percentual de fibras na matriz cimentícia e a boa incorporação das fibras no concreto dosado. Esses resultados ganham interesse social e ambiental, insere as embalagens de aço na coleta seletiva agregando um valor econômico ao material e a renda do catador, e ao mesmo tempo que diminui o número de latas de tinta PVA descartadas nos “lixões”.

**Palavras-chaves:** concreto, fibras de aço, concreto com fibras de aço, resistência mecânica.

## **ABSTRACT**

The metal packaging for finishing paints, such as PVA, they are usually discarded in dumps, taking about five years for their natural degradation, causing an impact on the environment. Without any kind of reuse. It is estimated that only in the city of Porto Velho 648,000 units are discarded per year. In order to do so, it was tried to show its use as a metallic fiber added in the concrete, subjecting the composite to the tests of mechanical resistance to axial compression, diametral compression resistance, and tensile strength in bending in prismatic bodies. The results obtained are, although still early, promising mainly in the results of the tests that are obtained at the 28th day of the test specimens with the addition of fibers subjected to axial compression, diametral traction and flexural traction. The addition of metallic fibers increased the resistance, in relation to the reference concrete, of up to 20.28%, in the flexural traction in prismatic bodies, being a good indicator so that the studies can continue, in the case of a material low cost and high index present in solid waste from construction. It was observed the importance of the adjustment in the form factor, of the steel fiber, necessary to further improve the performance of the concrete. In the tests carried out by Scanning and Optical Electron Microscopy, the evident reduction of fractures is verified as the percentage of fibers in the cement matrix increases and the fiber incorporates in the concrete. These results gain social and environmental interest, inserts the steel containers in the selective collection adding an economic value to the material and the income of the people who work in recycling, while at the same time reducing the number of cans of PVA paint discarded in the landfills.

**Keywords:** concrete, steel fibers, concrete with steel fibers, mechanical strength.

## SUMÁRIO

<b>1.0 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1 – Justificativa.....	18
1.2 – Objetivos.....	19
<b>1.2.1 – Objetivo geral.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2 – Objetivos específicos.....</b>	<b>19</b>
1.3 – Estrutura do trabalho .....	20
<b>2.0 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
2.1 – Síntese histórica do concreto .....	21
2.2 – Concreto reforçado com fibras .....	22
2.3 – As fibras de aço .....	26
<b>2.3.1 – Considerações gerais .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.2 – Fibras de embalagens de aço – latas de tinta PVA .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.2.1 – Introdução a história do surgimento da lata.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.2.2 – Caracterização da produção de latas de aço.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.2.3 – Vantagens das embalagens de aço.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.2.4 – Reciclagem das embalagens de aço .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.2.5 – O volume de embalagens de aço reciclado .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.2.6 – Principais características da lata de aço.....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.2.7 – Especificação da folha de aço .....</b>	<b>31</b>
<b>2.3.2.8 – Latas de aço e a tinta imobiliária no Brasil.....</b>	<b>33</b>
<b>2.3.3 – Volume crítico de fibras.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.4 – O comprimento crítico da fibra de aço.....</b>	<b>36</b>
<b>3.0 – MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
3.1 – Materiais – descrição e ensaios de caracterização.....	39
<b>3.1.1 – As fibras de aço de embalagens .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1.2 – Caracterização dos Materiais Empregados .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.2.1 – Cimento .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.2.2 – Areia Lavada.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.2.3 – Brita .....</b>	<b>48</b>
<b>3.1.2.4 – Água .....</b>	<b>50</b>
<b>3.1.2.5 – Aditivo Superplastificante .....</b>	<b>51</b>
<b>3.1.2.6 – Folhas Metálicas .....</b>	<b>51</b>
3.2 – Métodos e técnicas utilizados.....	52
<b>3.2.1 – Caracterização dos Materiais .....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.2 - Definição da dosagem racional e experimental .....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.2.1 – Dosagem com adição de fibras de aço de embalagens.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.3 – Resistência mecânica à compressão axial.....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.4 – Resistência de compressão diametral .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.5 – Resistência à tração na flexão em corpos prismáticos.....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.6 – Análise microestrutural e morfológica do concreto no estado endurecido .....</b>	<b>59</b>
<b>4.0 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>61</b>
4.1 Características dos materiais .....	61
<b>4.1.1 - Ensaio da areia lavada utilizada.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1.2 – Ensaio da brita utilizada .....</b>	<b>64</b>

4.2 – Caracterização física e mecânica do concreto .....	65
<b>4.2.1 – Resistência mecânica à compressão axial.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.2 – Resistência à tração por compressão diametral.....</b>	<b>67</b>
<b>4.2.3 – Resistência à tração na flexão em corpos prismáticos .....</b>	<b>69</b>
4.3 - Análise da microestrutura do compósito .....	70
<b>4.3.1 – Análise da interação fibra e matriz.....</b>	<b>70</b>
<b>4.3.1.1 – Imagens observadas nos corpos de prova REF(F1). .....</b>	<b>71</b>
<b>4.3.1.2 – Imagens observadas nos corpos de prova com 0,5%(F2). .....</b>	<b>72</b>
<b>4.3.1.3 – Imagens observadas nos corpos de prova com 1,0%(F3). .....</b>	<b>72</b>
<b>4.3.1.4 - Imagens observadas nos corpos de prova com 1,5%(F4).....</b>	<b>73</b>
<b>4.3.2 – Análise da interação fibras e a matriz, através da Microscopia Óptica –MO .....</b>	<b>75</b>
<b>4.3.2.1 – Interação fibra-matriz.....</b>	<b>75</b>
<b>5.0 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>81</b>
<b>6.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>
<b>7.0 – ANEXOS .....</b>	<b>88</b>
ANEXO I – Tabelas de referência adotada na dosagem do concreto .....	88
ANEXO II – Memória da dosagem do concreto para ensaio .....	94
ANEXO III – Dosagem base e com adições de fibras .....	97
ANEXO IV – Ensaios dos agregados – brita 1 e areia natural lavada .....	98
ANEXO V – Estudos de partes dos ensaios .....	102
ANEXO VI – Normas internacionais de fabricações de folhas metálicas .....	129

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Concreto reforçado com fibra de aço onde há compatibilidade com o agregado graúdo .....	24
Figura 2 – Concreto reforçado com fibra de aço onde não há compatibilidade com o agregado graúdo .....	25
Figura 3 – Diferença entre fibras de aço frágil e dúctil, quando inclinadas em relação à superfície de ruptura – (IBRACON 2011) .....	25
Figura 4 – Esquema de concentração de tensões para um concreto sem o reforço de fibras. (IBRACON 2011) .....	26
Figura 5 – Esquema de concentração de tensões para um concreto com o reforço de fibras. (IBRACON). .....	26
Figura 6 – Alguns tipos de fibras de aço existentes no mercado brasileiro.(Dramix).....	27
Figura 7 – Ilustra o processo de produção de aço (ABEAÇO). .....	28
Figura 8 – Meio ambiente–reciclagem. Fonte: ABEAÇO. ....	30
Figura 9 – Compósitos reforçados com fibras teores baixos (A), acima (B) e igual (C) ao valor crítico de fibras durante ensaios da tração a flexão. Fonte: Figueiredo 2000. ....	34
Figura 10 - Distribuições possíveis de tensão ao longo de uma fibra em função do comprimento crítico. Fonte: BENTURE MINDESS, (1990).....	37
Figura 11 – Fator de forma.....	37
Figura 12 – As flechas em laranja indicam local de coleta das latas e a em azul, a jazida da brita utilizada.....	39
Figura 13 – Latas de 18 litros, dimensões .....	40
Figura 14 – Localização e abordagem de algumas latas de tinta PVA, recolhidas que estavam espalhadas no lixão de Porto Velho - RSCC.....	41
Figura 15 –Lateral (a) e fundos das lavas (b) partes aproveitadas para confecção das fibras .	42
Figura 16 – Tesoura para corte e esquadro.....	42
Figura 17 – Tesoura/Guilhotina corta chapa Nº 4 MOTOMIL – Modelo MTC – 04.....	43
Figura 18 – Pacotes de Fibra produzidos, corte padronizado de 2,5cm de comprimento .....	44
Figura 19 – Fibras de aço produzida com 2,5 x 2 x 0,14mm (comprimento largura, largura e espessura). . ....	44
Figura 20 – Fibras de aço selecionadas e pesadas em conformidade com a dosagem estabelecida.....	44
Figura 21 – Laboratório de ensaios de materiais .....	45
Figura 22 – Mapa de localização do ponto onde foi retirado a areia lavada no Rio Candeias	47
Figura 23 – Granito da Suíte intrusiva Santo Antônio .....	49
Figura 24 – Localização das Regiões produtoras da Mineração Região do Santo Antônio do Madeira.....	50
Figura 25 – Adição das fibras no concreto.....	55
Figura 26 – Moldagem dos corpos de prova. ....	56
Figura 27 – Corpo de prova na prensa, ensaio de compressão axial.....	56
Figura 28 – Ensaio à tração à compressão diametral. Fonte: Autor .....	57
Figura 29 – Ensaio do corpo de prova, à tração na flexão do molde prismático.....	58
Figura 30 – Marcação do terço no corpo prismático e a lista de rompimento. ....	58
Figura 31 – Análise Microestrutural da matriz cimentícia.....	59
Figura 32 – Equipamento de microscopia óptica utilizado.. ....	60
Figura 33 – Curva granulométrica da areia.. ....	62
Figura 34 –Acréscimo de resistência na compressão axial . ....	66
Figura 35 –Acréscimo de resistência na compressão diametral.....	68

Figura 36 – Ganhos de resistência nos ensaios da tração na flexão..	70
Figura 37 – Microestrutura do corpo de prova REF (F1).....	71
Figura 38 – Microestrutura do corpo de prova REF (F2).....	72
Figura 39 – Microestrutura do corpo de prova REF (F3).....	72
Figura 40 – Microestrutura do corpo de prova REF (F4).....	73
Figura 41 – Microestrutura do corpo de prova REF (F4).....	73
Figura 42 – Corpos de ensaios sem adição de fibras semelhantes para determinação das fissuras existentes .....	76
Figura 43 – Corpos de ensaios semelhantes sem adição de fibra de aço. ....	76
Figura 44 – Imagens (a), com adição (F2) e (b) com adição (F4).....	76
Figura 45 – Fibra encravada na matriz de cimento com perfeita interação.....	77
Figura 46 – Interação da fibra de aço (MO). . ....	78
Figura 47 – Interação fibra e matriz concreticia (MO), com 1,0% (F3). ....	78
Figura 48 – Interação fibra e matriz concreticia (MO), com 1,5% (F4). ....	79
Figura 49 – Interação fibra e matriz concreticia (MO), com 1,0% (F3). ....	79
Figura 50 – Interação fibra (MO), com a matriz concreticia de 1,5% (F4) . ....	80
Figura 51 – Interação fibra e matriz concreticia (MO), com o compósito de 1,5% (F4) .....	80
Figura 52 – Interação da fibra de aço com o compósito (MO) .....	81

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Valores adotados no CRFA. ....	35
Quadro 02 – Valores para o fator de eficiência $\eta_1$ , majorador do volume crítico em função da direção da fibra .....	36
Quadro 03 – Dimensões das fibras adotadas. ....	41
Quadro 04 – Tesoura/Guilhotina corta chapa. ....	43
Quadro 05 – Característica física da areia utilizada .....	46
Quadro 06 – Classificação do agregado de acordo com as dimensões nominais utilizadas na experiência.....	49
Quadro 07 – Métodos de ensaios.....	52
Quadro 08 – Elementos normativos para definição da dosagem.....	53
Quadro 09 – Quantidade de corpos de prova confeccionados.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Propriedades típicas das fibras .....	22
Tabela 02 – Composição química das folhas de aços .....	31
Tabela 03 – Propriedades mecânicas da folha de aço para embalagens .....	31
Tabela 04 – Especificações da folha de aço .....	32
Tabela 05 – Características garantidas da folha de aço .....	32
Tabela 06 – Propriedades mecânicas das folhas de aço .....	32
Tabela 07 – Propriedades mecânicas para alguns metais .....	33
Tabela 08 – Dimensões das latas 18 litros .....	40
Tabela 09 – As principais normas técnicas utilizadas pelas fabricantes nacionais .....	51
Tabela 10 – Peso total da fibra (Kg) .....	54
Tabela 11 – Resultados dos ensaios da areia lavada .....	61
Tabela 12 – Identificação e Resultados da Análise do Rio Candeias .....	63
Tabela 13 –Resultado dos ensaios de caracterização dos agregados graúdos utilizados na pesquisa .....	64
Tabela 14 – Análise petrográfica do agregado graúdo empregado na pesquisa .....	64
Tabela 15 – Amostra do agregado graúdo empregado na pesquisa. ....	65
Tabela 16 – Estatística compressão axial .....	65
Tabela 17 – Coeficiente da resistência da compressão axial.....	66
Tabela 18 – Dados estatísticos obtidos dos ensaios à tração por compressão diametral .....	67
Tabela 19 – Coeficiente de variação da resistência à tração por compressão diametral .....	67
Tabela 20 – Dados estatísticos obtidos dos resultados dos ensaios de laboratório da resistência à tração na flexão. ....	69
Tabela 21 – Coeficiente de variação da resistência à tração na flexão. ....	69
Tabela 22 –Resumo das dimensões da largura do fio da fratura na ZT - MEV .....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

AASTHO.....	American Association of State Highway and Transportation Officials.
ABCP.....	Associação Brasileira de Cimento Portland.
ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ACI.....	American Concrete Institute.
ASTM.....	American Society for Testing and Materials.
a.C.....	antes de Cristo.
CSI.....	Cement Sustainability Initiative do World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).
Cm.....	centímetro.
Mm.....	milímetro.
µm.....	mícron metro, a milionésima parte do metro (10 <sup>-6</sup> ).
In – polegadas.....	sistema imperial de medidas.
M.I.T.....	Instituto de Tecnologia de Massachusetts.
Mpa.....	megapascal.
NBR.....	Norma Brasileira.
Al.....	alumínio
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	trióxido de alumínio – alumina.
CO <sub>2</sub> .....	dióxido de carbono – gás carbônico.
CP.....	cimento Portland.
Fe.....	ferro.
H.....	hidrogênio.
H <sub>2</sub> O.....	água.
IBRACON.....	Instituto Brasileiro do Concreto.
°C.....	grau Celsius, medida de temperatura, no Sistema Internacional (SI).
C.....	Carbono.
Mg.....	manganês.
P.....	fósforo.
Si.....	silício.
S.....	enxofre.
Cu.....	cobre.
Ni.....	níquel.
Al.....	alumínio.
N.....	nitrogênio.
Cr.....	cromo.
MO.....	microscopia óptica.
MEV.....	microscopia eletrônica de varredura.
WD.....	width dimension (dimensão da largura)

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material de características artificiais que surgiu ao longo do tempo na tentativa do homem moldar, com semelhança a uma rocha natural. Composto por aglomerantes, agregados e água, os concretos adquiriram uma importância tão grande para a sociedade que são atualmente os materiais de construção mais empregados no mundo, (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Com o concreto é possível produzir estruturas com muitas variações de formas, que apresentam resistência à compressão superiores a 300 MPa. No entanto, o concreto tem ruptura frágil e pequena capacidade de deformação, quando comparado com outros materiais estruturais como o aço (MEHTA e MONTEIRO, 1994; FIGUEIREDO, 2005).

O concreto convencional apresenta resistência à tração em torno de 7 a 11% da resistência à compressão. Este comportamento está associado às fissuras que se formam devido à força aplicada ou que se propagam sob tração (FIGUEIREDO, 2005). Em função da sua baixa resistência à tração e ruptura frágil na flexão, comumente para seu uso em estruturas são feitas a incorporação de barras de aço, é o concreto armado.

A tecnologia do concreto, tem avançado em vários campos com o intuito de melhorar cada vez mais o desempenho físico, químico, e mecânico dos concretos, promovendo entre outros: o aumento da durabilidade, redução do peso específico, minimização de aberturas de fissuras, restrição à penetração de substâncias agressivas, aprimoramentos no processo de fabricação, aumento da capacidade de absorção de energia ou tenacidade, aumento da resistência à compressão e aumento da resistência à tração.

Os estudos envolvem tanto a concepção do material em função da sua estrutura, como a determinação da sua vida útil, numa tentativa de se minimizar o seu desgaste, a presença de fraturas e problemas diversos, ocasionados pelo envelhecimento do composto.

As pesquisas iniciaram em meados de 1960, visando a melhoria de algumas propriedades do concreto, dentre elas, a adição de vários tipos de fibras curtas como novos integrantes das matrizes cimentícias (KINNUNEM and NYLANDER, 1960).

Destacando-se as fibras curtas de aço adicionadas ao concreto em função da busca de novas características, propriedades e aplicações deste novo composto (FIGUEIREDO, 2000).

O concreto reforçado com fibras curtas de aço vem apresentando vantagens tecnológicas e econômicas em relação ao convencional em diversas aplicações: pavimentação, revestimento de túneis, tubulações, vertedouros de barragens, represas, pré-moldados (FIGUEIREDO, PCC-USP, 2000).

A adição de fibras de aço ao concreto faz com que a ruptura do material deixe de ser brusca, o material passa a apresentar o comportamento pseudo-dúctil, ou seja, continua apresentando uma resistência residual a esforços nele aplicados mesmo após sua fissuração. As fibras de aço aumentam a capacidade de absorção de energia (tenacidade), pois promovem a transferência de tensão através das fissuras, atuando como pontes, ou seja, proporcionam continuidade até que ocorra o deslizamento e/ou o arrancamento das fibras (BEZERRA AUGUSTO, et.al 2012).

A alteração do comportamento dos concretos se dá em função das características das fibras de aço, fator de forma, volume crítico e a matriz cimentícia da interação fibra-matriz (FIGUEIREDO, 2000). A diversidade de benefícios das fibras de aço aumentará o uso do concreto, onde elas podem estar presentes em vários seguimentos da construção civil, em funções diferentes, tais como reforço, outras para controle de fissuras e retração. Podem ser usadas também para a diminuição da exsudação do concreto, aumento da resistência ao fogo, diminuição da segregação e em alguns tipos de concretagem. É notório que no Brasil dominamos a tecnologia do uso de fibras para pisos, concreto projetado e tubos, mais estamos ainda distantes de um uso maior em vigas e pilares.

### 1.1 - Justificativa

A cidade de Porto Velho, capital do Estado de Rondônia, possui uma população estimada de 519.436 habitantes, (IBGE, 2017). Apresenta um forte desenvolvimento construtivo quando comparada com as demais cidades de porte médio do Brasil. Percebe-se uma grande atuação da indústria construtiva civil, sendo a maior geradora de resíduos sólidos, tem produzido uma forte carga residual sobre o meio ambiente, que nem sempre são alvos de uma correta destinação por parte dos geradores. O “aterro sanitário” de Porto Velho, hoje transformado em “lixão”, contém inúmeras embalagens de tinta acumuladas em sua área. Aparentemente sem nenhuma utilização, não agregando valor econômico aos catadores e impactando o meio ambiente. A motivação desse trabalho foi a preocupação de ver diversos materiais gerados pelos resíduos sólidos da construção civil, sendo ignorados pelos agentes responsáveis pelo controle e gerenciamento do “lixão”, e a forte agressão ao meio ambiente que os mesmos provocam.

Os danos percebidos estão presentes na falta de descarte das embalagens de aço de forma consciente e ordenada, não respeitando o meio ambiente. Deve-se atentar que, embora o aço em si não cause muitos danos ambientais, durante a oxidação do ferro ocorre a liberação de metais tóxicos, prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. Levando-se também em

consideração que a maioria das embalagens de aço estudadas vem revestidas de Níquel e Cromo, que em altas concentrações podem danificar o sistema biológico. Outras agressões diretas ao meio ambiente são, a mineração de ferro (componente do aço), e o desmatamento da área de lavra, onde grandes volumes de terra são removidos para o processamento do minério de ferro.

As embalagens de aço descartadas, apontaram para seu aproveitamento na confecção de fibras de aço a serem inseridas no concreto, dando performance a um novo compósito, ainda não utilizado na região. Esse estudo de material de reaproveitamento e inserção das fibras de aço de embalagens no concreto, colhidas no lixão de Porto Velho, não tem registro de literaturas especializadas, até que porque as fibras utilizadas são fibras industrializadas.

Estabelecer melhorias nas propriedades mecânicas da matriz cimentícia como resultado da adição de fibras curtas obtidas das folhas de aço para embalagem, dá a certeza de uma contribuição tanto ao controle do meio ambiente, como também a utilização desse material na inserção de fibras provenientes das embalagens de aço melhorando as propriedades mecânicas do concreto, adicionado a um material de baixo custo, seja por sua reutilização ou pela facilidade de obtenção e disponibilidade devido ao grande volume de latas descartadas. O descarte de embalagens de aço com tintas PVA e de massa corrida para acabamento na cidade de Porto Velho, registrou em média 648.000 unidades no ano de 2016, conforme informações do comercio gerador. Isso sem levar em consideração os resíduos gerados nas cidades circunvizinhas.

O alcance social é imediato pois, com a contribuição dos trabalhadores do lixão na confecção do insumo relativo as fibras de aço de embalagens, antes tido como material sem importancia econômica, hoje vários catadores esperam pelo resultado dos ensaios de laboratório e sua confirmação como material de importância fundamental na nova estrutura do compósito. A seleção, a limpeza, o corte, a classificação da fibra, e a separação por peso e volume, criou uma cadeia produtiva importante para os mesmos.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar a viabilidade técnica do uso de fibras metálicas, obtidas da reciclagem de embalagens, em concretos convencionais.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Entre os objetivos específicos deste trabalho estão:

- Avaliar a influência da relação de forma das fibras curtas de aço obtidas de embalagens metálicas, no comportamento mecânico de concretos reforçados;
- Avaliar a diferença de diversos teores de fibras metálicas recicladas, obtidas de embalagens metálicas, nas propriedades físicas e mecânicas de concreto reforçados;
- Avaliar a influência da incorporação das fibras obtidas de embalagens metálicas na estrutura da matriz cimentícia.

### 1.3 Estrutura do trabalho

A abordagem esquemática da dissertação foi concebida na seguinte sequência:

No capítulo 1 A introdução e seus componentes é um antepasso do trabalho proposto, dos materiais envolvidos, da pesquisa em busca de aperfeiçoar o concreto, nesse caso a reciclagem de folhas de aço proveniente de materiais descartados.

O capítulo 2 abrange informações sobre a evolução histórica dos concretos, as características, composições, tamanhos, dimensões das fibras de embalagens de aço e em especial as provenientes das tintas PVA, e os métodos para sua caracterização.

No capítulo 3 são abordados os materiais utilizados, provenientes de jazidas locais e os ensaios laboratoriais adotados para ser utilizados no concreto.

Quanto ao capítulo 4 estão descritos e discutidos os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais.

E nos capítulos 5 diz respeito da conclusão do trabalho, sobre o prisma das experiências realizadas e os materiais utilizados.

Na sequência é elencada a bibliografia utilizada para subsidiar a dissertação.

E na etapa final, temos os anexos que versam sobre procedimentos específicos de todo o processo de elaboração da dissertação, os quais não contemplam no texto principal.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – Síntese Histórica do Concreto

O material mais comum na construção civil no mundo é o concreto. Motivado por apresentar características inigualáveis e benéficas comparado com outro material de construção, tais como: fácil moldagem, apresenta excelente resistência quando exposto à água, ao fogo, comprimido e durável quando a ambientes agressivos, exigindo que seja bem dosado, adensado e curado. O concreto é frágil quanto às tensões de tração e flexão, fissura com facilidade.

Para Neville e Brooks (2013), os antigos romanos foram, provavelmente, os primeiros a utilizarem um concreto, do Latim *concretus*, baseado em um cimento hidráulico, que é um material que endurece pela ação da água. No sentido mais amplo, o concreto é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante.

Neville e Brooks (2013) afirmam que, não é o cimento o material de construção, e sim o concreto. O concreto, portanto, será o ponto de partida para o conhecimento da matriz cimentícia que constitui sua composição primária e análise do seu comportamento com a adição de fibras de aço.

As características dos estados fresco e endurecido é que definem a possibilidade de uso do concreto para determinada finalidade. Em geral, as exigências no estado fresco são que a consistência da mistura seja tal que o concreto possa ser adensado. Quanto ao concreto no estado endurecido, é considerada como exigência usual uma resistência à compressão mínima. A resistência é invariavelmente especificada porque é fácil de ser medida, embora o “número” resultante do ensaio certamente não é o valor da resistência intrínseca do concreto na estrutura, mas somente de sua qualidade. Um concreto de resistência mais elevada tem mais propriedades desejáveis.

Para Figueiredo (2012), o cimento *Portland* hidratado, os agregados miúdos e graúdos e os poros, compõe por si só um compósito em diversas fases. É o único material estrutural que é processado pelos próprios engenheiros de modo a atender parâmetros técnicos, tanto no estado fresco como endurecido.

Mehta e Monteiro (2014), afirmam que os compósitos de cimento reforçado com fibras podem ser classificados de acordo com seu desempenho sob carregamento.

A resistência das fibras de aço na adição ao concreto, dado o alto módulo de elasticidade, demonstra ser eficaz na redução da fragilidade associada com a ruptura por flexão (BENTUR e MINDESS. 1990).

A adição das fibras no concreto modifica as suas propriedades mecânicas (FIB, 2010). As fibras de aço são capazes de limitar a abertura de fissuras, melhorar a ductilidade e a absorção de energias.

Logo, se as fibras possuem resistência alta, menor é a probabilidade de ocorrer a ruptura do concreto. Devido à maior aderência da fibra em concretos de maior resistência, maior é a carga resistida por cada fibra durante seu arrancamento (SALVADOR, 2012).

**Tabela 01** - Propriedades típicas das fibras.

Tipo de fibra	Massa específica	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Alongamento na ruptura (%)	Coefficiente de Poisson
<b>Amianto</b>	2,55	3 a 4,5	164	3	0,3
<b>Vidro resistente a álcalis</b>	2,71	2,0 a 2,8	80	2,0 a 3,0	0,22
<b>Polipropileno fibrilado</b>	0,91	65	8	8	0,29 a 0,46
<b>Aço</b>	7,84	1,0 a 3,2	200	3,0 a 4,0	0,3
<b>Carbono</b>	1,74 a 1,99	1,4	250 a 450	0,4 a 1,0	0,2 a 0,4
<b>Kevlar®</b>	1,45	3,6	65 a 130	2,0 a 4,0	0,32

Fonte: C.D.JOHNSTON, Fibre reinforced, pp 451-504in. V.M.MALHOTRA(Editor).Progress in Concrete Technology.

## 2.2 – Concreto Reforçado com Fibras

A visão clássica de análise é o concreto ser avaliado pela sua resistência à compressão, mas possui outras propriedades importantes a serem avaliadas para sua aplicação, entre as quais o módulo de Young e resistência à tração que, como já abordado é bem inferior à resistência à compressão.

Para garantir um bom desempenho do concreto em situação de esforço de tração, como acontece na superfície inferior de uma viga bi apoiada, é o reforço com fibras de aço longas e ou curtas, dependendo da caracterização do agregado graúdo que compõe o concreto.

A função das fibras é proporcionar a melhor distribuição de tensões no compósito, permitindo um estado com maior numero de fissuras e diminuição da abertura das mesmas. O concreto passa a ser um material pseudo-dúctil, ou seja, continua apresentando uma resistência residual a esforços nele aplicados mesmo após sua fissuração. O papel fundamental das fibras é de tapar ou fechar as fissuras que se desenvolvem no concreto e

aumentar a ductilidade de elementos de concreto (MOHAMMADI et al., 2008). Geralmente a ductilidade de concretos, melhora através da introdução de vários tipos de fibras, em especial fibras de aço (LU and HSU, 2006; NILI and AFROUGHSABET, 2010).

As fibras aumentam no concreto a resistência na carga de pico, fornecem capacidade de absorção adicional de energia (tenacidade), altera positivamente a resistência à flexão do concreto, bem como a sua resistência ao impacto, resistência à tração e ductilidade, (MOHAMMADI et al., 2008).

A utilização de fibras como reforço de materiais, principalmente cerâmicos, possuem registros antigos, devidamente registrados na literatura universal que norteia o mundo ocidental. Pode-se citar os livros do Pentateuco, que no Êxodos 5:6-7, diz: “Nesse mesmo dia, o Faraó deu a seguinte ordem aos supervisores do povo e aos capatazes: ‘Não mais forneceréis ao povo palha para fazer tijolos como antigamente; que eles próprios a vão buscar’.”

Somente na metade do século XX é que o concreto começou a ser estudado com a inserção de fibras como componente da matriz cimentícia, Cruz et al,1998. Entende-se por concreto reforçado com fibras – CRF, o compósito constituído por ligante hidráulico, com adição de fibras de diferentes dimensões.

Como aborda Mohammadi et al., 2008, o reforço com fibra curtas é normalmente distribuído aleatoriamente em todo o elemento, mas pode ser também usado em uma parte da seção do elemento, por exemplo, em elementos compostos como duas camadas de feixes ou em pilares de concreto de alta resistência recoberta por concreto reforçado com fibra.

Conforme Mehta e Monteiro (2014), fibras discretas são adicionadas ao concreto para melhorar a resistência à fissuração, tenacidade, resistência, resistência à fadiga, resistência ao impacto e outras propriedades observadas pela engenharia.

Constata-se que os benefícios na adição de fibras também podem ser estendidos aos concretos que utilizam aglomerantes não hidráulicos.

Segundo a ACI 544.1R-96, Reapproved, 2002, o concreto reforçado com fibras é definido como sendo o concreto produzido com cimento hidráulico, contendo agregados miúdos ou, miúdos e graúdos e fibras descontínuas discretas. Essas fibras podem ser produzidas a partir de material natural como asbesto, sisal, celulose, ou, por produtos industrializados tais como vidro, aço, carbono e polímeros.

O objetivo fundamental do reforço do concreto com fibras são o aumento da resistência à tração, redução da fissuração e acréscimo da tenacidade.

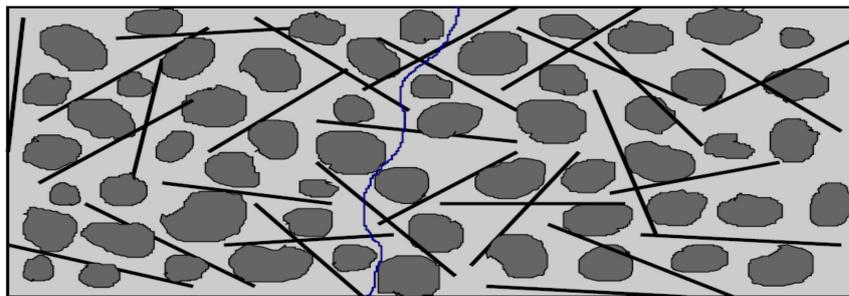
As fibras podem ter uma variedade de formas, tamanhos e dimensões. As fibras de aço, objeto de estudos, são as mais utilizadas para aplicações estruturais. Recomendações descritas por Mehta e Monteiro (2014) são:

1 – Que os agregados empregados em concreto reforçado com fibras possuam sua distribuição granulométrica conforme o tipo de fibra e os objetivos de desempenho;

2 – As propriedades do concreto reforçado com fibras dependem do tipo, quantidade e das dimensões das fibras adicionadas, bem como das propriedades da matriz cimentícia e a interface fibra-matriz;

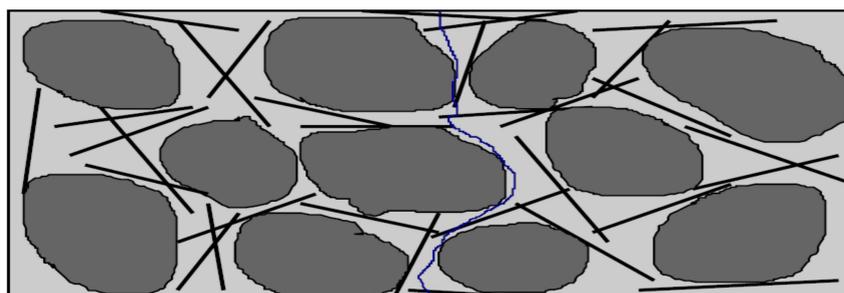
3 – A distribuição espacial e orientação das fibras dentro do concreto afetam o desempenho à fissuração e a tenacidade do compósito. Quando mais direcionadas as fibras no sentido da tensão principal de tração, melhor o rendimento do compósito. Neste caso utiliza-se fibras de aço com comprimento maior ou igual ao dobro da dimensão máxima do agregado graúdo utilizado na matriz, para a interceptação da fissura que ocorre no compósito (MAIDL,1991). Nas Figuras 01 e 02, percebe-se quando existe ou não a compatibilidade dimensional entre o agregado e a fibra. A Figura 03, mostra a diferença entre uma fibra frágil e dúctil. Embora que na construção civil, os compósitos são tipicamente constituídos por matriz frágil reforçada com fibra dúctil.

**Figura 01** - Concreto reforçado com fibra de aço, onde há compatibilidade com o agregado graúdo



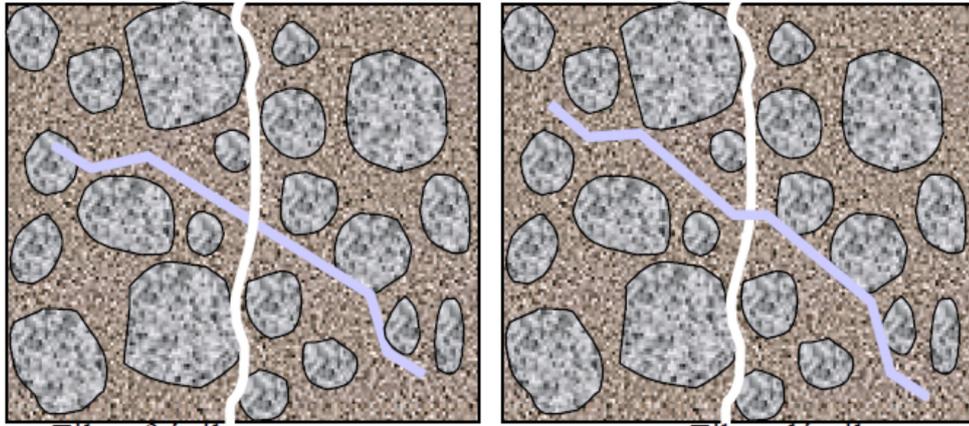
Fonte: IBRACON (2011).

**Figura 02** - Concreto reforçado com fibra de aço, onde não há compatibilidade com o agregado graúdo.



Fonte: IBRACON(2011).

**Figura 03** - Diferença entre fibras de aço frágil e dúctil, quando inclinadas em relação à superfície de ruptura



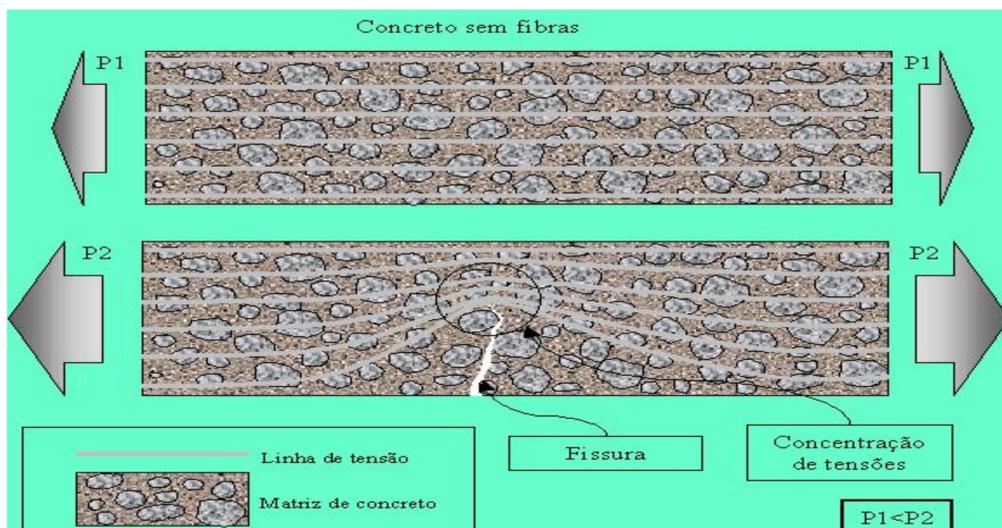
Fonte: IBRACON (2011).

As fissuras, no concreto simples, impedem a propagação das tensões tornando o concreto frágil, figura 04. As tensões se localizam nas extremidades da fissura e, aumentando até superar a resistência do concreto, ocasionando a ruptura abrupta do material.

Logo as fibras, uma vez adicionadas de forma correta, funcionam como ponte de transferência de tensões pelas fissuras, reduza concentração de tensões nas extremidades diminuindo a velocidade de propagação no concreto, Figura 05.

Isso causa a ruptura na tração, devido a algumas fissuras que se unem e não por numerosas fissuras, como ocorre quando o concreto é comprimido (MEHTA e MONTEIRO,1994).

**Figura 04** - Esquema de concentração de tensões para um concreto sem reforço de fibras



Fonte: IBRACON (2011).

**Figura 05** - Esquema de concentração de tensões para um concreto com o reforço de fibras.  
As fibras asseguram uma menor fissuração do concreto.



Fonte: IBRACON (2011).

Segundo Figueiredo (2011), a princípio, praticamente todos os concretos, sejam eles plásticos fluidos ou secos, de baixa ou alta resistência podem ser reforçados com fibras. No entanto, o ganho de desempenho não é atingido sem que princípios tecnológicos básicos sejam observados.

As fibras terão sempre uma ação de aumento no custo unitário. A fluidez do material será reduzida, e também proporcionar uma resistência à propagação das fissuras que possam vir a surgir na matriz (FIGUEIREDO, 2011). Estas fissuras podem ser originadas por diversas causas, que compõe o objetivo de toda a metodologia empregada na análise dos resultados do compósito.

## 2.3 – As Fibras de Aço:

### 2.3.1 – Considerações Gerais

Existem diversos tipos de fibras metálicas, Figura 06, destinadas especialmente ao reforço de concreto, classificadas em função da matéria prima com a qual são produzidas: aços carbono, aços ligados e alumínio.

Dentre as diversas características que uma fibra de aço pode apresentar, pode-se destacar a resistência à tração e o alongamento percentual.

Entre outros conceitos inerentes ao estudo da inserção de fibras de aço no concreto.

**Figura 06** - Alguns tipos de fibras de aço existentes no mercado brasileiro.



Fonte: <http://www.belgobekaert.com.br/Produtos/Paginas/Fibra-de-Aco-Dramix.aspx>(2017).

### 2.3.2 – Fibras de embalagem de aço – latas de tinta PVA

#### 2.3.2.1 – Introdução a história do surgimento da lata.

A conservação de alimentos sempre despertou interesses. Baseado nessa necessidade é que se buscou desenvolver as embalagens. Foi quando o imperador francês Napoleão Bonaparte, no final do sec. XVIII, ofereceu um prêmio para quem desenvolvesse embalagens para conservação de alimentos e produtos essenciais, com isso eliminando a multiplicação de microrganismos tais como bactérias, fungos ou vírus e ainda devido à atividade enzimática.

O prêmio foi pago a Nicolas Appert que descobriu que a aplicação do calor em frascos de vidro e tampados hermeticamente com rolhas de cortiça estendia o prazo da validade dos alimentos. Em publicação de 1809, Appert mencionava sua experiência alcançada. O livro foi utilizado por Peter Durant, que no ano seguinte entrou com um pedido de patente.

A estrutura da lata foi desenhada pelo Inglês Joseph Rhodes, que estabeleceu a chamada recravação – método prático de colocação da tampa e fundo em 1824, somente utilizado depois de muitos anos em larga escala (ABEAÇO, 2017).

#### 2.3.2.2 - Características da produção de latas de aço.

O aço usado para a confecção das latas costuma ser processado e transformado em grandes bobinas de aço e então transportadas para a fabricação da folha de aço. Durante a fabricação é aplicada uma fina camada de estanho, formando as folhas de flandres, ou uma

camada de cromo, formando as folhas cromadas. Esses revestimentos são utilizados para proteger o aço da oxidação, Figura 07.

Existem 2 caminhos para a produção de latas de aço: 2 peças ou 3 peças. O método tradicional – 3 peças – envolve o corte em folhas de aço, a aplicação do verniz protetor elástico, a litografia (impressão nas folhas de aço), o corte em blanks (retângulos menores para a conformação da folha em corpo), conformação do corpo com aplicação de solda ou grampeio e aplicação do fundo ou tampa para que na indústria seja envasado o produto, e tampado.

Para fazer a lata de 2 peças – método mais recente e moderno – alimenta-se um equipamento de conformação com a própria bobina o qual estampa pequenos copos para que depois sejam esticados em copos mais altos. O processo é chamado de “drawandwalliron” ou D&I. O resultado é um corpo de lata com espessura fina e resistente.

**FIGURA 07** - Ilustra o processo de produção da lata.



Fonte: ABEAÇO (2017).

### 2.3.2.3 - Vantagens das embalagens de aço.

No transporte de longa distância ou em condições críticas, por exemplo, a embalagem de aço é a primeira a ser cogitada por sua resistência mecânica. A espessura do aço, constantemente reduzida, proporciona a redução do peso específico da embalagem e aumenta a competitividade em relação aos outros materiais sem comprometer as características de

resistência, inviolabilidade e saudabilidade proporcionadas pelas latas de aço, ABEAÇO (2015).

Processos de fechamento e soldagem evoluíram e hoje podem ser fabricadas até 1,2 mil embalagens de aço por minuto. No envase de produtos como, por exemplo, o óleo comestível, a velocidade chega a 800 embalagens de aço por minuto - um ritmo impossível de ser alcançado por outros materiais de embalagem, BUGS (2004).

Pesquisa da Universidade de Cornell, nos Estados Unidos indica que as embalagens de aço é barreira contra a luz que destrói ou compromete a integridade de diversos produtos acondicionados, BRC–British Retail Consortium (2017).

#### 2.3.2.4 - Reciclagem das embalagens de aço

A reciclagem do aço é tão antiga quanto a própria história da utilização do metal. O aço é o material mais reciclado no mundo.

No Brasil, assim como no resto do mundo, o mercado de sucata de aço é bastante sólido, pois as indústrias siderúrgicas precisam da sucata para fazer um novo aço, ou seja, cada usina siderúrgica é uma planta de reciclagem.

Em 2012, foram produzidas 35,2 milhões de toneladas de aço bruto no país, dentro deste montante, 598 mil toneladas foram de folhas de aço para embalagens. Mais de 9 milhões de toneladas de sucatas foram utilizadas para a produção de novo aço, valor correspondente a 25,8% do aço produzido, ABEAÇO (2010).

Evidentemente a reciclagem desse material no Estado de Rondônia ainda não atingiu o ápice do aproveitamento seletivo, portanto a presença desse material nos lixões é substancial, os dados coletados foram de 648.000 unidades de embalagens de aço relativo a tintas PVA e argamassa de acabamento, de 18 litros, conforme citado anteriormente.

#### 2.3.2.5 - O Volume de embalagens de aço reciclado

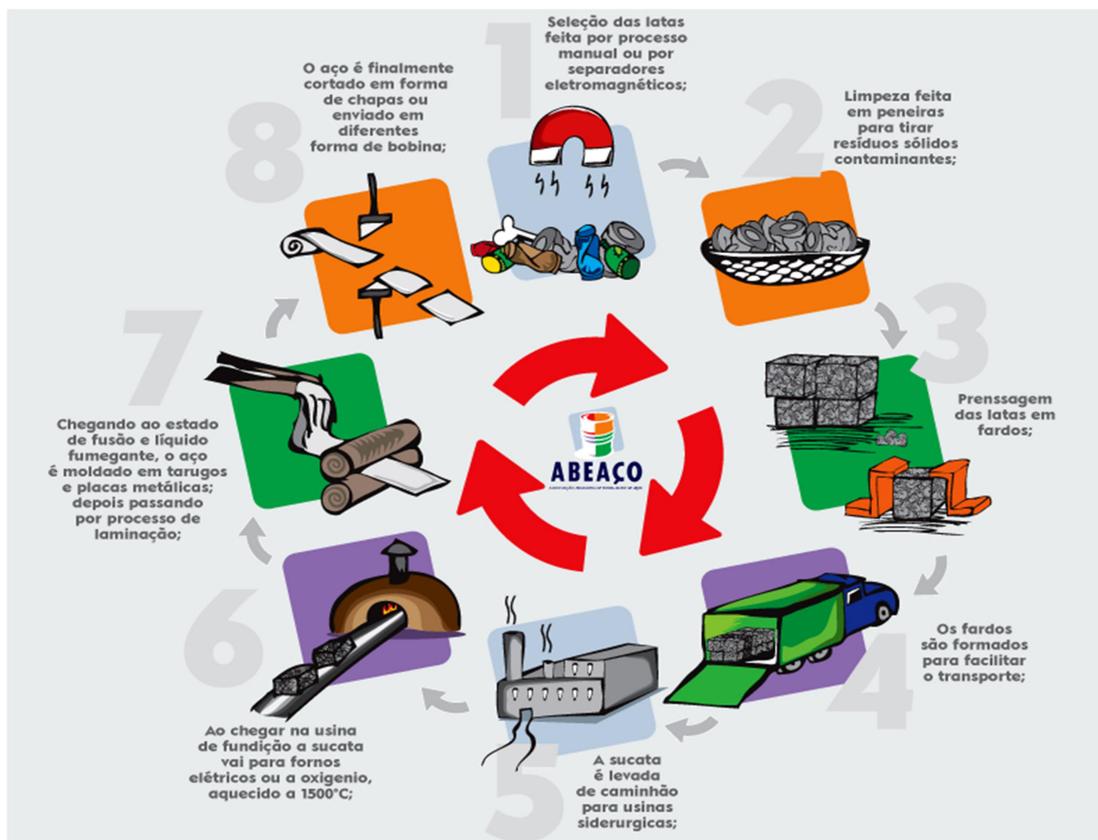
Aproximadamente 47% do total das latas de aço consumidas no Brasil em 2012 foram recicladas, incluindo 88% reciclados de latas de aço para bebidas (latas de 2 peças), ou seja, apenas 5,64% do total das embalagens se dividem entre outras categorias. As embalagens de aço provenientes das tintas PVA e argamassa não aparecem nessa estatística. Este índice vem aumentando graças à ampliação de programas de coleta seletiva e educação ambiental. Esse trabalho poderá contribuir para a inclusão da reciclagem de embalagens de aço provenientes da construção civil.

Atualmente há estímulo na reciclagem do aço pós-consumo, dentre eles o RECICLAÇO, cujo ciclo de processamento pela figura 7, é representado programa de reciclagem pós-consumo de latas de aço para bebidas, criado pela Cia Metálica Nordeste.

No Brasil, segundo a ABEAÇO (2017), 5% das latas para bebidas são de aço, sendo que a maior participação está no Nordeste, que detém 46% do mercado. Com a necessidade de incentivar a coleta seletiva criou-se a iniciativa em 2001 que permitiu à embalagem de aço para bebida atingir o índice de 88% de reciclagem contra os 27% iniciais. Esse índice é auditado anualmente por empresa independente.

A lata de aço é 100% reciclável, ou seja, a lata que é descartada seletivamente pode retornar em forma de tesoura, maçaneta, arame, automóvel, geladeira ou até mesmo uma nova lata, figura 08.

FIGURA 08 - Meio ambiente–reciclagem



Fonte: ABEAÇO (2017)

#### 2.3.2.6 - Principais características da lata de aço (tinta PVA).

São várias as propriedades inseridas nas latas, entre as quais destacam-se: Segura no transporte e no armazenamento; material não inflamável; facilidade de armazenar e

transportar; amplia vida útil do produto; fechamento hermético; 100% reciclável; material facilmente separável por processo magnético; degradável em curto período, em média cinco anos retornando como óxido de ferro e pode assumir diferentes formatos.

As latas de tinta PVA são tipificadas como redondas, multi-pressão com 3 peças. Possuem também os de formato quadrado, escopo do presente estudo, com tampas recravadas e com furos para diversos fechamentos. Em ambas as características, não possuem grande abertura, tampas de pressão simples, refecimento perfeito, alças e bicos especiais para facilitar o uso do produto.

As embalagens de tinta PVA, recolhidas para estudos, são fabricadas com folha cromada de baixo teor de carbono, as vezes eram folhas não revestidas e outras de baixo revestimento de estanho. Sendo materiais de menor custo e de baixa resistência à corrosão, é aplicado verniz em ambas as faces.

### 2.3.2.7–Especificação da folha de aço

Para obter a espessura de uma folha metálica, o processo se dá por meio de redução na laminação a quente, prosseguindo-se pela laminação a frio e laminação de encruamento. Atualmente existem padrões de espessuras e suas respectivas tolerâncias.

Composição Química das Folhas Metálicas para Embalagens seguem especificações conforme Tabela 02.

**Tabela 02** - Composição química das folhas de aço.

Composição Química (% máx)	PTipo	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	Al	outros elementos
	Tipo MR	0,13	0,6	0,02	0,03	0,02	0,2	0,15	0,1	0,2	0,02

Fonte: CSN (2016)

### Propriedades Mecânicas das Folhas Metálicas.

Para qualquer utilização das folhas metálicas depende basicamente de suas propriedades mecânicas, Tabela 03, seguimos nesse exemplo as utilizadas para embalagens. Os valores e suas respectivas variações são especificados conforme tabela 04, vinculado as normas técnicas correspondentes. Neste caso foram utilizados a NBR 6665/2014.

**Tabela 03 - Propriedades mecânicas da folha de aço para embalagens.**

Norma Técnica	Redução	Têmpera	LE (MPa) - (*)	Dureza Rockwell (HR 30T)		e > 0,28 mm
				e ≤ 0,21 mm	0,22 ≤ e ≤ 0,28 mm	
NBR 6665	Simples	T50	-	53 máx	52 máx	51 máx
		T52	-	53±4	52±4	51±4
		T57	-	58±4	57±4	56±4
		T61	-	62±4	61±4	60±4
		T65	-	65±4	65±4	64±4
	Dupla	DR 520	520	-	-	-
		DR 550	550	-	-	-
		DR 620	620	-	-	-

Fonte: CSN (2016)

(\*) A faixa de LE do DR fica a critério de acordo entre produtor e cliente.

**Tabela 04 - Especificações das folhas de aço**

Elemento (%)	C máx.	Mn máx.	P máx.	S máx.	Si máx.	Al
	<b>0,06</b>	<b>0,2</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02~0,06</b>

: [http://www.csn.com.br/conteudo\\_pti.asp?idioma=0&tipo=61368&conta=45&id=231898](http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=61368&conta=45&id=231898)

**Tabela 05 - Características garantidas das folhas de aço**

<b>Características Garantidas</b>	
Espessura do produto	<b>0,245</b>
Variação de espessura	<b>± 20%</b>

Fonte: [http://www.csn.com.br/conteudo\\_pti.asp?idioma=0&tipo=61368&conta=45&id=231898](http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=61368&conta=45&id=231898)

**Tabela 06 – Propriedades mecânicas das folhas de aço**

<b>Propriedades Mecânicas:</b>	
<b>Limite de escoamento</b>	<b>210 a 310 MPa</b>
<b>Limite de resistência</b>	<b>290 a 410 MPa</b>
<b>Alongamento</b>	<b>26% (mínimo)</b>
<b>Dureza</b>	<b>51 a 59 HR 30 T</b>
<b>r médio</b>	<b>1,2 mínimo</b>
<b>Är</b>	<b>± 0,15</b>
<b>Revestimento de estanho</b>	<b>D 3,0/2,0 g/m<sup>2</sup> (-0,3 g/m<sup>2</sup> / +0,5 g/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Filme de passivação</b>	<b>300</b>
<b>Oleamento</b>	<b>4 a 15 mg/m<sup>2</sup> por lado com óleo DOS</b>

Fonte: CSN (2016)

Como consequência da diminuição de custos por parte das empresas, as embalagens de aço passaram por várias transformações, sendo sua espessura uma das mais importantes. Houve redução no consumo do uso do aço, em alguns casos para garantir resistência mecânica, o que levou a lata a 0,14mm de espessura muito mais leve e rentável, (CSN - Companhia Siderúrgica Nacional).

#### 2.3.2.8 – Latas de aço e a tinta imobiliária no Brasil

A construção civil representa um dos maiores segmentos que mais utilizam embalagens de aço em diversas aplicações, entre os materiais embalados está a tinta PVA.

Tintas, argamassas e outros produtos de pintura, são amplamente requisitados no acabamento das construções. O Brasil está entre os cinco maiores mercados mundiais de tinta, com qualidade e tecnologia. Anualmente são produzidos e envasados 982 milhões de litros (ABEAÇO, 2017).

Da Tabela 07, observa-se que as resistências de escoamento e tração do aço apresentam valores superiores a maioria dos metais representados. É evidente que deve se avaliar o custo benefício, pois as outras ligas de metal possuem características melhores que a do aço, porém, devido ao seu custo elevado não é economicamente viável seu emprego para embalagens. A resistência ao escoamento de 180 MPa e a resistência a tração de 380 MPa são limites até a ruptura.

**Tabela 07** - Propriedades mecânicas para alguns metais.

Liga de Metal	Resistência ao escoamento – MPa	Resistência à tração – MPa (knf)	Ductibilidade em 50 mm (2 in.)
Alumínio	35	90	40
Cobre	69	200	45
Latão	75	300	68
Ferro	130	262	45
Níquel	138	480	40
<b>Aço</b>	<b>180</b>	<b>380</b>	<b>25</b>
Titânio	450	520	25
Molibdênio	565	655	35

Fonte: PGETEMA/PUCRS (2016)

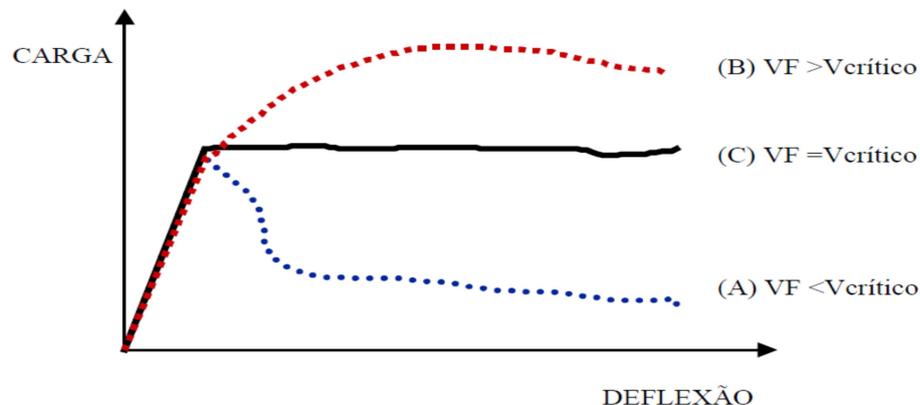
Por outro lado o aço apresenta a ductibilidade mais baixa em relação aos demais cerca de 25mm, um dos menores da amostra.

### 2.3.3– Volume crítico de fibras

O conceito de volume crítico é a de que ele corresponde ao teor crítico de fibras, que mantém a mesma capacidade resistente para o compósito a partir da ruptura da matriz (FIGUEREDO, 2011).

Este conceito está ilustrado na Figura 09, onde são apresentadas as curvas de carga por deflexão em prismas de concretos com fibras rompidos à flexão. Observa-se um trecho elástico linear inicial correspondente ao estágio pré-fissurado da matriz do compósito e outro, similar a um patamar de escoamento, onde se pode diferenciar o comportamento do concreto reforçado com teores abaixo, acima e igual ao volume crítico (FIGUEIREDO, 2011).

**Figura 09** - Compósitos reforçados com fibras teores baixos (A), acima (B) e igual (C) ao valor crítico de fibras durante ensaios da tração a flexão



Fonte: FIGUEIREDO (2000).

Neville e Brooks (2013), afirmam que a quantidade de fibras de aço utilizadas é pequena, tipicamente 1 a 5%, em relação ao volume da matriz cimentícia, e para torná-las efetivas como reforço (armadura), resistência à tração, alongamento na ruptura e módulo de elasticidade das fibras devem ser substancialmente mais elevados que as propriedades correspondentes da matriz, onde no Quadro 01, são relacionados os valores típicos. Além disso, as fibras devem ter deformação lenta muito pequena, caso contrário irá ocorrer relaxamento da tensão.

O Coeficiente de Poisson deve ser similar ao da matriz para evitar tensões laterais induzidas, pois qualquer tensão lateral grande pode afetar a aderência da interface, que deve

ter uma resistência ao cisalhamento grande o suficiente para possibilitar a transferência da tensão axial da matriz para as fibras. (NEVILLE E BROOKS, 2013).

Figueiredo (2000) propõe a equação deduzida do volume crítico:

$$V_{fcrit} = (\epsilon_{mu} \times E_c) / \sigma_{fu} \quad (01)$$

Onde no caso particular do concreto com fibra de aço, adotando-se os seguintes valores de referência:

**Quadro 01** - Valores adotados no CRFA

Símbolo	Definição	Valor
$\epsilon_{mu}$	Deformação última da matriz	$100 \times 10^{-6}$
$\sigma_{mu}$	Tensão última da matriz	3MPa
$\sigma_{fu}$	Tensão da fibra útil	1000 MPa
$E_f$	Módulo de elasticidade da fibra	200 GPa

Fonte: FIGUEREDO (2011)

Figueiredo (2000), deduz com esses dados que o volume crítico ( $V_{fcrit}$ ) está na ordem de 0,31%. No entanto, as fibras não são contínuas e perfeitamente alinhadas ao eixo de tensões principais. O percentual encontrado é na verdade uma disparidade, devido às fibras normalmente utilizadas serem descontínuas, ou seja, curtas e aleatoriamente distribuídas no concreto.

Esses fatos revelam várias anomalias, tais como, a inclinação da fibra em relação à fissura, e o comprimento da fibra que ficará embutido na matriz e definirá a carga de arrancamento que ela sustentará. Por isso deve-se aplicar os coeficientes de correção, denominados fatores de eficiência, que permitem uma maior aproximação do  $V_{fcrit}$  teórico e aquele obtido experimentalmente.

Os fatores de eficiência denominam-se  $\eta_1$ , onde o valor de  $\eta_1$  estão ligados ao efeito da orientação da fibra. (HANNANT,1978), como representado na Quadro 02.

**Quadro 02** - Valores para o fator de eficiência  $\eta_1$  majorador do volume crítico em função da direção da fibra

Orientação	Valores de $\eta_1$	
	COX	KRENCHEL
1 direção	1	1
2 direções	0,333	0,375
3 direções	0,167	0,2

Fonte: HANNANT (1978).

Considerando a formulação para a equação:

$$V_{crit} = \sigma_{mu} / [(\sigma_{fu} - \epsilon_{mu} \times E_f + \eta_1)] \quad (2)$$

Dessa maneira de  $V_{fcrit}$  corrigido em função da orientação da fibra corresponde ao  $V_{fcrit}$  sem correção dividido pelo fator  $\eta_1$ . Isto atende a:

$$V_{crit} = \frac{(\epsilon_{mu} \times E_c)}{(\sigma_{fu} \times \eta_1)} \quad (3)$$

Assim o valor determinado  $V_{fcrit}$  conforme Quadro 01 e 02 o valor obtido é 0,3% para compósitos de matriz de CRFA. Utilizando a equação 3 passa a ser:

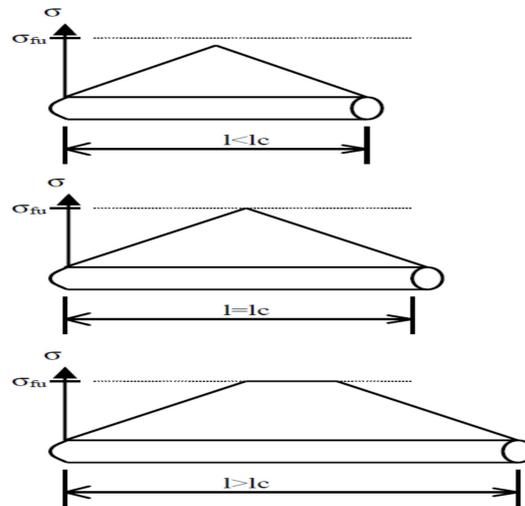
$$V_{crit\text{corrigido}} = \frac{V_{crit}}{\eta_1} = \frac{0,31}{0,375} = 0,83\% \quad (4)$$

Conforme Metha e Monteiro (2014), utiliza-se um valor crítico corrigido de referência no valor de 1%, percentual utilizado nesse trabalho.

### 2.3.4 – O Comprimento Crítico da Fibra de Aço

A definição do comprimento crítico da fibra está baseada no modelo que descreve a transferência de tensão entre a matriz e a fibra com o aumento linear dos extremos para o centro da fibra, Figueiredo (2011). Quando à tensão de cisalhamento entre a fibra e a matriz se iguala, podemos afirmar que a tensão é máxima nessa interação. As possíveis distribuições de tensão na fibra em relação ao comprimento crítico ( $l_c$ ), representada na Figura 10, onde,  $l = l_c$ ,  $l > l_c$ , e  $l < l_c$ , onde  $l$  = comprimento da fibra.

**FIGURA 10** - Distribuições possíveis de tensão ao longo de uma fibra em função do comprimento crítico.



Fonte: Benture e Mindess (1990).

Pode-se abordar que, o comprimento crítico de uma fibra é definido como aquele que, quando ocorre a fissuração perpendicular à fibra e posicionada na região média do seu comprimento proporciona uma tensão no seu centro igual à sua tensão média do seu comprimento, igual à sua tensão de ruptura (FIGUEIREDO, 2002).

O fator de forma (FF) é uma relação adimensional que relaciona as duas principais geometrias de uma fibra, o comprimento e seu diâmetro equivalente ( $FF=l/d$ ), como demonstrado na Figura 11. Portanto, quanto maior for o fator de forma (FF), maior será o desempenho do compósito e maior será a quantidade de fibras que estará presente interceptando as suas fissuras. Isso se deve ao fato de que a dosagem das fibras é realizada em volume ou peso por metro cúbico. Mantendo-se o comprimento da fibra e diminuindo o seu diâmetro, obtém-se um número maior de fibras que interceptará as fissuras (BENTUR e MINDESS, 2007; FIGUEIREDO, 2011).

**Figura 11** - Fator de forma

$$FF = \frac{l}{d}$$

Fonte: BELGO BEKAERT ARAMES (2013).

Um aumento no FF pode significar um aumento no comprimento da fibra ou um aumento no número de fibras que podem interceptar uma fissura ou, ainda, a ocorrência concomitante destes, ultimamente caracterizando um aumento na tenacidade do compósito.

Nota-se, no entanto, que as fibras com ancoragens minimizam o efeito do fator de forma maior entre as fibras. A mistura tende a reduzir sua fluidez com o aumento do fator de forma, uma vez que o diâmetro equivalente é menor e, assim maior será a área específica e, como consequência, menor será quantidade de água livre para a mistura (FIGUEIREDO, 2011; MONTOYA, 2009; NUNES; AGOPYAN, 1998).

Figueiredo (2011), descreve que, quando a fibra tem um comprimento menor que o crítico, a carga de arrancamento proporcionada pelo comprimento ancorado na matriz não é suficiente para produzir uma tensão que supere a resistência da fibra. Complementa que com o aumento da deformação e consequente abertura da fibra, que está atuando como ponte de transferência de tensões pela fissura será arrancada do lado que possuir menor comprimento embutido. Isso é característico em fibras de aço no concreto de baixa e moderada resistência, ou contrário, concretos de alta resistência mecânica respondem com uma melhoria nas condições de aderência entre a fibra e a matriz, em razão disso é possível ultrapassar o valor do comprimento crítico causando rupturas de algumas fibras.

Segundo Bentur e Mindess (1990), o mecanismo clássico de reforço da matriz fissurada é composto por uma parcela elástica e outra parcela de atrito, ou seja, afirmam que a tensão de cisalhamento por aderência elástica é sempre superior à resistência ao cisalhamento entre fibra e matriz na interface.

A tensão de atrito é uniforme ao longo da fibra, enquanto a tensão de cisalhamento elástico guarda uma distribuição particular, sendo que, à medida que fibra é arrancada da matriz durante o carregamento que aumenta a abertura da fissura, ocorre um aumento da parcela de transferência de tensão por atrito em relação à elástica. Além disso, o comprimento embutido da fibra diminui e, conseqüentemente, a carga exercida também é resistida pela fibra.

Em Figueiredo et al. (1997), é demonstrado que o comprimento da fibra é fundamental na definição do comportamento pós-fissuração do concreto. Os estudos realizados por eles apontam que para compósitos reforçados com fibras, submetidas a ensaios de tração na flexão, a resistência após a fissuração foi maior quando foram fibras mais longas.

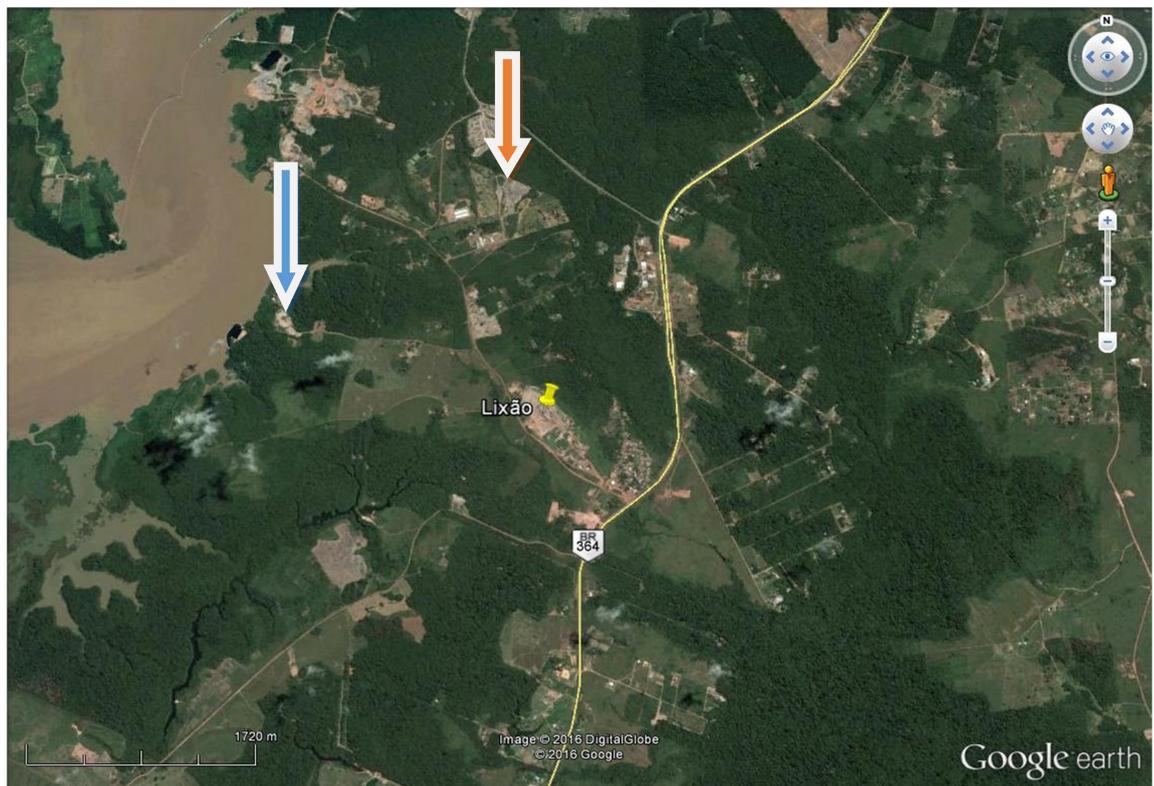
Deve-se observar ainda que ao ultrapassar o comprimento crítico, a fibra poderá sofrer ruptura, perdendo a capacidade de resistência pós fissuração do compósito. Concluindo-se que a fibra deixará de escorregar em relação a matriz aumentando a força de atrito entre fibra e matriz.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 – Materiais – descrição

Todos os materiais descritos seguir foram coletados e são originários do município de Porto Velho. As fibras de aço de embalagens, mesmo originárias de produtos industrializados, as mesmas foram produzidas no local onde as embalagens foram selecionadas. Área georreferenciada do lixão da cidade de Porto Velho, conforme Figura 12.

**Figura 12** - As flechas em LARANJA indicam o local da coleta das latas e a em AZUL a jazida da brita utilizada



. Fonte: Google Earth

#### 3.1.1 – Fibras de aço de embalagens.

No presente estudo foram extraídas fibras de aço de embalagens, utilizadas para o armazenamento de tintas PVA. Previamente foi definido que seriam utilizadas embalagens que armazenam a tinta PVA, devido não existirem elementos químicos contaminantes e de ser facilmente removido os restos de tinta do interior da embalagem. As fibras foram retiradas das tradicionais latas de 18 litros (Figura 13), recolhidas no lixão da cidade de Porto Velho (Figura 14), localizado conforme ponto georreferenciado no mapa e dimensões constantes na Tabela 08.

**Tabela 08:** Dimensões das latas de 18 litros

<b>LATAS DE 18 LITROS - CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS</b>	
<b>Altura mínima</b>	200,00mm
<b>Altura máxima</b>	355,50mm
<b>Tampa de Batoque</b>	42,00mm
<b>Tampa Rojek</b>	75,00mm
<b>Tampa de pressão</b>	171,00mm
<b>Fundo</b>	235,00 x 235,00mm

Fonte: ABEAÇO,(2016 )

**Figura 13** - Latas de 18 litros, dimensões.

Fonte: ABEAÇO (2016)

As fibras de aço, como inicialmente descritas possuem dimensões e formatos próprios. Sem a sua fabricação orientada pelas normas existentes, portanto as fibras de aço de embalagem obtidas para a presente pesquisa não estão referenciadas nos estudos existentes.

As normas da ABNT NBR 15530/2007 e NBR 6207, que normatizam as fibras de aço e arames de aço, como também a ASTM A370, definem as fibras de aço cortadas com equipamentos de última geração. As fibras nesta pesquisa foram obtidas a partir de dimensões preconizadas pelas Normas, mas devido ao processo artesanal, a única dimensão não normatizada foi a da espessura, pois esta ficou com a espessura das folhas de aço empregadas preservadas. Os valores das dimensões das fibras são aqueles apresentados na Tabela 5.

O fator de forma, Quadro 03, que indica a relação entre o comprimento e o diâmetro da circunferência virtual da fibra na dimensão de  $\varnothing=0,64$  mm, obtendo-se assim uma largura de 2 mm, indica a equivalência do tamanho do círculo da fibra, correspondendo ao comprimento do círculo. O fator de forma calculado foi de 39,06 mm. Segundo Mehta e Monteiro (2014), um maior fator de forma pode significar uma melhora na resistência ao arrancamento da fibra, pelo aumento do comprimento da ancoragem, com o aumento do número de fibras que podem interceptar uma fissura.

**Quadro 03** - Dimensões das fibras adotadas.

<b>Dimensões das fibras de aço de embalagens (mm)</b>		
Comprimento	Largura	Espessura
25	2	0,14

Fonte: Do autor.

A definição de dimensões em conjunto com o volume crítico, é de fundamental importância para a caracterização do material escolhido.

As latas inicialmente foram higienizadas com monitor de água sobre pressão, e depois uma raspagem com espátula para retirada de todo o resíduo de eventual tinta ainda presente nas faces das latas.

Em seguida foram retiradas as partes dos fundos e tampas, tendo sido aproveitado apenas o fundo, onde o seu material possui a mesma característica, figura 15.

**Figura 14** - Localização e abordagem de algumas latas de tinta PVA, recolhidas que estavam espalhadas no lixão de Porto Velho – RSCC



Fonte: do Autor.

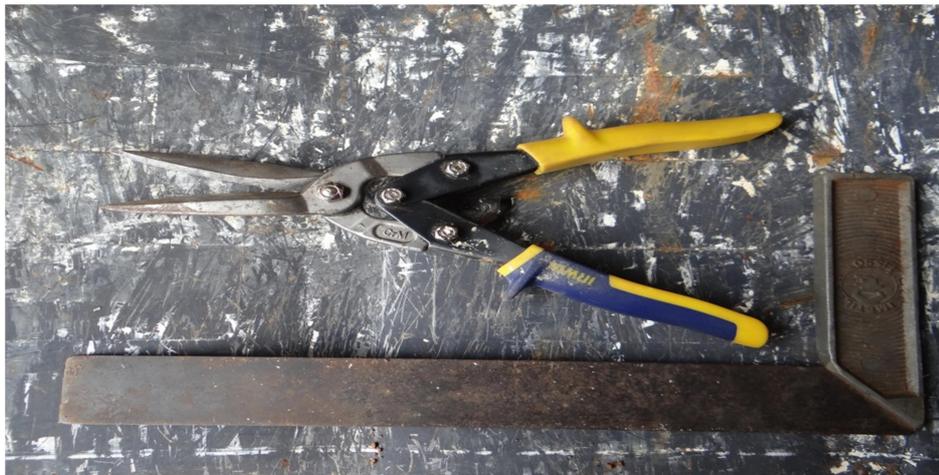
**Figura 15** - Lateral (a) e fundos das latas (b) partes aproveitadas para a confecção das fibras.



Os cordões de soldas foram descartados, devido as suas elevadas espessuras e, como também é impossível de promover um corte de refinamento.

As fibras foram cortadas com tesouras, figura 16, próprias para corte de chapa metálica e tesoura/guilhotinas, figura17, de pressão manual conforme características descritas no Quadro 3, utilizando-se esquadro metálico, de modo a definir a largura e o comprimento reto do corte para a retirada da fibra. Os métodos de corte das fibras foram ensaiados por profissional habilitado, antes de repassar para os demais colaboradores da comunidade envolvidos, esse cuidado foi aplicado tendo em vista de se tratar de uma fibra fora dos padrões industriais

**Figura 16** - Tesoura para corte e esquadro.



Fonte: Autor

**Figura 17** - Tesoura/Guilhotina Corta Chapa Nº4 MOTOMIL- Modelo MTC – 04



. Fonte: Autor.

**Quadro 04** - Tesoura/Guilhotina Corta Chapa.

<b>Tesoura Corta Chapa nº 4 Motomil Modelo MTC 04</b>
<b>Características</b>
Corte de Chapas com Dureza Máxima de 35 HRC
Lâminas Temperadas e Corpo em Ferro Modular
Espessura da Chapa 5/32" Máximo
Comprimento da Lamina 230 mm
Comprimento do Cabo 500mm
Dimensão A x L x C (mm) 260x110x430
Peso Liquido 11,00 kg

Fonte: Fabricante MOTOMIL (2016).

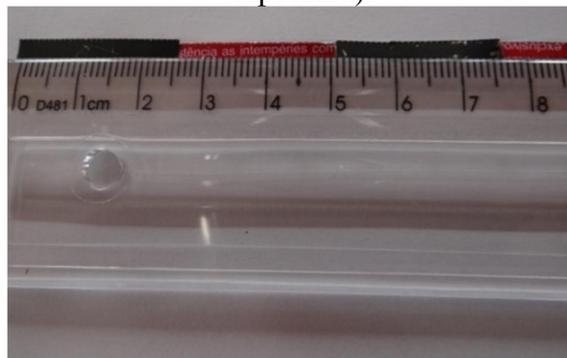
A Figura 18, mostra as fibras de aço produzidas e empacotadas, esperando para serem novamente cortados nos tamanhos definidos de 25mm de comprimento no mesmo tamanho do agregado graúdo (brita 1), conforme a Figura 19, de acordo com o tamanho crítico e o fator de forma das fibra definidos na Tabela 5. Essa sequencia estabelece o processo de produção da fibra de aço que se adotou.

**Figura 18** - Pacotes de fibras produzidos, corte padronizado de 2,5cm de comprimento.



. Fonte: Autor.

**Figura 19** – Fibra de aço produzida com 25 x 2 x 0,14 mm (comprimento, largura e espessura).



Fonte: Autor.

As fibras resultantes dos cortes foram pesadas e o seu volume crítico definido em função da dosagem, (figura 20).

**Figura 20** - Fibras de aço selecionadas e pesadas em conformidade com a dosagem estabelecida.



Fonte: Do autor.

### 3.1.2 – Caracterização dos Materiais Empregados

Para confecção das matrizes de concreto de referência, foram empregados materiais comumente encontrados em obras, como apresentado a seguir.

**Figura 21** - Laboratório de ensaios de materiais.



Fonte: Do autor

#### 3.1.2.1 – Cimento

O cimento empregado na pesquisa é vendido no comércio de Porto Velho, fabricado pela indústria Votorantim Cimentos S.A., sendo do tipo cimento *Portland* composto tipo CP IV, classe 32.

#### 3.1.2.2 – Areia lavada

A areia empregada na pesquisa foi adquirida no município de Porto Velho, sendo do tipo areia lavada/grossa (4,8 – 6,3 mm) utilizada na confecção do concreto, sendo que a produção está concentrada no Município de Porto Velho.

No Quadro 05, a areia utilizada na pesquisa, está em depósitos aluvionar no rio Candeias, com uma característica quartzosa inconsolidada, branca a cinza clara, fina à média. A origem da areia lavada é mostrada no mapa da Figura 22, com minas ativas desse insumo, retirado através de dragagem.

**Quadro 05** – Característica física da areia utilizada.

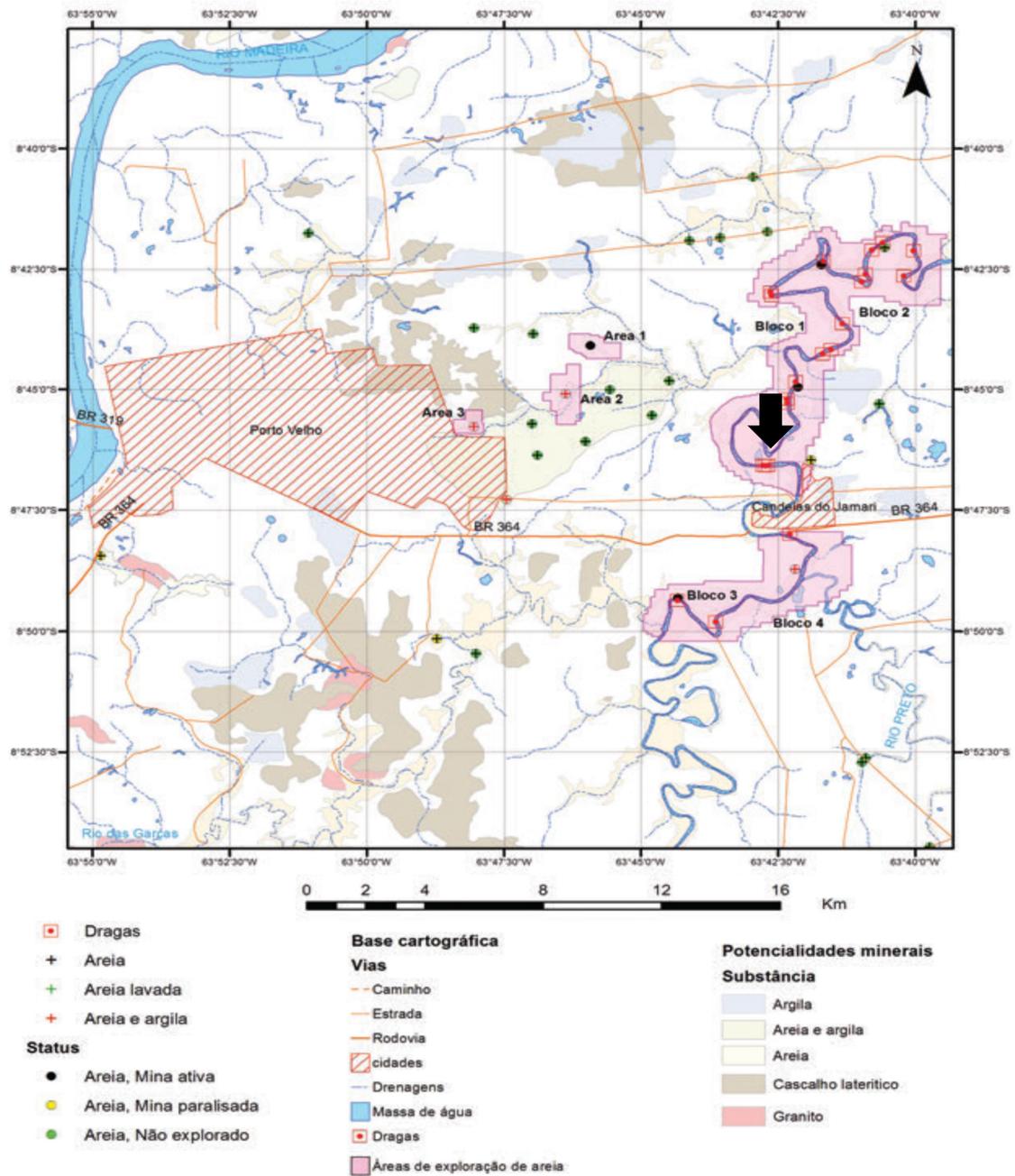
Insumo	Depósito	Característica física/rocha hospedeira
Areia	Aluvionarrio Candeias	<b>Quartzosa inconsolidada, branca a cinza clara, fina à média.</b>
Areia	Cobertura arenosa planícies aluviais	Areia quartzosa inconsolidada, branca a cinza clara fina.
Areia	Formacional/sedimentar coberturas indiferenciada	Areia quartzosa, média a grossa, intercalada com argila.
Areia/Argila	Formacional/sedimentar indiferenciada	Areia quartzosa inconsolidada, creme, média a grossa, mal selecionada; argila

Fonte: CPRM-RO (2015).

Atualmente a maior extração vem do rio Candeias, retirado através de dragagem.

As Normas Técnicas observadas para os ensaios da areia foram, a NBR 7211:2009 – agregado para concreto; NBR 7216:1987 amostragem; NBR 7218:1987 – torrões de argila; NBR7219:1987 – material pulverulento; NBR 7220:1987 – impurezas orgânicas; NBR 7217:1987 – granulometria e NBR 7809:1983 – forma dos grãos. Os resultados obtidos estão resumidos na tabela 30, elaborada pelo laboratório do CPRM-RO.

**Figura 22** – Mapa de localização do ponto onde foi retirado a areia lavada no rio Candeias –  
 flecha negra - folha Porto Velho.



Fonte: CPRM/RO (2015).

### 3.1.2.3 – Brita

A brita utilizada tem a sua origem na reserva de granito retirada do maciço Santo Antônio ou Suíte Intrusiva Santo Antônio, localizada a aproximadamente 13 km de Porto Velho, constitui-se por várias fácies de granitoides, variando de coloração cinza e grão fino a rochas de coloração rosada e grão grosso e porfiróides, ocorrendo subordinadamente diques de rochas máficas. A textura rapakivi se encontra presente, sendo um dos elementos de correção com os granitos do tipo serra da providência tipo de negócio.

A rocha granítica de natureza intrusiva, tem textura constituída por uma matriz de grão fino a médio, com fenocristais de feldspato, parte desse maciço é caracterizado como originário do Maciço Santo Antônio (RadanBrasil, 1990), parte de sua localização está demonstrado na Figura 23.

O granito na rocha sã possui uma densidade média entre 2,5 t/m<sup>3</sup> e 2,8 t/m<sup>3</sup>, sendo que os granitos atualmente em exploração em Rondônia para fins de rocha ornamental e de grãos grossos, possuem densidades que variam normalmente entre 2,6 t/m<sup>3</sup> e 2,9t/m<sup>3</sup> no estado natural. Quando da produção de brita, em função do aumento de espaços vazios entre os fragmentos de rocha, esta densidade cai para valores em torno de 1,5 t/m<sup>3</sup>.

Nesta pesquisa utilizamos a brita de nº 1, ou de 19mm. ( NBR 6502:1980).

A brita utilizada nesse trabalho, veio da Zona 1, Região do Santo Antônio do Madeira, pedreira MMM Minas Mineração, conforme Figura 23 e item (D).

Os exames tecnológicos realizados para brita utilizada na experiência, foram: a análise petrográfica de agregado graúdo (Tabela 13), com ênfase à reação álcali-agregado-NBR 15577; determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água (agregado graúdo) - NBR 7418:1987; determinação da resistência à abrasão “Los Angeles” (agregado graúdo) – NBR NM 51:2001; determinação da forma dos fragmentos (agregado graúdo) – segundo as normas NBR 6954:1989; análise granulométrica de agregado miúdo – segundo a norma NBR NM 248:2001 e a apreciação (“análise”) petrográfica de agregado miúdo - NBR 7389:2009. Ainda tem a norma NBR-7211:2009 – Agregados para concreto – Especificação, que trata da especificação de agregados para concreto, (Quadro 05).

Para a determinação do índice de forma, utilizou-se o método do paquímetro, seguindo o que determina a NBR 7809:2006. Sendo a média da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos do agregado, ponderada pela quantidade de grãos de cada fração granulométrica de sua composição. Resultando nas dimensões apresentadas na Quadro 06.

**Figura 23** – Granito da Suíte Intrusiva Santo Antônio - (A) Contato de distintas fácies graníticas; (B) Detalhe do contato (C) Fácies inequigranulares de cor rósea, nas proximidades do balneáriocachoeirinha; (D) Área de exploração da pedreira MM Minas Mineração Ltda.



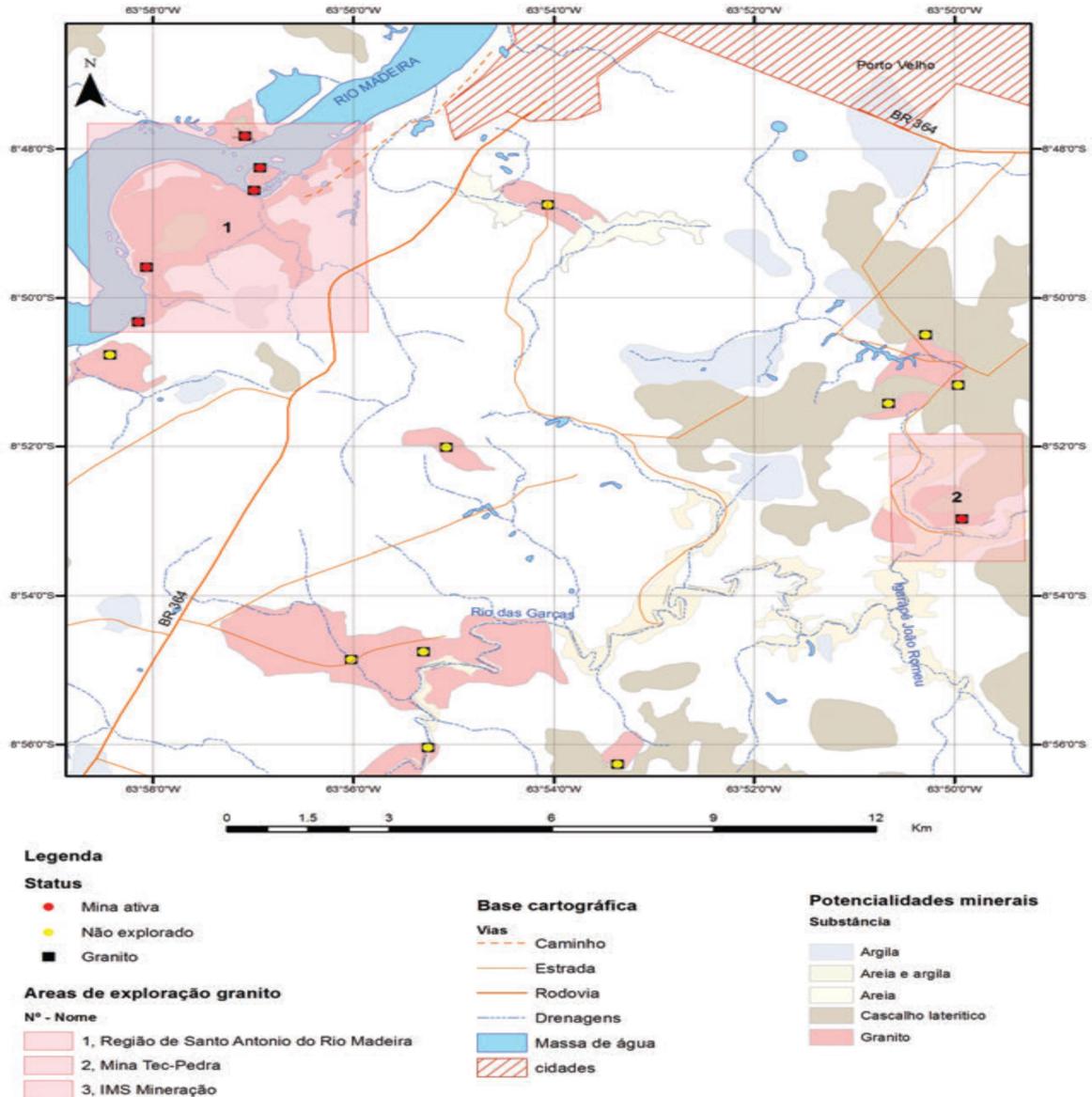
. Fonte: CPRM –Porto Velho/RO

**Quadro 06** – Classificação do agregado graúdo de acordo com as dimensões nominais utilizado na experiência

<b>PEDRA BRITA NUMERADA</b>				
Abertura das peneiras de malhas quadradas (mm)				
NBR – 7211:09 /NBR7225:93		Número	Comercial	
Mínima	Máxima		Mínima	Máxima
4,8	12,5	Brita 1	12,5	25

Fonte: NBR7225:1993 / Adaptado: Dados coletados.

**Figura 24** – Localização das regiões produtoras da mineração Região do Santo Antônio do Madeira – (Mineração MMM Minas Mineração).



Fonte: CPRM-Porto Velho/RO

#### 3.1.2.4 – Água

A água utilizada nos laboratórios de concreto da cidade de Porto Velho, para a hidratação do compósito, é a água da empresa CAERD, concessionária de abastecimento hidráulica da cidade, sendo coletadas amostras em pontos estratégicos da rede, para cobrir o número de amostras recomendado pela portaria 518/2004, do Ministério da Saúde.

Segundo informações do corpo técnico da CAERD, em laboratório, a água passa por testes de cor, turbidez, PH e cloro, flúor e de coliformes, portanto líquido de natureza potável sem restrições para utilização em concreto e argamassa.

### 3.1.2.5 – Aditivo Superplastificante

Foi utilizado aditivo denominado Superplastificante ou aditivo redutor de água de alta eficiência. A sua principal característica foi a de reduzir a água de amassamento na mistura de concreto de três a quatro vezes mais, quando comparados aos aditivos redutores de água normais.

Foi utilizado o aditivo Master Rheobuild 1000, líquido livre de cloretos e composto por componentes que atuam como dispersantes do material cimentício, propiciando superplastificação e alta redução de água, tornando o concreto com maior trabalhabilidade sem alteração do tempo de pega. Geralmente recomendado para a fabricação de concretos reoplásticos onde se necessita baixo fator A/C\* e alta fluidez, aumentando a coesão e a redução da segregação, a trabalhabilidade do concreto. O fabricante determina uma massa específica (NBR 10908) como sendo entre 1,04 e 1,08 g/cm<sup>3</sup> e recomenda uma dosagem de 0,6 a 2,0%, os repetidos testes de provas levaram a utilização de 1%. De acordo com a NBR 11768 é um aditivo do Tipo SP II/N/A/R.

### 3.1.2.6 – Folhas Metálicas

A produção de folhas metálicas segue a norma NBR 6665/2014 como também as normas técnicas internacionais, mais importantes, tais como a JIS, EURONORM, e a ASTM, conforme indicado na tabela 09.

**Tabela 09** - As principais normas técnicas utilizadas pelos fabricantes nacionais

<b>Produto Norma</b>	
<b>FL / BFL</b>	NBR 6665/2014 / ASTM A624 / ASTM A626 / EN 10202 / JIS G3303 SPTE
<b>FCR / BCR</b>	NBR 6665/2014 / ASTM A657 / JIS G3315 SPTFS / EURONORM EN 10202
<b>FNR / BNR</b>	NBR 6665/2014 / ASTM A625 / JIS G3303 SBP / EURONORM EN 10205

Fonte: CSN (2016)e IPT(2016).

### 3.2 – Métodos e técnicas utilizados

#### 3.2.1 – Caracterização dos Materiais

As principais propriedades mecânicas do concreto são representadas pela resistência à compressão, à tração e o módulo de elasticidade. O trabalho teve a finalidade de determinar através dos ensaios da resistência a compressão axial e as resistências à tração, o comportamento das fibras na matriz cimentícia. Os ensaios foram realizados buscando sempre o controle da qualidade e atendimento às normas vigentes, Quadro 07.

**Quadro 07 - Métodos de ensaios**

Propriedades	Métodos de ensaios
<b>Agregados</b>	NBR 7211:2009 – Agregados para concreto
<b>Absorção de água por imersão</b>	NBR 9778:2009 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água
<b>Índice de vazios</b>	NBR 9778:2009 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação do índice de vazios
<b>Massa específica</b>	NBR 9778:2009 – Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da massa específica
<b>Preparo de corpo de prova de concreto</b>	NBR 5738:2003 – Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.
<b>Ensaio de compressão axial</b>	NBR 5739:2007 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos cilíndricos
<b>Ensaio de compressão diametral</b>	NBR 7222:2011 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.
<b>Ensaio de tração na flexão</b>	NBR 12142:2010 – Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.

Fonte: Autor

#### 3.2.2 Definição da dosagem racional e experimental.

Nesse estudo optamos pela dosagem experimental devido a escolha da resistência do concreto ser superior ao C20 ( $f_{ck} = 20\text{MPa}$ ), ou seja, C30 ( $f_{ck} = 30\text{MPa}$ ). Onde foi utilizado os mesmos materiais e condições semelhantes as obras locais (Figura 26). Portanto, pode-se utilizar outras normas, que nesse caso utilizamos a American Concrete Institute – ACI. Quadro 08.

**Quadro 08** – Elementos normativos para definição da dosagem.

<b>Concreto – dados para dosagem racional e experimental</b>		
Propriedades	Método – especificação	Padrão
Elemento estrutural convencional	NBR 8953:2015	C30 S100
Resistência característica	NBR 8953:2015	$f_{ck} = 30$ MPa
Condição de preparo	NBR 12655:2015	A – desvio padrão $s_d = 4$
Relação água e cimento	NBR 12655:2015	Classe de agressividade II
Resistência de dosagem	NBR 12655:2015	$f_{cmj} = 36,6$ Mpa
Dosagem (C : Ar : B : Ag)	ACI 201 / 211 / 318 / 322	450 : 760 : 880 : 205

Fonte: Autor.

O método da dosagem utilizado na pesquisa foi a do volume absoluto (ACI), com dosagem do concreto normal, requer um ajuste nas proporções através de experimentos para atender as exigências de trabalhabilidade do concreto fresco e propriedades do concreto endurecido sejam satisfatórias. Para isso, é fundamental começar com volumes iguais de agregados miúdos e graúdos, fazendo os ajustes necessários para atingir o abatimento desejado (METHA e MONTEIRO, 1994).

O ACI - 211.2-98 é uma norma que tem a finalidade de fornecer métodos aplicáveis para selecionar e ajustar proporções de misturas para concreto estrutural. Estes métodos são também aplicáveis em concreto contendo uma combinação de agregado leve (fibras) e agregado normal.

Os métodos utilizados para dosagem dos concretos com massa específica normal podem ser utilizados para os concretos C30S100. O método ACI, classifica os compósitos em função da fração volumétrica da fibra. Todos a memória de calculo e tabelas de dosagem encontram-se no ANEXO II.

### 3.2.2.1 – Dosagem com adição de fibras de aço de embalagens.

O traço definido anteriormente serviu para moldar o corpo de prova para o concreto de referencia (REF). Por outro lado para os concretos com adições de fibras foram empregados os seguintes percentuais: 0,5%, 1,0% e 1,5%, em volume unitário. Sendo a menor proporção de fibra de 0,5% e a maior de 1,5%. Conforme Tabela 10.

A escolha desses percentuais foi baseada em trabalhos anteriores com fibras de aço, como os de Góis (2010) e Figueiredo (2011), onde o desempenho dos compósitos reforçados com fibras foi controlado principalmente pelo teor das fibras, pelo seu fator de forma, pelas suas propriedades físicas da matriz e pela aderência entre as duas fases. Sabendo-se que as misturas heterogêneas dependem do teor de fibras que são incorporadas no concreto, passando a integrar o componente estrutural. Quanto maior for o teor de fibras incorporadas no material, melhor será o desempenho, pois maior será o número de fibras que interceptará cada microfissura, evitando assim a propagação das mesmas. Deve-se observar que o aumento de fibras no compósito reduz a trabalhabilidade. Dentre os ensaios que indicam indiretamente a trabalhabilidade dos concretos convencionais e bombeados pode-se citar o Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone.

Segundo as Tabelas de Dosagem Unitária, teremos :

**Tabela 10** - Peso total de fibras de aço (kg).

Total de fibras (kg)			
<b>0,5 % F2</b>	11,475	0,033	0,33
<b>1,0 % F3</b>	22,950	0,065	0,65
<b>1,0 % F4</b>	34,420	0,098	0,98

**Fonte:** Do autor.

Para o concreto com fibras, o lançamento da fibra foi feita com a betoneira em movimento, Figura 25, em intervalos e quantidades determinadas para que houvesse uma melhor distribuição das fibras entre os insumos existentes. Os intervalos estavam determinados a medida que se colocava os insumos miúdos e graúdos, em quantidades unitárias de 1/5 do total previsto para o traço. A dosagem unitária foi de 1,96 Kg/m<sup>3</sup>. As fibras foram lançadas em forma de espalhamento e no sentido horário do movimento da betoneira. Sua distribuição foi conforme o planejamento, de forma homogênea, lenta e em dosagens previamente estudadas.

**Figura 25** - Adição das fibras no concreto.



Fonte: proprio autor.

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios destrutivos de resistência do concreto endurecido (7 e 28 dias) nos seguintes casos:

- ✓ Ensaio a compressão axial;
- ✓ Ensaio a compressão diametral;
- ✓ Ensaio de resistência à tração na flexão em corpos de provas prismáticos.

Foram confeccionados corpos de provas cilíndricos e prismáticos de cada traço de concreto, tanto para o concreto de referencia, sem fibra incorporada o (F1) quanto para os demais com percentuais de adição de fibra (F2, F3 e F4), com perfil de corpos de prova cilíndricos e prismáticos, conforme o Quadro 09. Conforme demonstra a Figura 26.

**Quadro 09** - Quantidade de corpos de prova confeccionados.

Moldagem dos corpos de prova		
Concreto	Corpo de prova cilíndrico	Corpo de prova prismático
<b>F1(REF)</b>	<b>24</b>	<b>8</b>
<b>F2</b>	<b>48</b>	<b>8</b>
<b>F3</b>	<b>48</b>	<b>8</b>
<b>F4</b>	<b>48</b>	<b>8</b>
<b>TOTAL</b>	<b>168</b>	<b>32</b>

Fonte: Do autor.

**Figura 26** - moldagem dos corpos de prova.



**Fonte:** Autor.

### 3.2.3 – Resistência mecânica à compressão axial

Os ensaios foram realizados no Laboratório Betontec, em Porto Velho, em uma prensa hidráulica da marca Solotest, série 3304/15, aferida em 19/04/2016, certificado 42068-16. A figura 27 demonstra a execução do ensaio.

**Figura 27** - Corpo de prova na prensa, ensaio de compressão axial.



**Fonte:** Autor.

### 3.2.4 – Resistência de compressão diametral

Os ensaios foram realizados com corpos cilíndricos de 15 cm por 30 cm colocados com o eixo horizontal entre os pratos da prensa, sendo aplicada uma força até a sua ruptura por tração indireta (ruptura por fendilhamento), (ABNT NBR – 7222:2009). A figura 28 (a) e (b) mostra a execução do ensaio de tração por compressão diametral.

**Figura 28** - Ensaio de tração à compressão diametral.



Fonte: Autor.

Os ensaios foram realizados tanto ao 7º dia, bem como no 28º dia após a moldagem. A prensa hidráulica é a mesma utilizada nos ensaios de resistência a tração por compressão axial.

### 3.2.5 – Resistência à tração na flexão em corpos prismáticos

Os ensaios foram realizados com corpos prismáticos e submetidos à flexão, com carregamento em duas seções simétricas, até à ruptura. Também conhecido como “carregamento nos terços”. (ABNT NBR – 12142:2010). É um ensaio mais complexo que os demais, devido ao processo de execução e pela aparelhagem necessária.

Observa ainda a NBR 12142:2010, que caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distância deste não superior a 5% de  $l$ , demonstrado pela Figura 29 da Norma, calcular a resistência à tração na flexão pela expressão indicada pela norma, e assim se procedeu.

**Figura 29** - (a) ensaio do corpo a tração na flexão do molde prismático.(b) o rompimento se deu no primeiro terço do corpo de prova.



(a)



(b)

Fonte: Do autor.

**Figura 30** - a) Marcação do terço do corpo prismático e b) linha de rompimento.



(a)



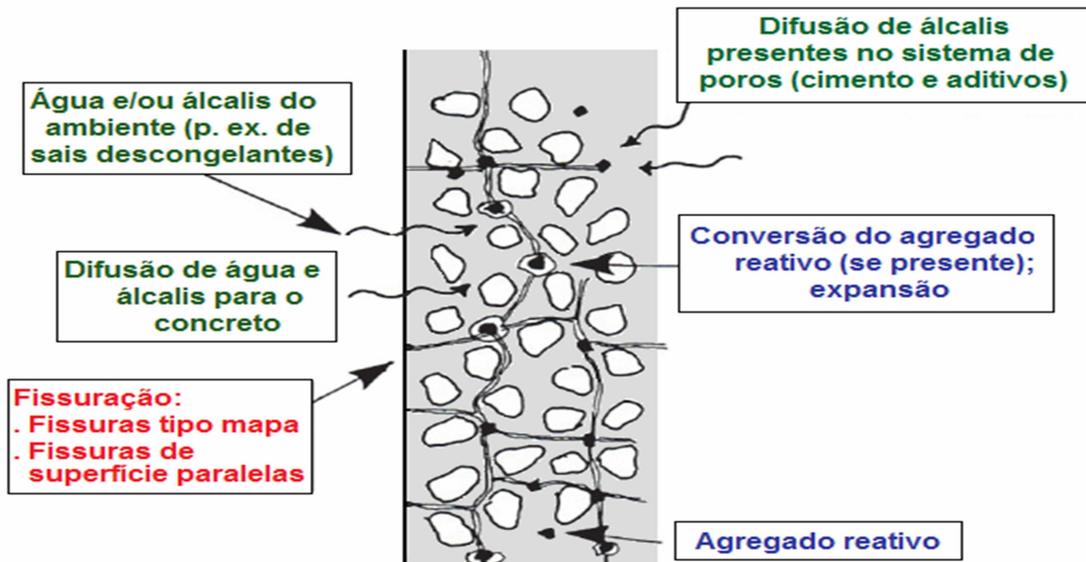
(b)

Fonte: do Autor.

### 3.2.6 – Análise microestrutural e morfológica do concreto no estado endurecido.

A análise microestrutural, voltou-se principalmente para os estudos do comportamento das fissuras na matriz e a interação da fibra com os demais componentes e o aspecto físico – químico da dosagem do concreto. Figura 31.

**Figura 31** - Análise microestrutural da matriz cimentícia.



Fonte: IBRACON (2011).

O procedimento analítico microestrutural da Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV, foi realizada no Laboratório Multiusuário de Microscopia Eletrônica – LUMENE da UFBA, através de microscópio de varredura eletrônica (JSM-6610/ Jeol®), equipado com EDS, Thermo Scientific NSS Spectral Imaging, com a finalidade de observar as alterações microestruturais no concreto. As alterações podem ser detectadas nas diferentes microestruturas e nas zonas de transição dos agregados convencionais e a pasta do cimento. Sempre com o objetivo de detectar a natureza da fissura e sua evolução nas determinadas proporções do percentual de fibra adicionada na matriz cimentícia.

As amostras foram cortadas com serra de vidia, desengorduradas por extração em Soxhlet, obtendo-se pastilhas de aproximadamente 5,5mm de espessura. Separou-se as regiões de interfaces de agregado/pasta de cimento e cortadas em amostras de 1,0cm de lado. Alocadas em stubs (porta amostras) de alumínio com fita dupla face e banhadas por um filme ultrafino de ouro, que permiti o funcionamento do MEV, por emissão de feixes de elétrons

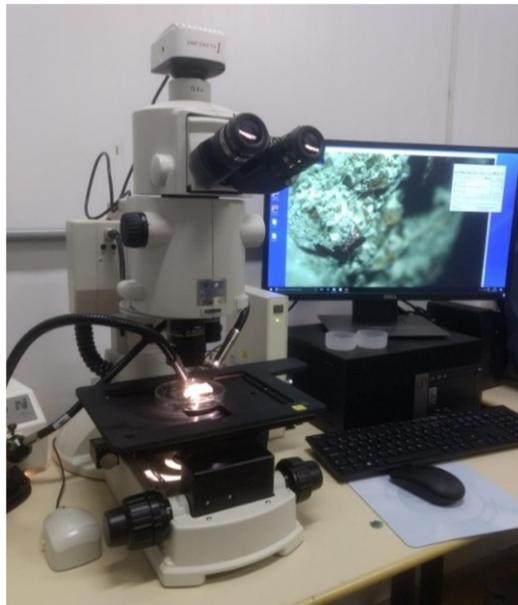
com voltagens de 10kV por filamento de tungstênio. As micrografias foram realizadas com aumentos variáveis, para melhor visualização microestrutural.

As amostras para análise com microscopia óptica, foram retirados do material obtido do rompimento dos corpos de prova, submetidos a ensaios aos 28 dias, para verificar a microestrutura e a morfologia da resultante do concreto e o comportamento das fibras no interior da matriz cimentícia, nos diversos percentuais de fibras, REF (F1), 0,5%(F2), 1,0%(F2) e 1,5%(F3).

Todos os ensaios de microscopia óptica foram realizados no Laboratório de Materiais e Ensaios da Universidade Federal da Bahia – UFBA, em um microscópio estereoscópio da marca Nikon, modelo AZ Plan Apo 100M, ambos com câmera de vídeo acoplada a um computador para aquisição de imagens. Figura 32.

Foram obtidas 8 imagens para os corpos REF (F1), 9 para 0,5%(F2), 10 para 1,0% (F3), 12 para 1,5%(F4) partir dos resultados obtidos da microscopia óptica do GFRC. O numero de ensaios aumentou a proporção do aumento do percentual da fibra na matriz cimentícia, onde se pode melhor observar o comportamento da fibra.

**Figura 32** - Equipamento de Microscopia Óptica utilizado na pesquisa. Nikon AZ Plan Apo 100M.



**Fonte:** Autor

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Características dos materiais

#### 4.1.1 - Ensaio da areia lavada utilizada

Conforme os ensaios laboratoriais, em Anexo IV, foram obtidas as características da areia, retirada do rio Candeias empregadas nessa pesquisa. A sua caracterização apontou um agregado miúdo tipo areia média de excelente qualidade, composta de grãos duros, estáveis, compactos e limpos, portanto, dentro da zona ótima, sendo adequada para utilização em argamassa e concreto. (Tabela 2 e 3 – NBR 7211:2009).

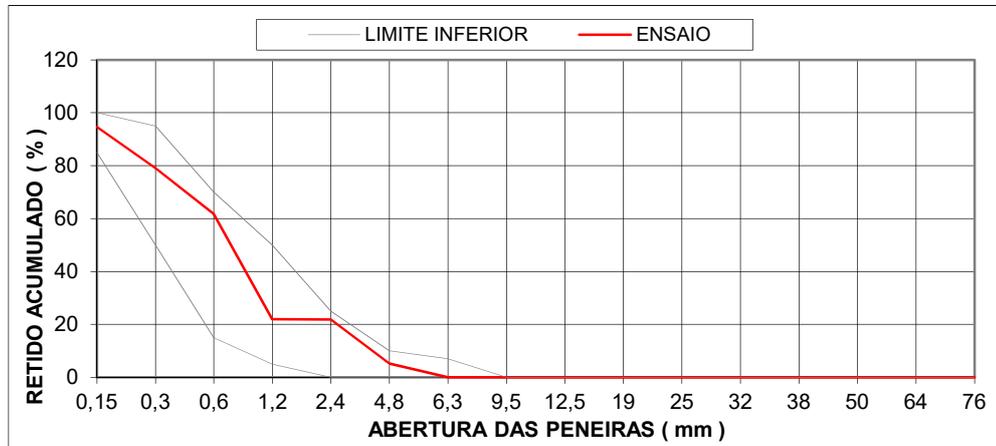
**Tabela 11 - Resultado dos ensaios da areia lavada.**

RESULTADOS DOS ENSAIOS AREIA			
Características		Resultados	
<b>Massa unitária</b>		<b>1,50</b>	<b>kg/dm<sup>3</sup></b>
<b>NBR NM 53</b>			
<b>Massa específica</b>		<b>2,62</b>	<b>kg/dm<sup>3</sup></b>
<b>NBR NM 53</b>			
<b>Teor de argila</b>		<b>Isento</b>	<b>%</b>
<b>NBR 7218</b>			
<b>Material pulverulentos</b>		<b>0,5</b>	<b>%</b>
<b>NBR NM 46</b>			
<b>Absorção</b>			<b>%</b>
<b>NBR NM 53</b>			
<b>Impurezas Orgânicas</b>		<b>&lt; 300</b>	<b>PPM</b>
<b>NBR NM 49</b>			
<b>Módulo de finura</b>		<b>2,845</b>	
<b>NBR 7211</b>			
<b>Diâmetro máximo</b>		<b>6,3 mm</b>	
<b>NBR 7211</b>			
<b>Coefficiente de vazios</b>		<b>42,86</b>	<b>%</b>

Fonte: Autor

Os resultados da caracterização mineralógica da areia empregada na pesquisa, do ensaio de granulometria e dos ensaios macroscópico, com lupa ou microscópio, difratogrametria de raio X e análise química, em corpos de prova de concreto estão apresentados na Tabela 11, e a sua curva granulométrica pela, Figura 33 .

**Figura 33** - Curva granulométrica da areia.



Fonte: Autor

(\*) Agregado :Areia natural lavada, com módulo de finura da ordem de 2,76. De acordo com o módulo de finura definido, a areia analisada constituiu-se de uma areia média.

A qualidade das amostras (Tabela 12) apresentam em geral granulometria de areia média, com predominância em areia média para grossa. Nessa mesma análise são considerados os materiais finos, ou seja, o abaixo de 0,062mm(silte/areia), onde a maioria das amostras variou de 1,55 a 3,03%, o que classifica a areia com baixo percentual de finos. Em geral estas areias são utilizadas como agregado miúdo para concreto. A areia natural lavada obtida, apresentou um módulo de finura de 2,845 (NBR 7211:2009), cujo resultado a classificam como uma areia média. Os ensaios de análise granulométrica indicam, concluíram que a areia utilizada do rio Candeias é de excelente qualidade, principalmente para concreto.

Comparando-se a faixa granulométrica da areia lavada, material em estudo com as determinações da norma, observa-se que a mesma esta situada em intervalo médio em conformidade com os padrões, na faixa ótima de utilização. A faixa de grãos selecionados para este estudo, incluídos os finos, essenciais no preenchimento dos espaços entre grãos, favorece a compacidade do compósito e auxilia na redução dos vazios. A umidade da areia determinada foi de 2,52 %.

A areia lavada em tela, apresenta uma massa especifica dentro do que estabelece a NBR 9776 : 1988.

**Tabela 12** - Identificação e Resultados da Análise de Amostras de Areia do rio Candeias.

<b>Amostra</b>	<b>ARG/SIL &lt;0,062mm</b>	<b>AMF 0,062mm</b>	<b>AF 0,125mm</b>	<b>AM 0,250mm</b>	<b>AG0,50mm</b>	<b>AMG 1,00mm</b>	<b>GRAN 2,00mm</b>	<b>SEI 4,00mm</b>	<b>Classificação Wentworf</b>	<b>Local</b>
<b>Ce-519- C1</b>	1,55	1,31	6,57	27,15	21,61	23,22	14,16	4,42	AM	Rio Candeias
<b>Ce— 519-C2</b>	1,75	1,51	6,55	22,16	17,52	25,01	17,56	7,82	AMG	Rio Candeias
<b>Ce-520- B2</b>	3,06	0,41	1,14	14,72	28,36	35,99	14,98	1,33	AMG	Rio Candeias
<b>Ce-519- B2</b>	2,31	8,11	33,36	48,22	5,15	2,65	0	0	AM	Rio Candeias

Fonte: Laboratório do CPRM- RO

**Nota:** ARG/SIL = argila/silte, AMF = areia muito fina, AF = areia fina, AM = areia média, AG = areia grossa, AMG = areia muito grossa, GRA=grânulo,SEI=seixo.

#### 4.1.2 – Ensaio da brita utilizada

Os resultados para o agregado graúdo indicam que se trata de um agregado tipo brita 1 e mediante sua caracterização mineralógica indica que este constitui-se de uma rocha granítica, estável, dura, compacta e limpa, caracterizando-o como agregado de qualidade ótima, portanto, de boa qualidade e adequado para utilização em concretos. Os resultados dos ensaios de caracterização dos agregados graúdos (brita 1), são representados no Tabela 13.

**Tabela 13** - Resultado dos ensaios de caracterização dos agregados graúdos utilizado na pesquisa.

RESULTADO DOS ENSAIOS BRITA			
Características		Resultados	
Massa unitária		1,37	kg/dm <sup>3</sup>
NBR NM 53			
Massa específica		2,64	kg/dm <sup>3</sup>
NBR NM 53			
Teor de argila		Isento	%
NBR 7218			
Materiais pulverulentos		0,8	%
NBR NM 46			
Absorção		0,78	%
NBR NM 53			
Impurezas orgânicas		< 300	Ppm
NBR NM 49			
Módulo de finura		6,664	
NBR 7211			
Diâmetro máximo		19	mm
NBR 7211			
Coefficientes de vazios		48,12	%

Fonte: Do autor – Realizado em Laboratório.

**Tabela 14** - Análise petrográfica do agregado graúdo empregado na pesquisa.

Valor	QZ	Or	Ab	Na	Wo	Mg	In	Hem	Ap	Cor	Hi	Dp
X	32,4	30,2	31,9	2,6	-2	1,3	0,4	-4	0,1	-6	-8	-9
S	5,1	4,4	3,9	1,1	-	0,6	0,3	-	0,1	-	-	-
Vma	40,4	34,8	38,3	5	0,91	2,2	0,9	1,2	0,5	1,68	2,35	3,28
Vmin	24,3	18,6	26,6	1,4	0,37	0,1	-	0,54	-	0,23	0,23	0,02

Fonte: Radan Brasil, CPRM-RO (1990)

Onde:

X- Média

S- Desvio-Padrão

Vma-Valor Máximo,

Vmi- Valor Mínimo

(\*)- Total de amostra em que o mineral ocorre.

**Tabela 15** – Amostra do agregado graúdo empregado na pesquisa.

Amostra	ALA	DUR	INDICE DE FORMA		EQA %	ADV %
			GRB %	GRD %		
Brita 3/4"	25,6	0,29	75	75	-	-
Brita 3/8"	26,5	0,86	88	12	-	-
Brita 3/16"	-	3,74	-	-	70	-
Brita 1/4"	-	-	-	-	-	0,16

Fonte: CPRM – Porto Velho/RO.

(\*) Nota: ALA= abrasão Los Angeles, DUR= durabilidade, GRB=grãos bons, GRD= grãos defeituosos, EQA= equivalente areia, ADS= adesividade.

## 4.2 – Caracterização física e mecânica do concreto

Ao analisar o desempenho de resistência do concreto com fibras de aço verificou-se, primeiramente, os acréscimos de resistência proporcionados ao concreto devido à adição das fibras no interior da matriz cimentícia, quando comparado com a dosagem do concreto pré estabelecido (REF-F1), sem a adição de fibras de aço.

### 4.2.1 – Resistência mecânica à compressão axial

A Tabela 16, apresenta os resultados da compressão axial realizados em corpos de prova. Nos resultados aferidos, observa-se que a resistência à compressão axial do concreto não foi muito afetada com a adição de fibras de aço de embalagens. O discreto acréscimo obtido, em relação ao corpo de prova de referencia, mostra que estas adições pouco afetaram a resistência a fratura dos compósitos sob cargas compressivas. As propriedades do compósito resultante do concreto mais fibra, foi mas influenciada pelas características da matriz do que pelas adições das fibras utilizadas.

**Tabela 16** - Estatística, compressão axial.

Resistência à compressão axial						
Análise Estatística						
Adição de Fibras	7º Dia			28º Dia		
	R <sup>2</sup>	Desvpad	Média	R <sup>2</sup>	Desvpad	Média
F1	0,9631	0,4956	30,98	0,9657	0,141	32,90
F2	0,9398	0,4140	33,15	0,9613	1,401	34,15
F3	0,8120	0,3560	31,93	0,9605	0,938	32,50
F4	0,8784	0,2730	31,45	0,9391	0,463	33,17

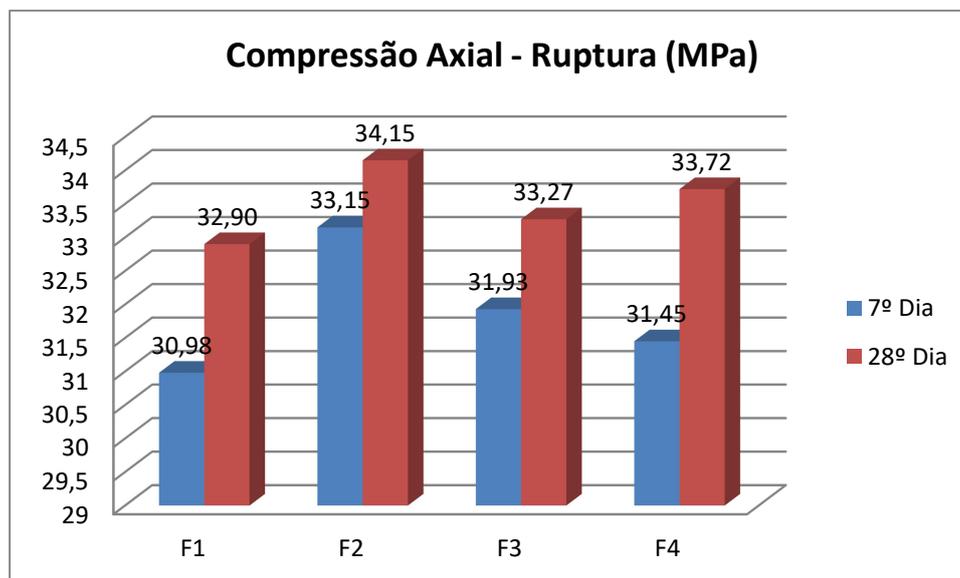
Fonte: Do autor.

**Tabela 17** - Coeficiente de Variação da resistência à compressão axial.

Resistência à compressão axial		
Análise Estatística - Coeficiente de Variação(CV%)		
Adição de Fibras	7º Dia	28ºDia
	CV	CV
F1	1,599741769	0,428571429
F2	1,248868778	4,102489019
F3	1,114938929	2,886153846
F4	0,868044515	1,395839614

Fonte: Do autor.

A Figura 34 mostra essa evolução, em um sistema gráfico comparativo.

**Figura 34** - Acréscimo de resistência na compressão axial.

Fonte: Do autor.

A finalidade de adicionar fibras no concreto, não é fazer com que a sua resistência à compressão axial aumente. Alguns estudos indicam uma redução nos valores encontrados para a resistência à compressão pelo fato da má compactação obtido com a mistura. Entretanto, o que ficou demonstrado é que mesmo com a incorporação das fibras de aço de embalagens, o concreto apresentou a resistência prevista na amostra de referência.

Os resultados estão de acordo com as orientações da American Concrete Institute (ACI 544,1R, 1996), onde afirma que a incorporação de fibras de aço no concreto resulta em um aumento de 0 e 15% na resistência à compressão.

#### 4.2.2 – Resistência à tração por compressão diametral

A Tabela 18, mostra os resultados obtidos do ensaio de tração na compressão diametral. À proporção que a quantidade de fibras foi aumentada em determinados teores, os valores médios da resistência à tração por compressão diametral, também aumentaram, ou seja, a resistência do compósito aumentou em ambas as idades, comprovando que a variação no teor de fibras revelou-se significativa.

**Tabela 18** - Dados estatísticos obtidos nos ensaios à tração por compressão diametral.

<b>Resistência à tração por compressão diametral</b>						
<b>Análise Estatística</b>						
<b>Adição de Fibras</b>	<b>7º Dia</b>			<b>28º Dia</b>		
	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Desvpad</b>	<b>Média</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Desvpad</b>	<b>Média</b>
<b>F1</b>	<b>0,9131</b>	<b>0,3188</b>	<b>14,8166</b>	<b>0,9220</b>	<b>0,1170</b>	<b>16,5200</b>
<b>F2</b>	<b>0,8790</b>	<b>0,2280</b>	<b>15,5000</b>	<b>0,9703</b>	<b>0,8953</b>	<b>17,2833</b>
<b>F3</b>	<b>0,8521</b>	<b>0,3010</b>	<b>17,3700</b>	<b>0,7232</b>	<b>0,5656</b>	<b>17,6000</b>
<b>F4</b>	<b>0,6750</b>	<b>0,2730</b>	<b>14,4700</b>	<b>0,9080</b>	<b>0,2800</b>	<b>18,6300</b>

Fonte: Do autor.

**Tabela 19** - Coeficiente de variação da resistência à tração compressão diametral.

<b>Resistência à compressão diametral</b>		
<b>Análise Estatística - Coeficiente de Variação(CV%)</b>		
<b>Adição de Fibras</b>	<b>7º Dia</b>	<b>28ºDia</b>
	<b>CV</b>	<b>CV</b>
<b>F1</b>	2,151640727	0,708232446
<b>F2</b>	1,470967742	5,180144995
<b>F3</b>	1,732872769	3,213636364
<b>F4</b>	1,886662059	1,502952228

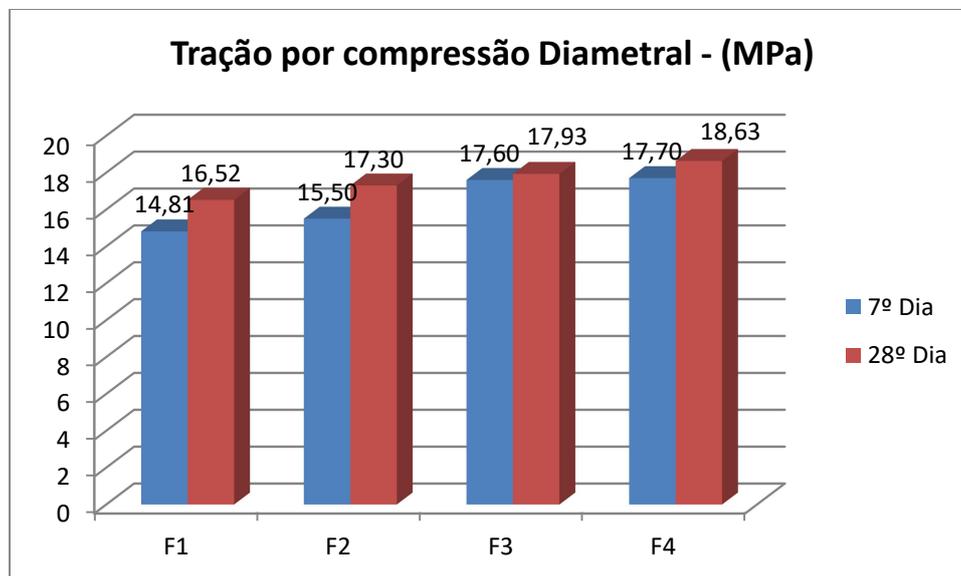
Fonte: Do autor.

Na verificação do acréscimo de resistência no ensaio de tração por compressão diametral, pode-se verificar que: Ao 7º dia o ganho médio de resistência do concreto com adição de fibra de aço no volume de F3, foi de 15% em relação ao concreto sem fibra. Entretanto, ao 28º dia o acréscimo médio de resistência do concreto com adição de fibras de aço atingiu 13% em relação ao traço de referência, na adição fibras de aço de embalagens na proporção de F4. Conforme a análise estatística o CV, indica que o maior volume crítico adicionado foi o que melhor obteve o melhor resultado aos 28º dia.

Os resultados para o ensaio de compressão diametral também podem ser observados na Figura 35, em forma de um gráfico de barras.

A Figura 35 apresenta o gráfico dos resultados médios de resistência à tração por compressão diametral aos 7 e 28 dias.

**Figura 35 - Acréscimo de resistência na compressão diametral.**



**Fonte:** Do autor.

Como aborda Figueiredo (2011) afirmando que o aumento da resistência à tração por compressão diametral, são gerados pelas fibras, variando conforme o comprimento das mesmas e a dimensão máxima do agregado graúdo. O comprimento da fibra adotado foi o tamanho do maior agregado do compósito, neste caso a brita 1, relativo a 2,5cm. As recomendações práticas nos orientam a serem utilizadas fibras cujo comprimento seja igual ou superior ao dobro da dimensão máxima característica do agregado utilizado no concreto. Em outras palavras, deve haver uma compatibilidade dimensional entre agregados e fibras de modo que estas interceptem com maior frequência a fissura que ocorre no compósito (MAIDL, 1991). Isso não ocorreu, como demonstra os ensaios com MO e o MEV, apesar da visível interação das fibras de aço com a matriz. Outro fator observado foi a diminuição do comprimento e com o aumento da largura das fibras de aço de embalagens em alguns momentos, através de dobras e surgimento de ondulações da fibra verificadas nos ensaios do MO, esses fatores concorrem para modificação do fator de forma da fibra pesquisada, que foi previamente determinado.

O aumento relativo da resistência apresentada, deu-se principalmente pela incompatibilidade dimensional entre o agregado graúdo e as fibras de aço incorporadas,

e o percentual do volume crítico, com o objetivo de interromper com maior frequência a fissura no concreto.

Diversos fatores podem intervir nas propriedades mecânicas dos concretos que possuem fibras de aço. Os principais citados são o comprimento das fibras, interação fibra/matriz, orientação e o volume das fibras adicionadas.

#### 4.2.3 – Resistência à tração na flexão em corpos prismático.

A Tabela 20, apresenta os resultados médios dos ensaios de resistência à tração na flexão, esse ensaio foi realizado nas idades de 7 e 28 dias respectivamente.

**Tabela 20** - Dados estatísticos obtidos dos resultados dos ensaios de laboratório da resistência à tração na flexão.

<b>Resistência à tração na flexão em corpos prismáticos</b>						
<b>Análise Estatística</b>						
<b>Adição de Fibras</b>	<b>7º Dia</b>			<b>28º Dia</b>		
	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Desvpad</b>	<b>Média</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Desvpad</b>	<b>Média</b>
<b>F1</b>	0,8824	0,6200	5,125	0,8757	0,7694	8,2000
<b>F2</b>	0,9043	0,7874	6,100	0,9666	0,5909	9,4250
<b>F3</b>	0,8063	0,8770	6,430	0,9397	0,3862	9,5750
<b>F4</b>	0,8780	0,8266	6,850	0,9181	1,8998	10,275

Fonte: Do autor.

**Tabela 21** - Coeficiente de Variação da resistência à tração na flexão.

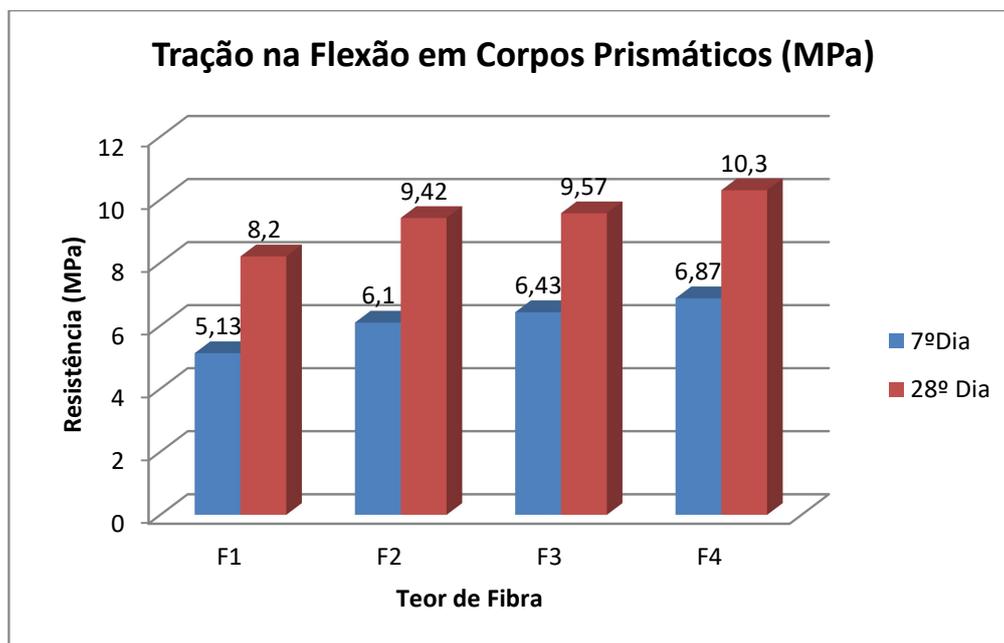
<b>Resistência à tração na flexão em corpos prismáticos</b>		
<b>Análise Estatística - Coeficiente de Variação(CV%)</b>		
<b>Adição de Fibras</b>	<b>7º Dia</b>	<b>28ºDia</b>
	<b>CV</b>	<b>CV</b>
<b>F1</b>	12,09756098	9,382926829
<b>F2</b>	12,90819672	6,269496021
<b>F3</b>	13,63919129	4,033420366
<b>F4</b>	12,06715328	18,48953771

. Fonte: Do autor.

A partir dos resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão, realizado aos 7º e 28º dias de idade, pode-se verificar que, o ganho de resistência médio, dos concretos com fibras de aço, foi 26,37% e 20,28% respectivamente em relação ao concreto sem fibra de aço (REF - F1).

O menor acréscimo de resistência foi obtido no concreto F2, registrando uma resistência de 9,42 MPa, resultado próximo ao resultado de 9,57% do traço F3, que atingiu 14,87% em relação ao traço de referência, aos 28 dias. Como demonstra a Figura 36, os resultados da resistência à tração na flexão, obteve-se um significativo aumento da resistência em função da adição de fibras de aço. Podemos abordar que o aumento da resistência mais significativo ao 28º dia, foi de 25,24 % com o percentual de 1,5% (de F4) de volume crítico.

**Figura 36 - Ganhos de Resistência nos ensaios da tração na flexão.**



Fonte: Autor.

Existe tendência de correlação entre a resistência à tração na flexão e a adição de fibras de aço testadas. Como a MO demonstrou a boa aderência da fibra à matriz cimentícia, e na maior quantidade de 1,5% (F4), do volume total do compósito, ajudaram a manter pequena a abertura das fissuras, bem como, uma boa resistência as tensões de tração à flexão bem elevadas, adicionada a uma grande capacidade de deformação no estágio pós-fissuração. Fato observado também na quantidade incorporada em F3.

#### 4.3 – Análise da microestrutural do compósito.

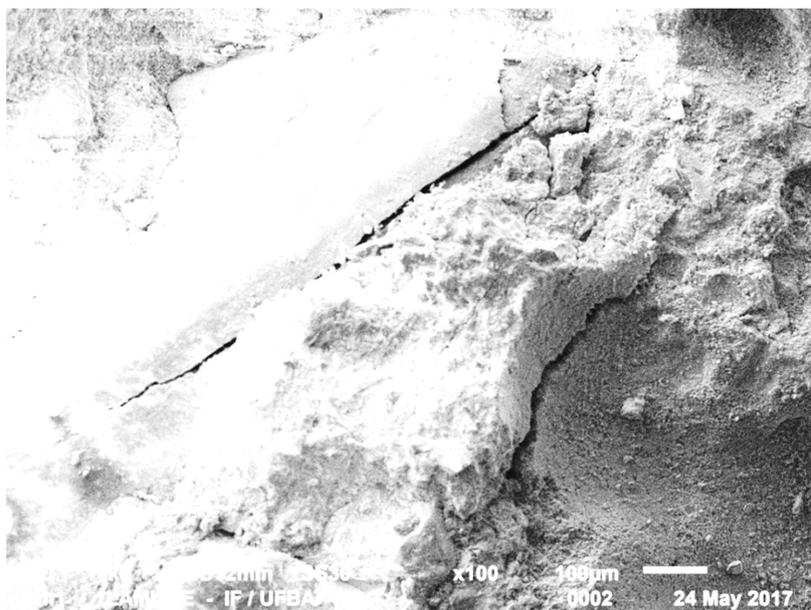
##### 4.3.1 – Análise da interação fibra e matriz.

As imagens obtidas através do MEV foram destinadas a avaliar que a ligação das fibras de aço, com a matriz de modo a verificar possíveis falhas ou zonas frágeis na interface. Todas as imagens apresentam fraturas na amostra analisada, sendo que estas foram originadas no momento do corte da amostra. As amostras submetidas ao MEV foram as resultantes dos ensaios da Resistência à tração na flexão em corpos prismáticos, com o objetivo de analisar que as interações fibra e matriz que ocorrem devido aos esforços na tração na flexão.

##### 4.3.1.1 – Imagens observadas nos corpos de prova REF (F1).

Foram realizadas imagens com diferentes resoluções, sendo selecionada a imagem com o aumento de em x100, como uma imagem de referência, essa resolução permitiu uma comparação com as demais imagens com diferentes incorporações de fibras de aço no concreto, permitindo assim verificar se houve ou não alterações microestruturais visíveis.

**Figura 37** - Microestrutura do corpo de prova REF (F1) .



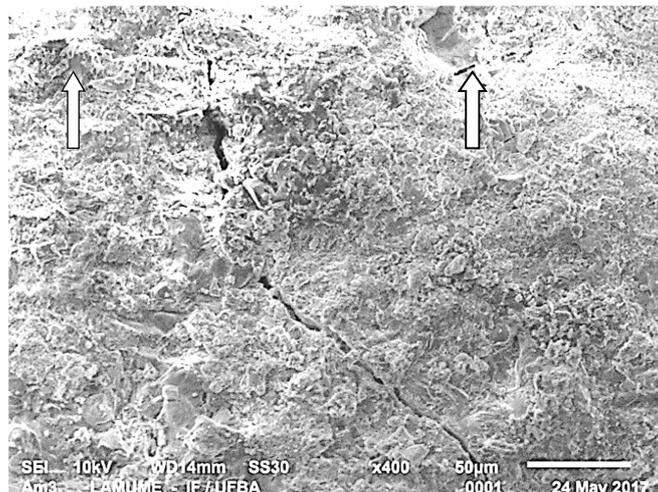
**Fonte:** Do autor.

Na Figura 37, verifica-se fraturas com a largura do fio WD 12mm, na escala 100µm. Com relação a matriz do concreto dosado, observa-se uma uniforme



#### 4.3.1.3 – Imagens observadas nos corpos de prova com 1,0%(F3).

**Figura 39 -** Microestrutura do corpo REF (F3)

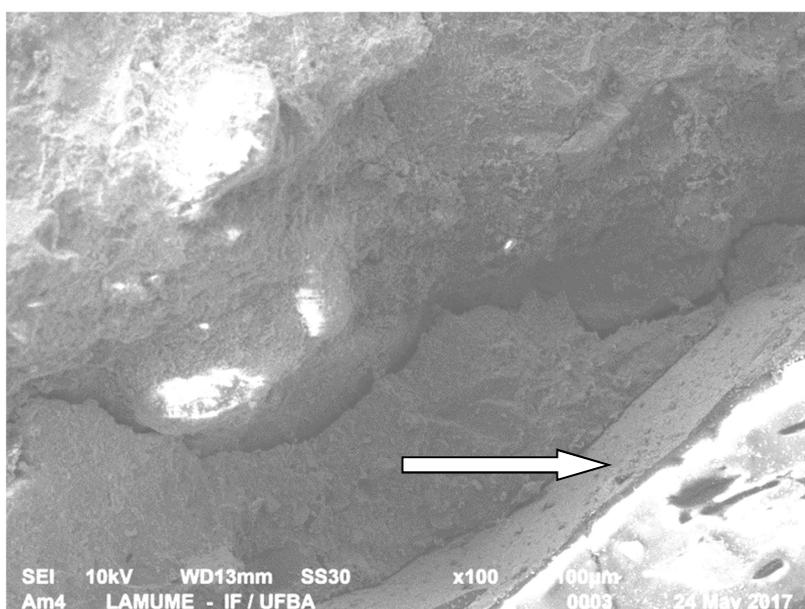


Fonte: Do autor.

A figura apresenta micrografias, obtida pelo MEV, para ampliação x400, Figura 39, em uma escala de 100µm obteve-se largura do fio de WD 14mm, as fraturas só foram visualizadas quando aumentadas, a mesma compõe a Zona de Transição (ZT).. Aparece uma pasta com aspecto mais ou menos compacto, mas sem poros, Também apresenta interface compacta, com completo envoltório das fibras de aço pela matriz cimentícia.

#### 4.3.1.4 –Observação nos corpos de prova com 1,5%(F4).

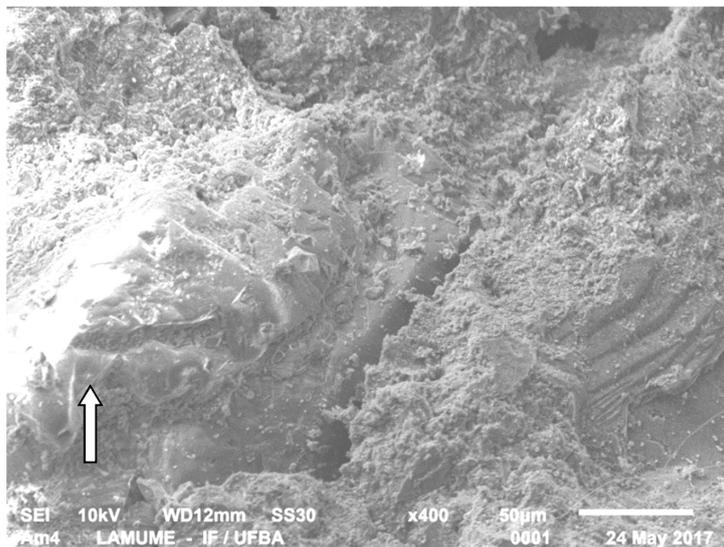
**Figura 40 -** Microestrutura do corpo de prova REF(F4).



Fonte: Autor

A micrografia registrada, obtidas pelo MEV, para ampliação x100, Figura 40, em uma escala de 100 $\mu$ m, apresenta uma Zona de Transição (ZT) bem definida. Com uma largura de fio, WD 13mm. O MEV mostra o sulco onde a fibra de aço estava inserida e foi retirada na decorrência do corte da amostra, com a pasta de cimento na região da interação bem preservado, onde é possível a percepção de que a fibra estava em sua totalidade envolta pela matriz do compósito. Nota-se o aparecimento de poros de grandes dimensões, fora da Zona de Transição, no lado direito Mas nada que comprometa a resistência mecânica do compósito, compensado pela inexistência de fissuras.

**Figura 41** - Microestrutura do corpo de prova REF (F4).



**Fonte:** Do autor.

Com uma resolução aumentada, figura 41, em uma escala de 100 $\mu$ m as fraturas, apresentaram uma largura do fio de WD 12 mm, inferior quando comparadas ao corpo de prova 1,0%(F2), figura 35. A imagem aponta para uma interface compacta, com completa envoltória das fibras metálicas pela matriz cimentícia. Percebe-se a ausência de poros e fissuras, caracterizado que essa matriz cimentícia está mais resistente. A ausência de poros e fissuras, é uma pasta com aspecto bastante compacto.

A Tabela 22 resume em diversas escalas e resoluções, as dimensões da largura do fio das fraturas na Zona de Transição.

**Tabela 22** - Resumo das dimensões da largura do fio da fratura na ZT - MEV

<b>Fibra adicionada</b>	<b>Resolução</b>	<b>WD (mm)</b>	<b>Escala (m)</b>
REF(F1)	X100	12mm	100μ
	X200	10mm	100μ
0,5%(F2)	X100	15mm	100μ
	X200	16mm	100μ
1,0%(F3)	X200	13mm	100μ
	X400	14mm	50μ
1,5%(F4)	X100	13mm	100μ
	X400	12mm	50μ
	X500	12mm	50μ

**Fonte:** Autor

Através da MEV, que permitiu visualizar a microestrutura do compósito. Foi possível perceber a interface bem definida pela matriz da pasta de cimento e os agregados, denominada a Zona de Transição. Sendo a Zona de Transição (ZT), considerada como a fase limite de resistência do concreto. Assim sendo a matriz do compósito avançado, não se configurou como uma zona frágil ou passível do surgimento de falhas ou danos aos compósitos cimentícios com a utilização de fibras. Isso deve-se principalmente a ausência de bolhas e fissuras na não afetando a resistência mecânica do concreto endurecido.

#### 4.3.2 – Análise da interação das fibras e a matriz, através da Microscopia Óptica – **MO**

Pode-se observar que as fibras como componentes do reforço apresentam boa adesão física, com baixa porosidade na matriz cimentícia.

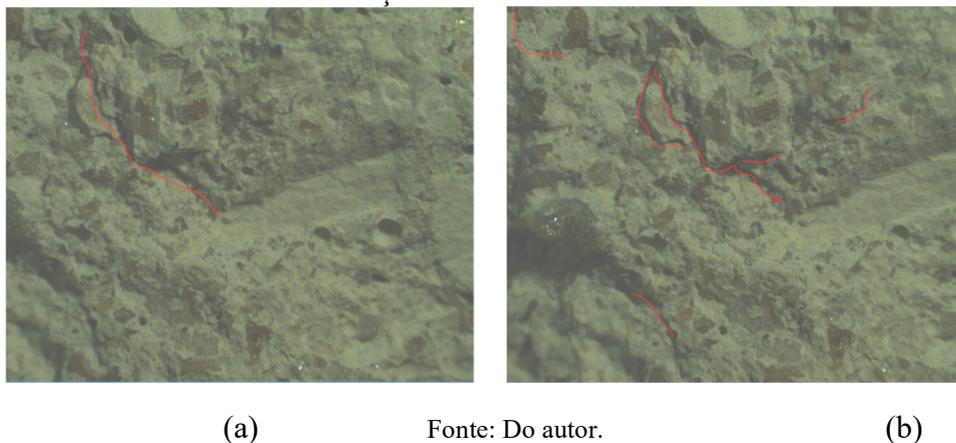
A microscopia óptica da amostra após os ensaios de tração a flexão revelam que, na região de fratura, especificamente na superfície das partículas da areia de quartzo e fibra de aço, há presença de resíduos da matriz de cimento, o que mostra uma boa adesão física e química entre a fase reforço e fase matriz. O fato da matriz ainda se manter ligada ao reforço após uma fratura indica que no compósito há uma boa transferência de forças da matriz para o reforço, que é uma das propriedades chave para um bom material compósito.

##### 4.3.2.1 - Interação fibra-matriz

As, Figuras 42 e 41, mostram que o concreto sem fibras de aço apresentam maior quantidade de fissuras em linhas vermelhas, que os demais concretos com adição

de fibras de aço. Confirmando as imagens da MEV, que apontam para essa configuração.

**Figura 42** - Corpos de ensaios sem adição de fibras semelhantes, para determinação das fissuras existentes.

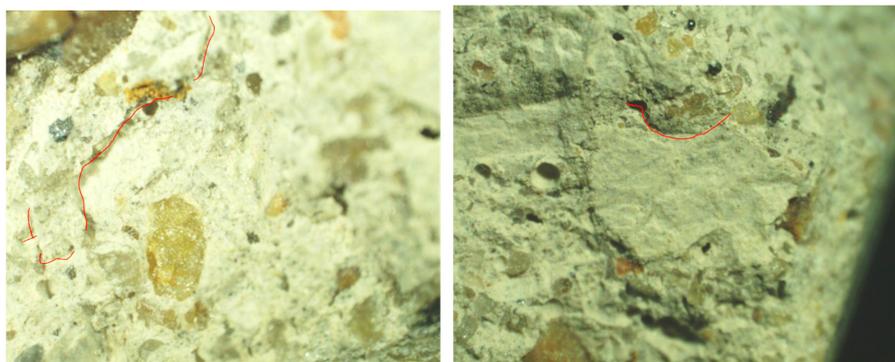


(a)

Fonte: Do autor.

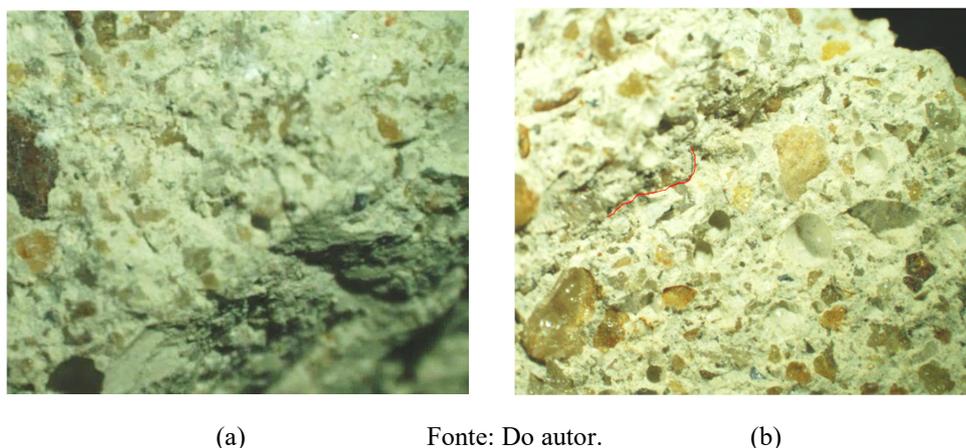
(b)

**Figura 43** - Corpos de ensaios semelhantes sem adição de fibras de aço.



Fonte: Do autor.

**Figura 44** - Imagens (a), com adição (F2) e (b), com adição (F4).



(a)

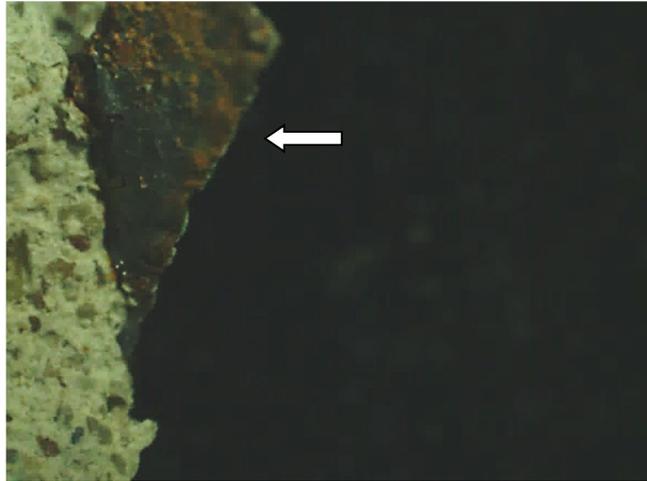
Fonte: Do autor.

(b)

Na imagem Figura 44 (a), com adição de 0,5%(F2) ocorre uma estratificação na massa (quarto inferior direito), sem a existência de fissuras. Na mesma linha observamos, Figura 41(b), o corpo ensaiado com adição de 1,5% (F4), apresentando a

única imagem com fissuração, em vermelho, com esse teor na MO. Nas duas imagens não foram detectadas a presença de fissuras.

**Figura 45** - Fibra encravada na matriz de cimento, com perfeita interação. Volume de de fibras de 0,5%(F2).



Fonte: do autor. Fonte: Do autor.

Na Figura 45, observa-se o desgaste de natureza ambiental da fibra de aço, devido ao atrito com outros insumos, sendo os demais agregados de maior dureza, tal como o granito.

Deve-se observar que a fibra estudada possui 0,14mm de espessura, padrão do material utilizado para a fabricação das latas de tinta PVA. O desgaste ocorre em função da pequena espessura da fibra de aço e os agregados que compõe a matriz cimentícia. Temos que frisar que não é um processo de corrosão da fibra, que pode levar a um processo de carbonatação do concreto, mas um desgaste no processo de elaboração do concreto incorporado com as fibras de aço.

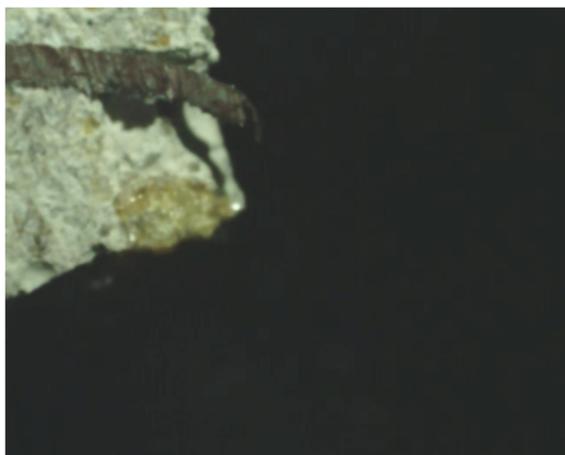
**Figura 46** – Interação da fibra de aço (MO).



Fonte: Do autor

A fibra de aço ao interagir com a matriz cimentícia, sofreu uma deformação tipo enrugamento ou ondulação, ao mesmo tempo em que ocorreu o encurtamento do tamanho crítico da fibra, modificando o Fator de Forma previsto. Ensaio com 0,5%(F2) de fibras inseridas no compósito. Figura 46.

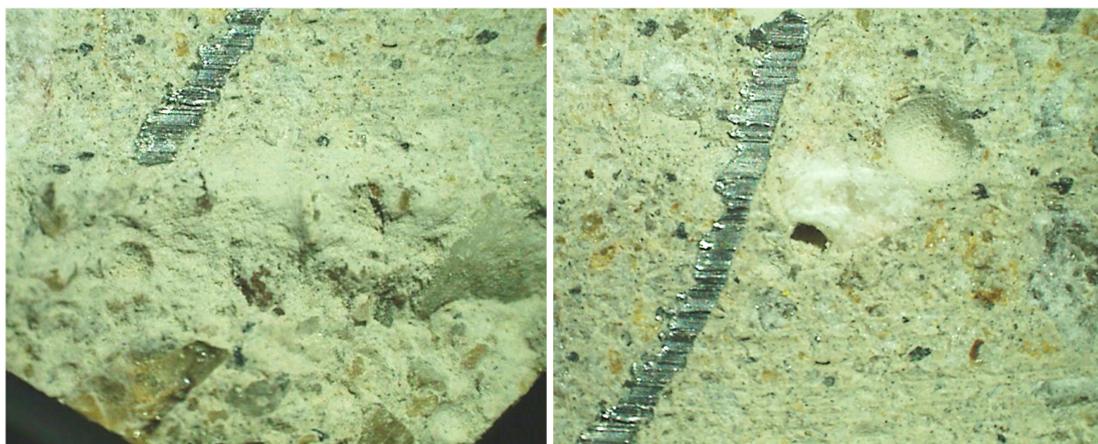
. **Figura 47** - Interação fibra e matriz concreticia (MO), com 1,0% (F3).



**Fonte:** Do autor.

O ensaio com um volume de fibras 1,0% (F3) resultou, conforme a Figura 47, que a fibra sofreu uma ondulação motivada pela deformação plástica e interação ambiental (desgaste), ocasionando uma modificação no fator de forma previsto para a pesquisa, pois com a ondulação diminuiu o tamanho crítico e aumentou a largura da fibra de aço.

**Figura 48** - Interação fibra e matriz concreticia (MO), com 1,5% (F4).



(a)

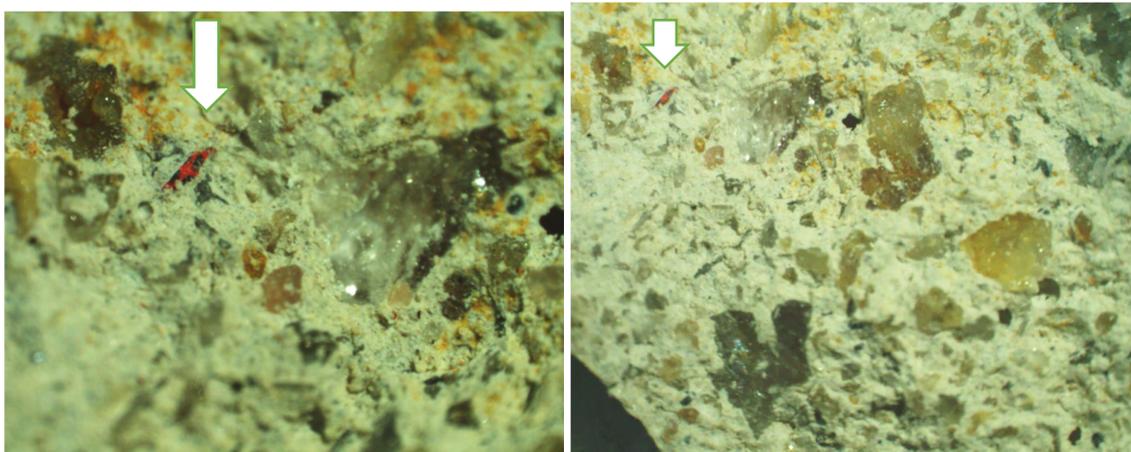
**Fonte:** Do autor.

(b)

A fibra de aço na Figura 48(a), apesar de totalmente incorporada, demonstra que sofreu enrugamento, por deformação plástica. Na Figura 48(b), também ocorreu o mesmo fenômeno, a deformação através de um enrugamento ou ondulação da fibra.

Esse comportamento alterou o fator de forma calculado para a fibra de aço de embalagens, devido a diminuição do comprimento crítico e aumento de sua largura. Esses resultados são de corpos de prova com a inserção de fibras de aço de 1,5% (F4) no concreto analisado.

**Figura 49** - Interação da fibra (MO), com 1,0% (F3).



(a)

Fonte: Do autor.

(b)

A Figura 49, corpo de prova com 1% (F3), a fibra de aço está totalmente incorporada ao concreto, aparece apenas a sua extremidade na superfície da amostra. Não foi registrado a presença de fissuras, portanto as propriedades físicas e químicas foram preservadas.

**Figura 50** - Interação da fibra (MO) com a matriz concretícia, de 1,5% (F4).

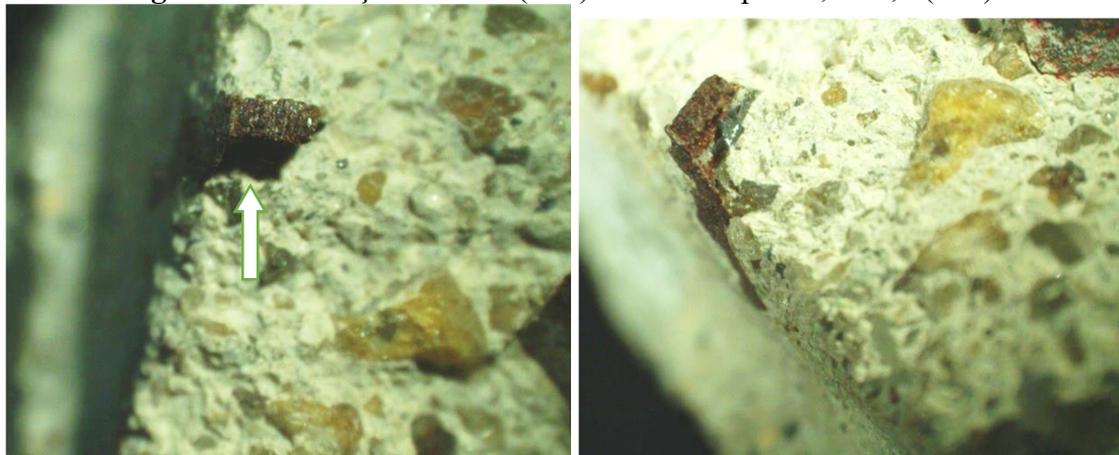


Fonte: Do autor.

A Figura 50, a fibra, apresenta uma dobra na sua extremidade, provocada por uma deformação ambiental. A MO, deste corpo de prova, não apresentou nenhuma fissura, com isso houve a preservação da resistência mecânica do concreto. A

deformação ambiental apresentada, modifica o fator de forma previsto para a pesquisa, não mais pela modificação de sua largura, mas pelo encurtamento do tamanho crítico escolhido. A MO apresentada foi retirada do concreto com adição de 1,5%(F4).

**Figura 51** - Interação da fibra (MO) com o compósito, de 1,5 ( F4).



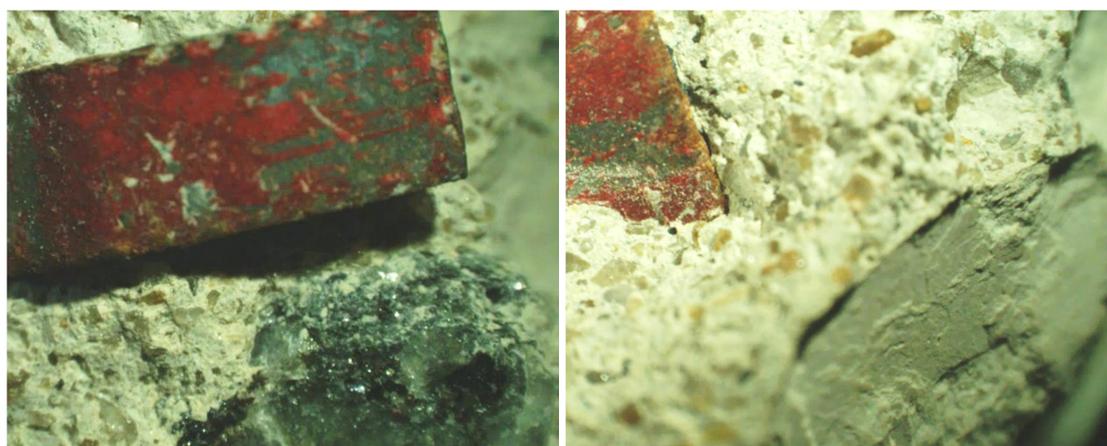
(a)

Fonte: Do autor.

(b)

Fibra parcialmente incorporada a matriz cimentícia, Figura 51, totalmente conservada em suas características físicas, não sofrendo desgaste e tampouco deformação plástica. Amostra retirada do volume adicionado com 1,5%(F4) de fibras.

**Figura 52** - Interação fibra de aço com o compósito (MO).



(a)

(b)

Fonte: Do autor.

As fibras, da Figura 52, não sofreram nenhum tipo de deformação, com as dimensões preservadas permaneceram com o fator de forma previamente determinado.

As Fibras foram totalmente incorporadas ao concreto. O compósito também não apresentou trincas, mesmo na MO é possível observar na Figura 49 (b), na região inferior direita, alguns aspectos da interface entre o agregado e a matriz de pasta de cimento, zona de transição (ZT). Aparece uma pasta bastante compacta.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O planejamento experimental proposto permitiu agregar subsídios para as conclusões que nos levam, a de que esse estudo com as fibras de aço de embalagem provenientes de latas de tinta PVA, figuram como uma nova alternativa disponível de fibras para adicionar no concreto e contribuir para a utilização desse material para a reciclagem de latas de tinta PVA, depositadas no “lixão” de Porto Velho.

Os resultados dos ensaios realizados confirmam que as fibras de aço exercem maior influência no estágio de pós-fissuração dos compósitos do que nas demais propriedades mecânicas estudadas.

Em relação às variáveis de estudo:

- O corte artesanal a que foram submetidas às fibras de aço, requerem ajustes no seu fator de forma, variável fundamental na concepção de se obter o sucesso no acréscimo de resistência à tração no concreto. Como ficou comprovado nos ensaios de compressão à tração diametral, onde o comprimento da fibra foi pequena em relação as recomendações encontradas em outros ensaios com fibras de aço. Esta compatibilidade dimensional possibilita a atuação da fibra como reforço do concreto e não como mero reforço da argamassa. Com os resultados obtidos na pesquisa, é possível afirmar que a matriz cimentícia, com adição de fibras de aço de embalagens com maior fator de forma e maior fração volumétrica tendem a ser mais eficientes na presença de esforços de tração;
- Nas investigações com Microscopia Eletrônica de Varredura foi constatado que, as dimensões das fraturas, obtida no momento da preparação das amostras, diminuem a medida que se aumenta o teor de fibras de aço na matriz cimentícia. O uso de teores de fibra mais elevados provoca incrementos significativos no desempenho dos compósitos;

- A Microscopia Óptica mostra que, a matriz e os componentes do reforço apresentam boa adesão física, com baixa porosidade na matriz;
- Sendo o concreto um ambiente alcalino, a MO, detectou que as fibras utilizadas não foram afetadas pela corrosão;
- Da mesma forma a microscopia óptica da amostra após os ensaios revela que, na região de fratura, especificamente na superfície das partículas dos agregados de quartzo e a fibra de aço, há presença de resíduos da matriz de cimento, o que mostra uma boa adesão física e química entre a fase reforço das fibras e a fase matriz. Observa-se uma boa incorporação da fibra de aço na matriz cimentícia, mantendo-se ligada após uma fratura, indica que no compósito há uma boa transferência de forças da matriz as fibras de aço, que é uma das propriedades chave para um bom material compósito;
- As amostras com 1,5% de fibras apresentaram melhores resultados, quando observadas pelo método da MEV. O concreto com a presença de fibras de aço mostraram fraturas de menor magnitude de magnitude;

As respostas laboratoriais nos mostraram um material com ganhos de resistência. É notório, que as fibras de aço quando adicionadas ao concreto, constituem um novo material, com propriedades distintas dos concretos, fato registrado no resultado obtido. Em relação ao desempenho dos compósitos:

- A resistência à compressão axial, com a adição das fibras de aço de embalagem, manteve-se no patamar do concreto de referencia (F1);
- A adição de fibras de aço ao concreto proporcionou um aumento médio de 13% para resistência à compressão e, na resistência à tração indireta do concreto, um aumento de 25,24% nos concretos com 1,5% de fibras de aço de embalagens;
- A resistência à tração na flexão, foi o ensaio que apresentou melhores resultados, pois obteve um aumento significativo na resistência, confirmando os resultados obtidos pelo MO e MEV, na análise das fibras e fissuras;
- Constata-se através da MO, que em diversos momentos observa-se as deformações plásticas e ambientais ocorrendo nas fibras de aço, sem apresentar rupturas, ou seja, a fibra se alinha ao esforço ocasionado pela ruptura exercida pela tração;

Das conclusões e recomendações para pesquisas futuras.

- A inserção de fibras de aço de embalagens de lata de tinta PVA, para o aumento da resistência mecânica do compósito, é viável e eficiente;
- Devem ser utilizados teores de fibras mais elevados, observando-se sempre o fator de forma, ajustado a relação comprimento e volume crítico da fibra de aço utilizada;
- Estudos complementares são necessários para analisar qual o volume mínimo eficiente para as fibra de aço testadas e matriz cimentícia utilizada. Tendo em vista que as fibras com maior fator de forma tendem a serem mais eficientes, desde que o volume crítico de fibras seja compatível;
- É necessário considerar o efeito do tamanho do agregado graúdo, visando o intervalo de granulometria e o tipo de fibra de aço empregado (fibras de aço de latas de tinta PVA);
- Deve-se atentar sempre para a compatibilização do tamanho da fibra com a seção da peça reforçada e a trabalhabilidade do concreto, evitando que a mesma se posicione na superfície da peça estrutural, prejudicando a distribuição tridimensional do volume adicionado as fibras;
- Desenvolver mecanismos modernos de corte mecânico, para esse tipo de fibra de aço, já que as tecnologias modernas possibilitam uma precisão maior no corte, podendo assim criar uma nova geração de fibras de aço, com largura menor e comprimento alongado. Tendo em vista que a espessura será sempre constante, própria do material coletado, própria do material coletado, sendo um padrão industrial;
- É fundamental a continuidade dos estudos específicos para caracterização dos parâmetros de fratura e comportamento pós-fissuração de compósitos com fibras de aço provenientes das latas de tinta PVA, além de adaptações no esquema de aplicação das cargas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Disponível em [www.abcp.org.br](http://www.abcp.org.br). Panorama do Coprocessamento Brasil 2015. Acesso em 20/06/2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5738:

ABNT – NBR 12142/MB 3483: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. (Procedimento). Rio de Janeiro, Dez. 1991/3 pág.

ABNT – NBR 15530: Fibras de aço para Concreto – Especificações. 2007/7 pág.

ABNT – NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. (Procedimento). Rio de Janeiro, Abr. 1994/9 pág.

ABNT – NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. (Procedimento). Rio de Janeiro, Jul. 1994/4 pág.

ABNT – NBR 7222: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. (Procedimento). Rio de Janeiro, Janeiro, Mar. 1994/3 pág.

ABNT – NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. (Procedimento). Rio de Janeiro, Jul. 2003/6 pág.

ABNT – NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpo de prova, Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle.

ABNT - NBR 14724: Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos –

ABNT - NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos,

ABNT - NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - NBR 6502: Rochas e solos – Terminologia, Rio de Janeiro, 1995.

ABNT - NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação, Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão, Rio de Janeiro, 1996.

ABNT - NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade, Rio de Janeiro, 2008.

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

ABNT - NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 2009.

BASTOS, Paulo S.S . Concreto com Fibras de Aço, Tese (doutorado), Capítulo 4, São Paulo, 2000.

CALDAS, A.; FIGUEIREDO, A. D.; BITTENCOURT, T. N. Propriedades de Concreto Reforçado com Fibras de Aço (CRFA): comparação entre métodos de medida, anais do 5º simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto.

CAPMAS, A.: Prólogo: Concreto e desenvolvimento sustentável. In OLLIVER, J.P.;

DRAMIX, Produtos. Fibras de aço, 2017.v.1. Disponível em: <http://www.belgobekaert.com.br/Produtos/Paginas/Fibra-de-Aco-Dramix.aspx> (2017).

VICHOT, A.: Durabilidade do Concreto: Bases científicas para formulação de concretos duráveis de acordo com ambiente. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 1ª ed. 2014. cap. 1, p. 3 – 13.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto com Fibras, CONCRETO, Ensino, Pesquisas e Realizações, Capítulo 39, IBRACON, 2005.

FIGUEIREDO, A.D., DE: Concreto Reforçado com Fibras. 2011. 256 f. Tese (Livre Docência). Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.

HELENE, P.: Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2005. v. 1, cap. 1, p. 439 – 471.

HELENE, P.; ANDRADE, T.: Concreto de Cimento Portland. In ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 2, cap. 29, p. 945 – 984.

HELENE, P.; MEDEIROS, M.H.F.: Estudo da Influência do MetacaulimHP como adição de alta eficiência em concretos de cimento Portland – EPUSP/DECC. São Paulo. 2004.

ISAIA, C.G.: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. v. 1, cap. 12, p. 415 – 452.

ISAIA, C.G.: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. v. 2, cap. 47, p. 1731 – 1768. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 2, cap. 48, p.1565 – 1598.

ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 2, cap. 51, p. 1619 – 1688.

ISAIA, C.G.: O Concreto: da Era Clássica à Contemporânea. In ISAIA, C.G. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2005. v. 1, cap. 1, p. 1 – 43.

ISAIA, G.C.: A Ciência e a Engenharia de Materiais de Construção Civil. In ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 1, cap. 01, p. 01 – 35.

ISAIA, G.C.: A Evolução do Concreto Estrutural. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. v. 1, cap. 01, p. 1 – 56.

JOHN, V.M.: Concreto Sustentável. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. v. 2, cap. 50, p. 1843 – 1870.

JOHN, V.M.: Materiais de Construção Civil: Perspectivas e Desafios Futuros. In ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 2, cap. 54, p. 1747 – 1759.

KIHARA, Y.; CENTURIONE, S.L.: O Cimento Portland. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2005. v. 1, cap. 1, p. 295 – 322.

LEVY, S.M.: Materiais Reciclados na Construção Civil: In ISAIA, C.G.: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2010. v. 2, cap. 52, p. 1689– 1709.

MARCONI, M.A., LAKATOS, E.M.: Metodologia do Trabalho Científico. 7ª Edição, Editora Atlas S.A. São Paulo. 2011.

MEHTA, P.K. E MONTEIRO, P.J.M.: Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2ª Edição. Nicole P. Hasparyk. Editora IBRACON. São Paulo. 2014.11.

MELO FILHO, J.A.: Durabilidade Química e Térmica e Comportamento Mecânico de Compósitos de Alto Desempenho Reforçados com Fibras de Sisal. Tese de Doutorado. 2012. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2012.

METHA, P. K. Concreto: estrutura, propriedades de materiais / P. KumarMetha, Paulo J. M. Monteiro, São Paulo, Pini, 1994.

MIGLIORINI, A.; Estudo para Fibras em Blocos de Concreto Utilizados em Carapaça de Molhes da Barra. Projeto de graduação em Engenharia Civil. Escola de engenharia, Fundação Universidade Federal do Rio grande, FURG 2007.

MIGLIORINI, A.; Estudo para Fibras em Blocos de Concreto Utilizados em Carapaça de Molhes da Barra. Projeto de graduação em Engenharia Civil. Escola de engenharia, Fundação Universidade Federal do Rio grande, FURG 2007.

NBR NM 65: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega, Rio de Janeiro, 2004.

NEVILLE, A.M.: Propriedades do Concreto: 5ª Edição. Editora Bookman. São Paulo. 2015.

NEVILLE, A.M.; J.J. BROOKS: Tecnologia do Concreto. 2ª Edição. Editora Bookman. São Paulo. 2013.

NONAT, A.: A hidratação dos cimentos. In OLLIVER, J.P.; VICHOT, A.: Durabilidade do Concreto: Bases científicas para formulação de concretos duráveis de acordo com ambiente. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 1ª ed. 2014. parte 1, cap. 2, p. 17 – 39.

OLIVEIRA, C.E.S. e et. al.: Projeto Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 1ª Edição. Porto Velho. 2013.

TUTIKIAN, B.; HELENE, P.: Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In

TUTIKIAN, B.; ISAIA, G.C.; HELENE, P.: Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho. In ISAIA, C.G.: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. v. 2, cap. 36, p. 1283 – 1326.

## 7.0 – ANEXOS

### ANEXO I – Tabelas de referência adotada na dosagem do concreto



Figura 62: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone(NBRNM67) – Fonte: Autor

**Quadro 07** – Abatimento recomendado para vários tipos de construção

Tipo de construção	Abatimento (mm)	
	Máximo*	Mínimo
Paredes de fundações armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

\* Pode ser aumentado em 25 mm com uso de métodos de consolidação que não a vibração

*Fonte:* American Concrete Institute – ACI, apud

*Tabela 9-1* – Mehta e Monteiro, 2014.

A ilustração acima Figura 44, mostram a determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone (NBRNM67). O abatimento utilizado na experiência foi de 50(mm).

Classe	Abatimento (mm)	Aplicações típicas
<b>S10</b>	$10 \leq A < 50$	Concreto extrudado, vibroprensado ou centrifugado
<b>S50</b>	$50 \leq A < 100$	Alguns tipo de pavimentos e de elementos de fundações
<b>S100</b>	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais com lançamento convencional do concreto
<b>S160</b>	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
<b>S220</b>	$\geq 220$	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras
<b>NOTA 1</b>	De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento.	
<b>NOTA 2</b>	Os exemplos desta Tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações	

**Quadro 08:** Classes de consistência

Fonte: Tabela 2 – Classes de consistência da ABNT NBR 8953:2015.

**Tabela 02:** Requisitos aproximados do consumo de água e teor de ar para diferentes abatimentos e dimensão nominal máxima dos agregados.

<i>Consumo de água, em kg/m<sup>3</sup> de concreto, para as dimensões nominais máximas de agregado indicadas</i>								
<i>Abatimento em mm</i>	<i>9,5</i>	<i>12,5</i>	<i>19,0</i>	<i>25,0</i>	<i>37,5</i>	<i>50,0</i>	<i>75,0</i>	<i>150,0</i>
<i>Concreto sem ar incorporado</i>								
<i>25 a 50</i>	<i>207</i>	<i>199</i>	<i>190</i>	<i>179</i>	<i>166</i>	<i>154</i>	<i>130</i>	<i>113</i>
<i>75 a 100</i>	<i>228</i>	<i>216</i>	<i>205</i>	<i>193</i>	<i>181</i>	<i>169</i>	<i>145</i>	<i>124</i>
<i>150 a 175</i>	<i>243</i>	<i>228</i>	<i>216</i>	<i>202</i>	<i>190</i>	<i>178</i>	<i>160</i>	<i>-</i>
<i>Mais de 175</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>Quantidade aproximada de ar aprisionado no concreto sem ar incorporado %</i>	<i>3</i>	<i>2,5</i>	<i>2</i>	<i>1,5</i>	<i>1</i>	<i>0,5</i>	<i>0,3</i>	<i>0,2</i>
<i>Concreto com ar incorporado</i>								
<i>25 a 50</i>	<i>181</i>	<i>175</i>	<i>168</i>	<i>160</i>	<i>150</i>	<i>142</i>	<i>122</i>	<i>107</i>
<i>75 a 100</i>	<i>202</i>	<i>193</i>	<i>184</i>	<i>175</i>	<i>165</i>	<i>157</i>	<i>133</i>	<i>119</i>
<i>150 a 175</i>	<i>216</i>	<i>205</i>	<i>197</i>	<i>184</i>	<i>174</i>	<i>166</i>	<i>154</i>	<i>-</i>
<i>Mais de 175</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>Médias recomendadas do teor total de ar, %, por nível de exposição</i>								
<i>Exposição amena</i>	<i>4,5</i>	<i>4,0</i>	<i>3,5</i>	<i>3,0</i>	<i>2,5</i>	<i>2,0</i>	<i>1,5</i>	<i>1,0</i>
<i>Exposição moderada</i>	<i>6,0</i>	<i>5,5</i>	<i>5,0</i>	<i>4,5</i>	<i>4,5</i>	<i>4,0</i>	<i>3,5</i>	<i>3,0</i>
<i>Exposição severa</i>	<i>7,5</i>	<i>7,0</i>	<i>6,0</i>	<i>6,0</i>	<i>5,5</i>	<i>5,0</i>	<i>4,5</i>	<i>4,0</i>

Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

**I. Passo 4: Seleção da relação água/cimento**

**Quadro 04** – Classe de agressividade e a qualidade do concreto

**Fonte:** Tabela 7.1 da ABNT NBR 6118:2014 e Tabela 2 da NBR 12655:2015. (Adaptado).

**II. Passo 5: Estimativa do consumo de cimento** - É obtido dividindo-se o consumo de

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m <sup>3</sup>	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

CA – Componentes e elementos estruturais de concreto armado

CP – Componentes e elementos estruturais de concreto protendido

água da mistura obtido no Passo 3 pela relação água/cimento.

**III. Passo 6: Estimativa do consumo de agregado graúdo**

**TABELA 03:** Volume de agregado graúdo por unidade de volume de concreto

Dimensão máxima dos agregados (mm)	Volume de agregados graúdos secos por unidade de volume de concreto, para diferentes módulos de finura da areia			
	<i>MF</i> areia=2,4	<i>MF</i> areia=2,6	<i>MF</i> areia=2,8	<i>MF</i> areia=3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19,5	0,66	0,64	0,62	0,60
25,0	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50,0	0,78	0,76	0,74	0,72
75,0	0,82	0,80	0,78	0,76
150,0	0,87	0,85	0,83	0,81

**Fonte:** conforme ASTM C 29, Unit Weight of Aggregate – ACI – American Concrete

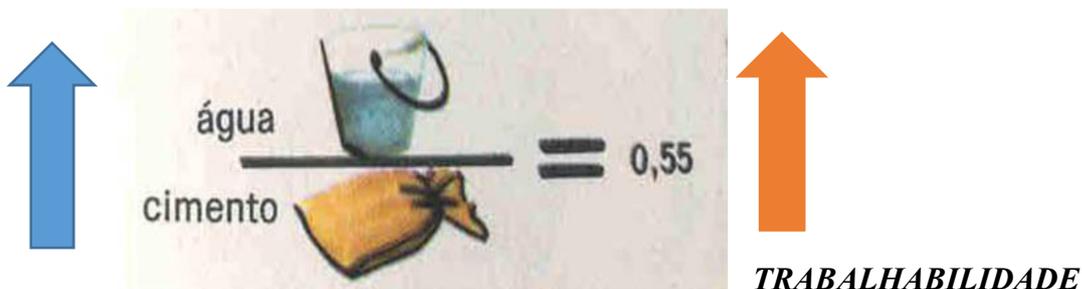
Institute.

**IV. Passo 7: Estimativa do consumo de agregado miúdo –**

**V. Passo 8: Ajuste da umidade do agregado –**

**VI. Passo 9: Ajustes na mistura experimental -**

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP



Quadro 09: Valores de Kn em função do número de ensaios.

<b>n</b>	20	25	30	50	200
<b>kn</b>	1,35	1,3	1,25	1,2	1,1

Fonte: IBRACON - 2011

Quadro 10: Valor do desvio-padrão

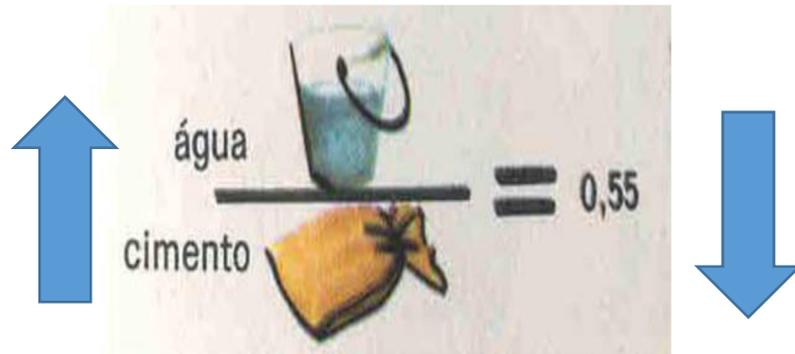
<i>sd</i>	<i>condição</i>	<i>classes</i>	<i>Tipo de concreto</i>
4,0	A	C10 <sup>a</sup> C80	Cimento e agregado médios em massa e água medida em medidor com determinação do teor de umidade dos agregados.
5,5	B	C10 <sup>a</sup> C25	Cimento medido em massa e a água é medida em volume mediante dispositivo dosador. Os agregados são medidos em massa combinada com volume para o C25 e em volume para até C20, com a umidade do agregado miúdo determinada ao menos três vezes durante o turno de concretagem, realizando as correções através da curva de inchamento da areia.
7,0	c	C10 <sup>a</sup> C15	Cimento medido em massa, os agregados em volume, água medida em medidor e a umidade dos agregados sendo estimada.

Fonte: IBRACON (2011).

Quadro 11– Condições de preparo do concreto

Fonte: Norma técnica ABNT NBR 12655:2015 – Tabela 6 e subitem 5.6.3.1 – adaptado

Condição de preparo do concreto	Aplicação	Materiais	Desvio-padrão MPa
<b>A</b>	Aplicável a todas as classes de concreto	Cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume.	<b>4,0</b>
<b>B</b>	Pode ser aplicada às classes C10 a C20	Cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume com dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume.	<b>5,5</b>
<b>C</b>	Pode ser aplicada apenas aos concretos de classe C10 e C15	Cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume e água de amassamento é medida em volume	<b>7,0</b>



## RESISTÊNCIA

*Fonte:* Associação Brasileira de Cimento Portland– ABCP

## ANEXO II – Memória da dosagem do concreto para ensaio

### 3.2.2.2 – Dosagem do traço C30S100

1. Consumo de água - condições - Tabela 9-2
  - 11 Sem ar incorporado
  - 12 Agregado gráudo -  $D = 19,0 \text{ mm}$
  - 13 Quantidade de água -  $205 \text{ kg/m}^3$
  - 14 Ar aprisionado -  $2 \%$
  
2. Relação água / cimento e a resistência à compressão do concreto - Tabela 9-3
  - 21 Resistência do concreto à compressão para idade de "j" dias -  $f_{cj}$   
 $f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot s_d$        $f_{cj} = 30 + 1,65 \cdot 4 = 36,6 \text{ MPa}$
  - 22 Relação água / cimento, por interpolação -  $a/c = 0,454$
  
3. Consumo de cimento
  - 31 Relação água / cimento -  $a/c = 0,454$
  - 32 Quantidade de água -  $a = 205 \text{ kg/m}^3$
  - 33 Quantidade de cimento -  $c = 451,5419 \text{ kg/m}^3$
  
4. Consumo de brita 1
  - 41 Módulo de finura da areia -  $MF = 2,845$  (dados de laboratório da amostra)
  - 42 Dimensão da brita 1 -  $D_{m\acute{a}x} = 19,0 \text{ mm}$  (dados de laboratório da amostra)
  - 43 Quantidade unitária da brita, por interpolação - brita 1 =  $0,6155$
  - 44 Massa específica da brita 1 -  $r_{b1} = 1,43 \text{ kg/m}^3$  (dados de laboratório da amostra)
  - 45 Consumo de brita 1 -  $0,6155 \cdot 1,43 \cdot 1.000 = 880,165 \text{ kg/m}^3$
  
5. Consumo de areia natural média (método do volume absoluto)
  - 51 Volume de água       $205/1,0 =$        $205,000 \text{ dm}^3$
  - 52 Volume de cimento       $451,5419/3,1 =$        $145,659 \text{ dm}^3$
  - 53 Volume de brita 1       $880,165/2,61 =$        $337,228 \text{ dm}^3$
  - 54 Volume de ar aprisionado -  $2\%$        $20,000 \text{ dm}^3$
  - 55 Volume total sem areia       $707,887 \text{ dm}^3$
  - 56 Volume total unitário       $1000,000 \text{ dm}^3$
  - 57 Volume de areia =  $V_t \text{ unitário} - V_t \text{ sem areia}$        $292,113 \text{ dm}^3$
  - 58 Massa específica da brita 1 -  $r_{\text{areia}} = 2,6 \text{ kg/m}^3$  (dados de laboratório da amostra)  
Volume de areia natural média -  $292,113 \cdot 2,6$
  - 59 =       $759,496 \text{ kg/m}^3$
  
6. Ajuste da umidade dos agregados na dosagem - areia =  $2,5\%$  e brita 1 =  $0,5\%$   
(condição SSS - saturado com superfície seca) - reduzir os ajustes da água.

Material - (kg/m <sup>3</sup> )	Dosagem calculada	Correção da umidade		Dosagem corrigida
Cimento	451,5419	-	-	451,542
Areia	759,496	2,50%	18,9874	778,483
Brita 1	880,165	0,50%	4,400825	884,566
Água	205	-	23,38823	181,612
Total	2296,203			2296,2

#### 7. Dosagem ajustada e unitária

Material - (kg/m <sup>3</sup> )	Dosagem		
	ajustada	unitária	amostras
Cimento	451,5419	1,00	10,00
Areia	778,4834	1,72	17,24
Brita 1	884,5658	1,96	19,59
Água	181,6118	0,40	4,02

**Tabela 11:** Dosagem base corrigida com ajuste da umidade (SSS) dos agregados:

Material	Dosagem na Condição SSS (kg/m <sup>3</sup> )	Correção da Umidade	Dosagem corrigida para a primeira dosagem experimental(kg/m <sup>3</sup> )
Cimento	450	-	450
Areia	760	0,025 = 19	779
Brita 01	880	0,005 = 4,4	884
Água	205	-23,4	182
Total	2295		2295

Fonte: Do autor – Laboratório Betontech

Dosagem unitária: Para a primeira dosagem experimental (kg/m<sup>3</sup>).

**Tabela 12:** Dosagem Unitária. Fonte: Do autor.

Material	Dosagem unitária - kg/m <sup>3</sup>		
<i>Cimento</i>	450	1	10
<i>Areia</i>	779	1,73	17,3
<i>Brita 01</i>	884	1,96	19,6
<i>Água</i>	182	1,82	18,2

### ANEXO III – Dosagem base e com adições de fibras

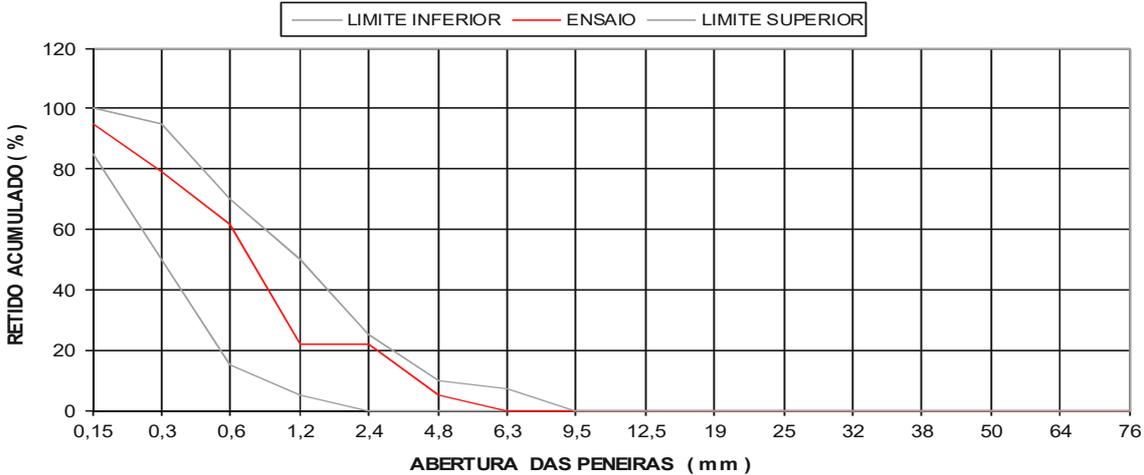
O traço acima servirá para moldar o corpo de prova para o concreto de referência (CR). Os traços que serão submetidos os corpos de prova, serão nas proporções de fibras de 0,5%(F2), 1%(F3) e 1,5%(F4) do peso da dosagem unitária. Sendo a menor proporção de fibra de 0,5% e a maior de 1,5%.

Segundo a Tabela de Dosagem Unitária, teremos:

<i>Cimento</i>	<i>450</i>	<i>1,00</i>	<i>10,0</i>
<i>Areia</i>	<i>779</i>	<i>1,73</i>	<i>17,3</i>
<i>Brita 01</i>	<i>884</i>	<i>1,96</i>	<i>19,6</i>
<i>Água</i>	<i>182</i>	<i>1,82</i>	<i>18,20</i>
<i>Total insumos</i>			<i>65,10</i>
<i>Total com fibras</i>			
<i>F2</i>			<i>0,33</i>
<i>F3</i>			<i>0,65</i>
<i>F4</i>			<i>0,98</i>
<i>Total de Fibras</i>			<i>1,96</i>

Para a dosagem unitária serão necessária em media 1,96kg/m<sup>3</sup> de fibra.

ANEXO IV – Ensaios dos agregados – areia natural lavada e brita 19mm.

		<b>AGREGADOS PARA CONCRETO NBR 7211/09</b>			
INTERESSADO: CONSFOR					
MATERIAL: AREIA NATURAL LAVADA		PROC. DNPM:			
LOCAL: AREAL VOVÔ CANDEIAS		CERTIFICADO No. : 002/16			
Cord. Geogr.:		DATA DO ENSAIO : 14/07/16			
<b>GRANULOMETRIA</b>		<b>ENSAIOS</b>			
PENEIRA ( mm )	PESO RETIDO	PORCENTAGEM		DESCRIÇÃO	RESULTADOS
		RETIDA	ACUMUL.		
76				MASSA UNITÁRIA NBR NM 53	<b>1,50 kg/dm<sup>3</sup></b>
64				MASSA ESPECÍFICA NBR NM 53	<b>2,62 kg/dm<sup>3</sup></b>
50				TEOR DE ARGILA NBR 7218	<b>Isento %</b>
38		-		MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 46	<b>0,5 %</b>
32		-		ABSORÇÃO NBR NM 53	<b>%</b>
25		-		IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR NM 49	<b>&lt; 300 ppm</b>
19		-		MÓDULO DE FINURA NBR 7211	<b>2,845</b>
12,5		-		DIÂMETRO MÁXIMO NBR 7211	<b>6,3 mm</b>
9,5		-		COEFICIENTE DE VAZIOS	<b>42,86 %</b>
6,3		-			
4,8	37,0	5,2 %	5,22 %		
2,4	118,0	16,7 %	21,88 %		
1,2	0,5	0,1 %	21,95 %		
0,6	282,0	39,8 %	61,75 %		
0,3	123,0	17,4 %	79,11 %		
0,15	110,0	15,5 %	94,64 %		
FUNDO	38,0	5,4 %	<b>100%</b>		
TOTAL	708,5	100 %			
<b>CURVA GRANULOMÉTRICA</b>					
					
OBSERVAÇÕES:					
Agregado : Areia natural lavada, com módulo de finura da ordem de 2,76.					
De acordo com o módulo de finura definido, a areia analisada constitui-se de uma areia média.					
<b>Betontech Controle Tecnológico</b>					

GRANULOMETRIA AREIA							
PENEIRA ( mm )	PESO RETIDO	PORCENTAGEM		MASSA UNITÁRIA		MATERIAL PULVERUL.	
		RETIDA	ACUMUL.				
76				TARA		P. INICIAL	1000
64				VOLUME	995,900	P. FINAL	995
50				PESO 1	1488,000	MAT. PULV.	0,5
38				PESO 2	1491,000	<b>MASSA ESPECÍFICA</b>	
32				DENSIDADE	1,496		
25				<b>TORRÕES DE ARGILA</b>		<b>AREIA</b>	
19						LEITURA	391
12,5						DENSIDADE	2,618
9,5				P. INICIAL	200	<b>BRITA</b>	
6,3				P. FINAL	200		
4,8	37,0	5,2	5,2	% AREIA	155,0	P.seco 1	2,500
2,4	118,0	16,7	21,9	% TORRÕES		P.seco 2	2,500
1,2	0,5	0,1	21,9			P.seco 3	2,500
0,6	282,0	39,8	61,8			P.imerso 1	1,544
0,3	123,0	17,4	79,1			P.imerso 2	1,505
0,15	110,0	15,5	94,6			P.imerso 3	1,557
FUNDO	38	5,36	<b>100%</b>			DENSIDADE	7,779
TOTAL	708,5	100,0				DENSIDADE	2,593

## AGREGADOS PARA CONCRETO NBR 7211/09

INTERESSADO: CONSFOR	
MATERIAL: BRITA 1	PROC. DNPM:
LOCAL: PEDREIRA CASTILHO	CERTIFICADO No. : 001/16
Cord. Geogr.:	DATA DO ENSAIO : 14/07/16

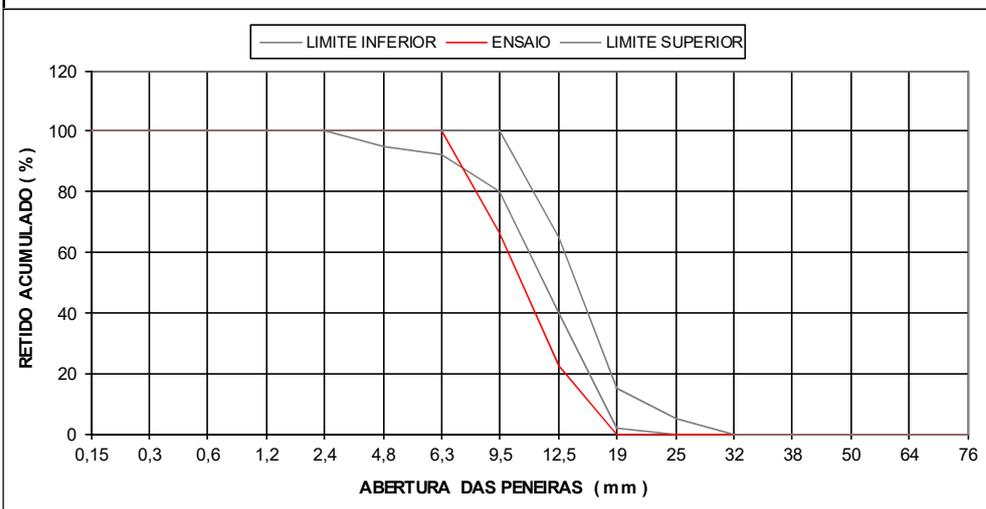
### GRANULOMETRIA

PENEIRA ( mm )	PESO RETIDO	PORCENTAGEM	
		RETIDA	ACUMUL.
76			
64			
50			
38			
32			
25		-	
19		-	
12,5	334	22,7 %	22,69 %
9,5	645	43,8 %	66,52 %
6,3	492,0	33,4 %	99,95 %
4,8	0,5	0,0 %	99,98 %
2,4			99,98 %
1,2			99,98 %
0,6			99,98 %
0,3			99,98 %
0,15			99,98 %
FUNDO	0,3	0,0 %	<b>100%</b>
TOTAL	1471,77	100 %	

### ENSAIOS

DESCRIÇÃO	RESULTADOS
MASSA UNITÁRIA NBR NM 53	<b>1,37 kg/dm<sup>3</sup></b>
MASSA ESPECÍFICA NBR NM 53	<b>2,64 kg/dm<sup>3</sup></b>
TEOR DE ARGILA NBR 7218	<b>Isento %</b>
MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 46	<b>0,8 %</b>
ABSORÇÃO NBR NM 53	<b>0,78 %</b>
IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR NM 49	<b>&lt; 300 ppm</b>
MÓDULO DE FINURA NBR 7211	<b>6,664</b>
DIÂMETRO MÁXIMO NBR 7211	<b>19 mm</b>
COEFICIENTE DE VAZIOS -	<b>48,12 %</b>

### CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVAÇÕES:

GRANULOMETRIA DA BRITA 01							
PENEIRA ( mm )	PESO RETIDO	PORCENTAGEM		MASSA UNITÁRIA		MATERIAL PULVERUL.	
		RETIDA	ACUMUL.				
76				TARA		P. INICIAL	3000
64				VOLUME	3182,000	P. FINAL	2975
50				PESO 1	4372,000	MAT. PULV.	0,833333333
38				PESO 2	4360,000	<b>MASSA ESPECÍFICA</b>	
32				DENSIDADE	1,372		
25				<b>TORRÕES DE ARGILA</b>		<i>AREIA</i>	
19						LEITURA	390
12,5	334	22,69	22,7	<b>BRITA</b>		DENSIDADE	2,632
9,5	645	43,82	66,5			P. INICIAL	200
6,3	492,0	33,4	99,9	P. FINAL	200		
4,8	0,5	0,0	100,0	% AREIA	0,5	P.seco 1	2,000
2,4			100,0	% TORRÕES		P.seco 2	2,000
1,2			100,0			P.seco 3	2,000
0,6			100,0			P.imerso 1	1,241
0,3			100,0			P.imerso 2	1,242
0,15			100,0			P.imerso 3	1,242
FUNDO	0	0,02	<b>100%</b>			DENSIDADE	7,910
TOTAL	1471,8	100,0				DENSIDADE	2,637

ANEXO V – Estudos de parte dos ensaios – Média, Variância e Desvio Padrão

**REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO  
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA  
CARACTERÍSTICA  
DO CONCRETO À COMPRESSÃO AXIAL E DIAMETRAL- NBR 5738 e NBR 5739**

CLIENTE: HENRY CARLOS BOERO COSTA

CNPJ:

END:

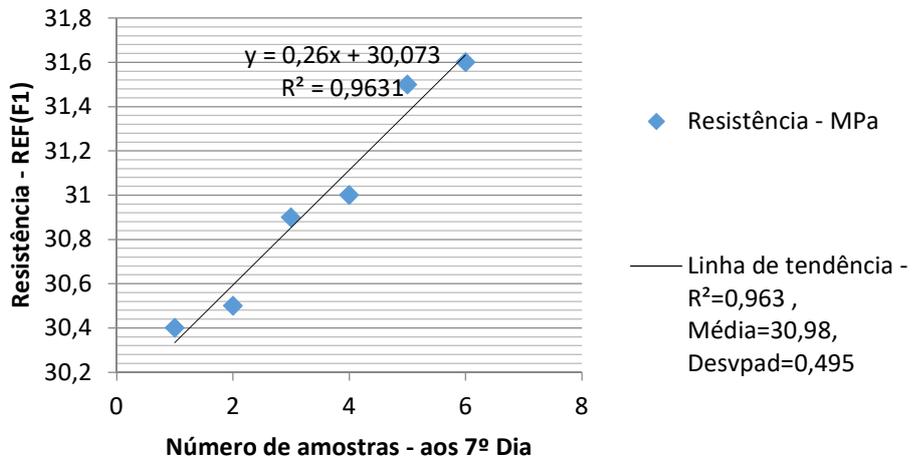
OBRA:

END. OBRA:

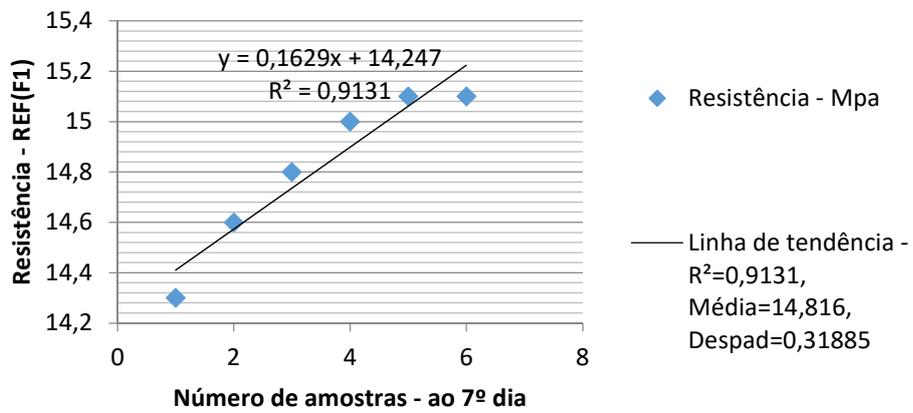


Reg. Lab.	Fck (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição	Peça Concretada	Carga (Kgf)	Fck (MPa)
139	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		Sem	Axial	24,24	<b>30,9</b>
140	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		Sem	Axial	23,95	<b>30,5</b>
141	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		Sem	Axial	23,91	<b>30,4</b>
142	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		Sem	Axial	24,74	<b>31,5</b>
143	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		Sem	Axial	24,37	<b>31,0</b>
144	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		Sem	Axial	24,78	<b>31,6</b>
145	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		Sem	Diametral	9,45	<b>15,0</b>
146	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		Sem	Diametral	9,89	<b>15,7</b>
147	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		Sem	Diametral	9,48	<b>15,1</b>
148	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		Sem	Diametral	9,50	<b>15,1</b>
149	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		Sem	Diametral	9,32	<b>14,8</b>
150	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		Sem	Diametral	9,21	<b>14,6</b>
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:			
Equipamento: Prensa Hidráulica							Traço em volume; misturado em betoneira estacionária			
Marca: SOLOTEST										
Ref.: Série 065										
Aferido: 19/04/2016										
Número do Certificado: 42068-16										
Técnico Executor:										
Técnico Conferente: Gilberto Gil										
Engenheiro responsável: Luiz Felipe										

### Resistência à compressão axial



### Resistência à tração por compressão diametral



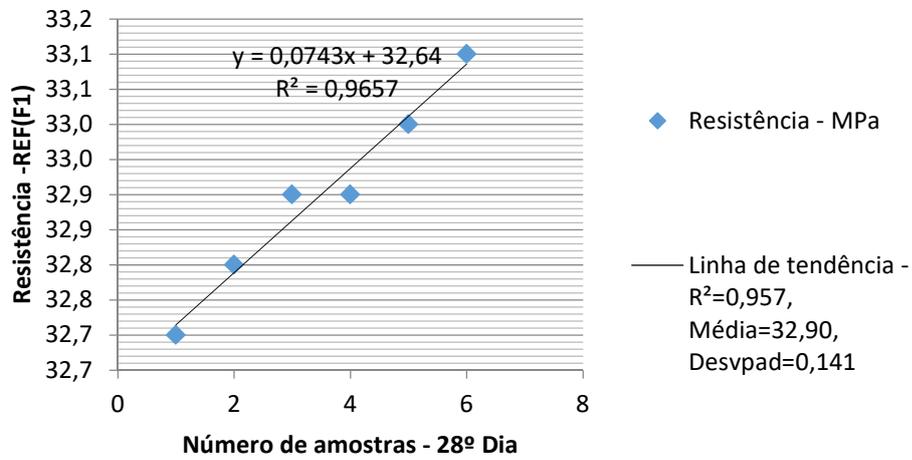
**REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO  
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA  
CARACTERÍSTICA  
DO CONCRETO À COMPRESSÃO AXIAL E DIAMETRAL - NBR 5738 e NBR 5739**

CLIENTE: HENRY CARLOS BOERO COSTA  
CNPJ:  
END:  
OBRA:  
END. OBRA:

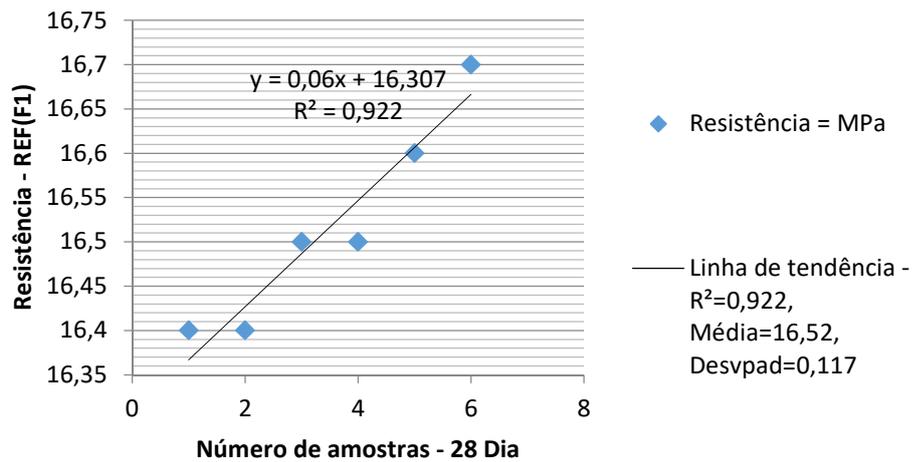


Reg. Lab.	Fck (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição	Peça Concretada	Carga (Kgf)	Fck (MPa)
151	30	1/11/16	29/11/16	28	5,5		Sem	Axial	25,98	<b>33,1</b>
152	30	1/11/16	29/11/16	28			Sem	Axial	25,78	<b>32,8</b>
153	30	1/11/16	29/11/16	28			Sem	Axial	25,69	<b>32,7</b>
154	30	1/11/16	29/11/16	28			Sem	Axial	25,86	<b>32,9</b>
155	30	1/11/16	29/11/16	28			Sem	Axial	25,81	<b>32,9</b>
156	30	1/11/16	29/11/16	28			Sem	Axial	25,94	<b>33,0</b>
157	30	1/11/16	29/11/16	28			Sem	Diametral	10,38	<b>16,5</b>
158	30	1/11/16	29/11/16	28			Sem	Diametral	10,32	<b>16,4</b>
159	30	1/11/16	29/11/16	28			Sem	Diametral	10,47	<b>16,6</b>
160	30	1/11/16	29/11/16	28			Sem	Diametral	10,52	<b>16,7</b>
161	30	1/11/16	29/11/16	28			Sem	Diametral	10,31	<b>16,4</b>
162	30	1/11/16	29/11/16	28			Sem	Diametral	10,24	<b>16,3</b>
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:			
Equipamento: Prensa Hidráulica							Traço em volume; misturado em betoneira estacionária			
Marca: SOLOTEST										
Ref.: Série 065										
Aferido: 19/04/2016										
Número do Certificado: 42068-16										
Técnico Executor:										
Técnico Conferente: Gilberto Gil										
Engenheiro responsável: Luiz Felipe										

### Resistência à tração por compressão axial



### Resistência à tração por compressão diametral



**REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO  
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA  
CARACTERÍSTICA  
DO CONCRETO À COMPRESSÃO AXIAL E DIAMETRAL - NBR 5738 e NBR 5739**

CLIENT

E: HENRY CARLOS BOERO COSTA

CNPJ:

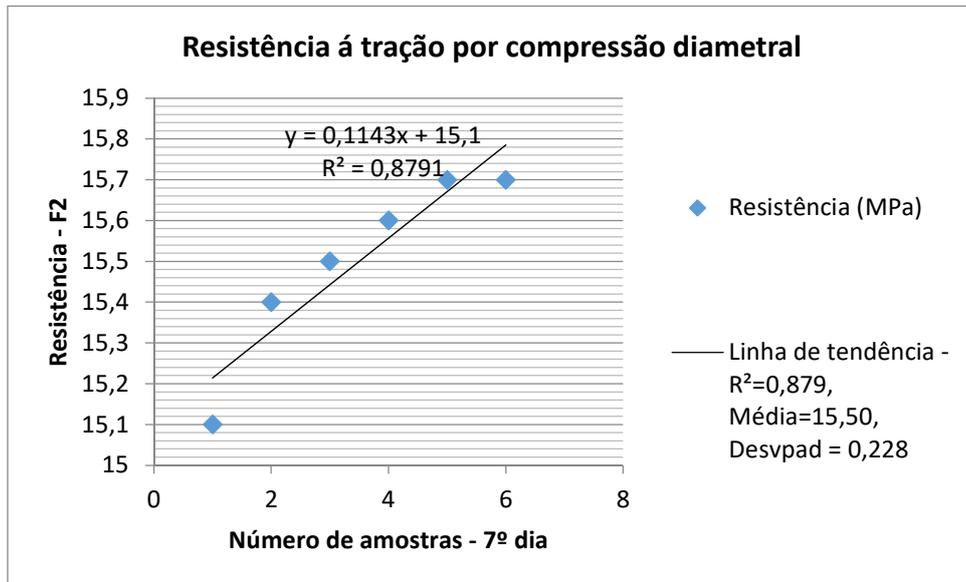
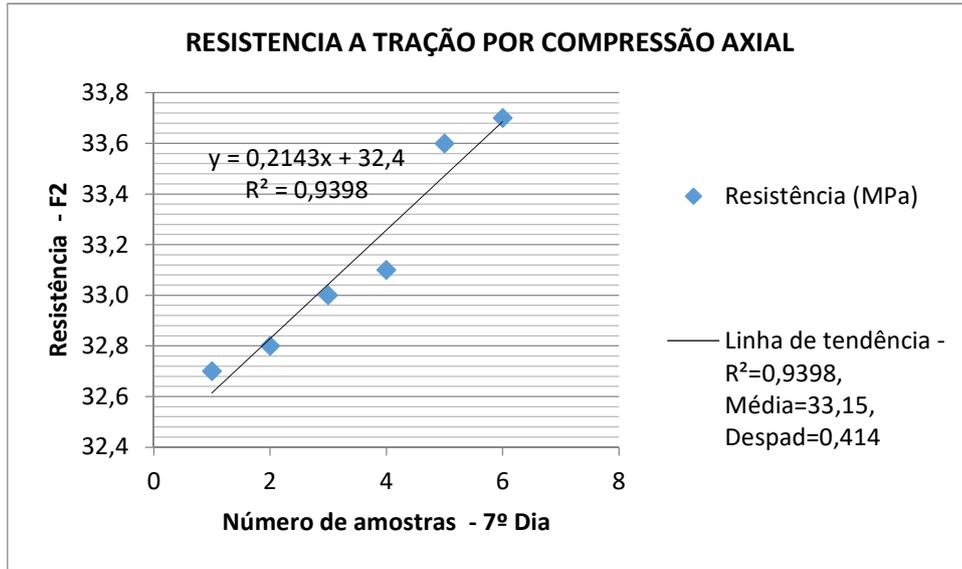
END:

OBRA:

END. OBRA:



Reg. Lab.	Fck (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição	Peça Concretada	Carga (Kgf)	Fck (MPa)
163	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Axial	26,49	<b>33,7</b>
164	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Axial	26,00	<b>33,1</b>
165	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Axial	25,89	<b>33,0</b>
166	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Axial	25,71	<b>32,7</b>
167	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Axial	26,38	<b>33,6</b>
168	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Axial	25,76	<b>32,8</b>
169	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Diametral	9,77	<b>15,5</b>
170	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Diametral	9,88	<b>15,7</b>
171	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Diametral	9,47	<b>15,1</b>
172	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Diametral	9,85	<b>15,7</b>
173	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Diametral	9,78	<b>15,6</b>
174	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Diametral	9,69	<b>15,4</b>
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:			
Equipamento: Prensa Hidráulica							Traço em volume; misturado em betoneira estacionária			
Marca: SOLOTEST										
Ref.: Série 065										
Aferido: 19/04/2016										
Número do Certificado: 42068-16										
Técnico Executor:										
Técnico Conferente: Gilberto Gil										
Engenheiro responsável: Luiz Felipe										



**REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO**  
**MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA**  
**CARACTERÍSTICA**  
**DO CONCRETO À COMPRESSÃO AXIAL E DIAMETRAL- NBR 5738 e NBR 5739**

CLIENTE: HENRY CARLOS BOERO COSTA

CNPJ:

END:

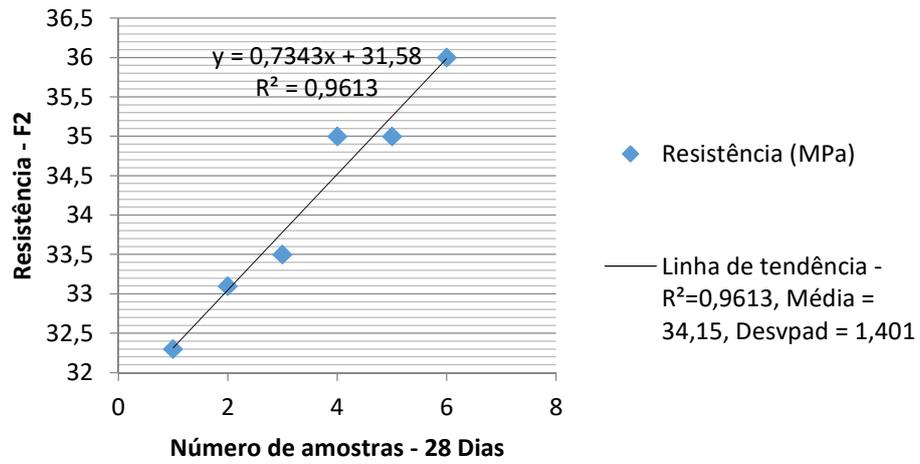
OBRA:

END. OBRA:

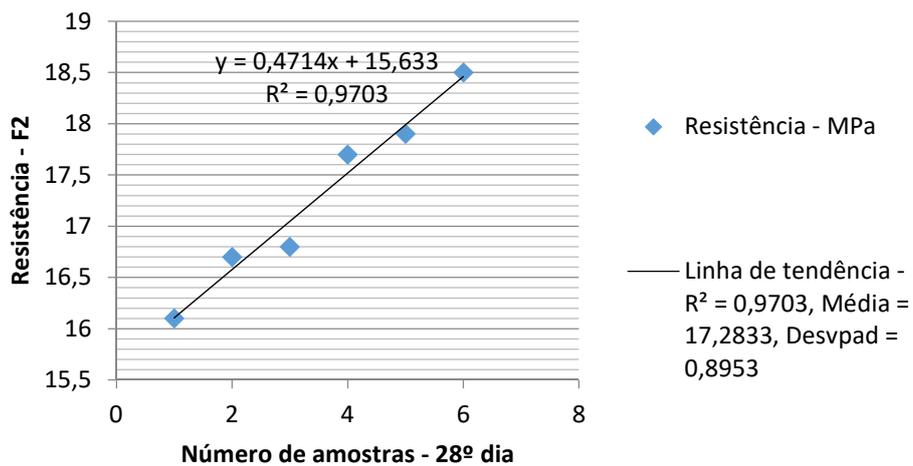


Reg. Lab.	Fck (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição	Peça Concretada	Carga (Kgf)	Fck (MPa)
175	30	1/11/16	29/11/16	28	5		<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Axial	28,30	<b>36,0</b>
176	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Axial	27,52	<b>35,0</b>
177	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Axial	25,40	<b>32,3</b>
178	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Axial	26,30	<b>33,5</b>
179	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Axial	26,00	<b>33,1</b>
180	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Axial	27,45	<b>35,0</b>
181	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Diametral	11,66	<b>18,5</b>
182	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Diametral	10,14	<b>16,1</b>
183	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Diametral	11,12	<b>17,7</b>
184	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Diametral	10,58	<b>16,8</b>
185	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Diametral	10,48	<b>16,7</b>
186	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	Diametral	11,24	<b>17,9</b>
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:			
Equipamento: Prensa Hidráulica							Traço em volume; misturado em betoneira estacionária			
Marca: SOLOTEST										
Ref.: Série 065										
Aferido: 19/04/2016										
Número do Certificado: 42068-16										
Técnico Executor:										
Técnico Conferente: Gilberto Gil										
Engenheiro responsável: Luiz Felipe										

### RESITENCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO AXIAL



### Resistência à tração por compressão diametral



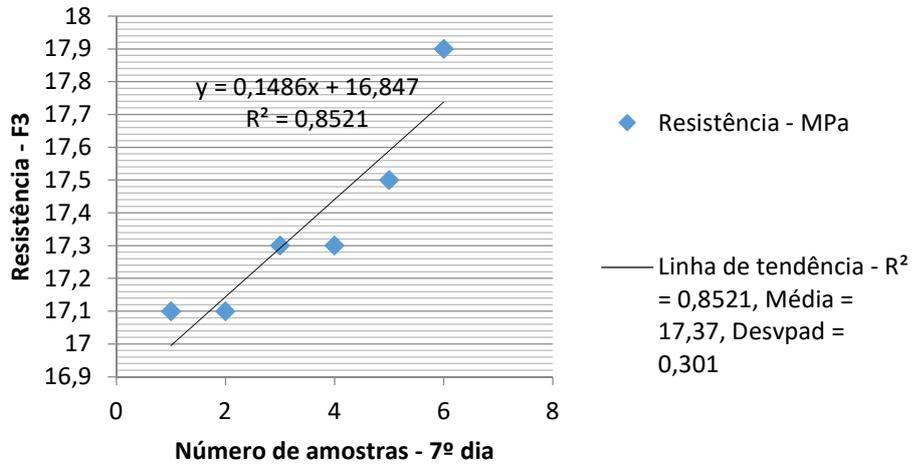
**REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO**  
**MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA**  
**CARACTERÍSTICA**  
**DO CONCRETO À COMPRESSÃO AXIAL E DIAMETRAL- NBR 5738 e NBR 5739**

CLIENTE: HENRY CARLOS BOERO COSTA  
 CNPJ:  
 END:  
 OBRA:  
 END. OBRA:

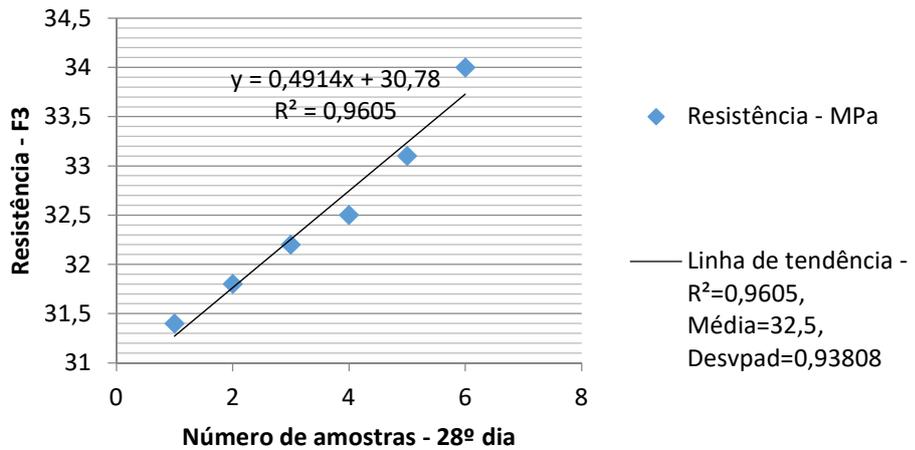


Reg. Lab.	Fck (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição	Peça Concretada	Carga (Kgf)	Fck (MPa)
187	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		<b>F3- 1% FIBRA</b>	Axial	24,99	<b>31,8</b>
188	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Axial	24,89	<b>31,7</b>
189	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Axial	25,61	<b>32,6</b>
190	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Axial	24,78	<b>31,6</b>
191	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Axial	25,05	<b>31,9</b>
192	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Axial	25,12	<b>32,0</b>
193	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Diametral	11,24	<b>17,9</b>
194	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Diametral	10,78	<b>17,1</b>
195	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Diametral	10,91	<b>17,3</b>
196	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Diametral	11,01	<b>17,5</b>
197	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Diametral	10,75	<b>17,1</b>
198	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Diametral	10,89	<b>17,3</b>
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:			
Equipamento: Prensa Hidráulica							Traço em volume; misturado em betoneira estacionária			
Marca: SOLOTEST										
Ref.: Série 065										
Aferido: 19/04/2016										
Número do Certificado: 42068-16										
Técnico Executor:										
Técnico Conferente: Gilberto Gil										
Engenheiro responsável: Luiz Felipe										

### Resistência à tração por compressão diametral



### Resistência à compressão axial



**REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO**  
**MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA**  
**CARACTERÍSTICA**  
**DO CONCRETO À COMPRESSÃO AXIAL E DIAMETRAL - NBR 5738 e NBR 5739**

CLIENTE: HENRY CARLOS BOERO COSTA

CNPJ:

END:

OBRA:

END. OBRA:



Reg. Lab.	Fck (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição	Peça Concretada	Carga (Kgf)	Fck (MPa)
199	30	1/11/16	29/11/16	28	5,5		<b>F3- 1% FIBRA</b>	Axial	25,49	<b>32,5</b>
200	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Axial	25,00	<b>31,8</b>
201	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Axial	24,66	<b>31,4</b>
202	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Axial	26,00	<b>33,1</b>
203	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Axial	25,32	<b>32,2</b>
204	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Axial	26,67	<b>34,0</b>
205	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Diametral	11,06	<b>17,6</b>
206	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Diametral	10,74	<b>17,1</b>
207	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Diametral	10,97	<b>17,4</b>
208	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Diametral	10,89	<b>17,3</b>
209	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Diametral	11,02	<b>17,5</b>
210	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	Diametral	11,74	<b>18,7</b>
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:			
Equipamento: Prensa Hidráulica							Traço em volume; misturado em betoneira estacionária			
Marca: SOLOTEST										
Ref.: Série 065										
Aferido: 19/04/2016										
Número do Certificado: 42068-16										
Técnico Executor:										
Técnico Conferente: Gilberto Gil										
Engenheiro responsável: Luiz Felipe										

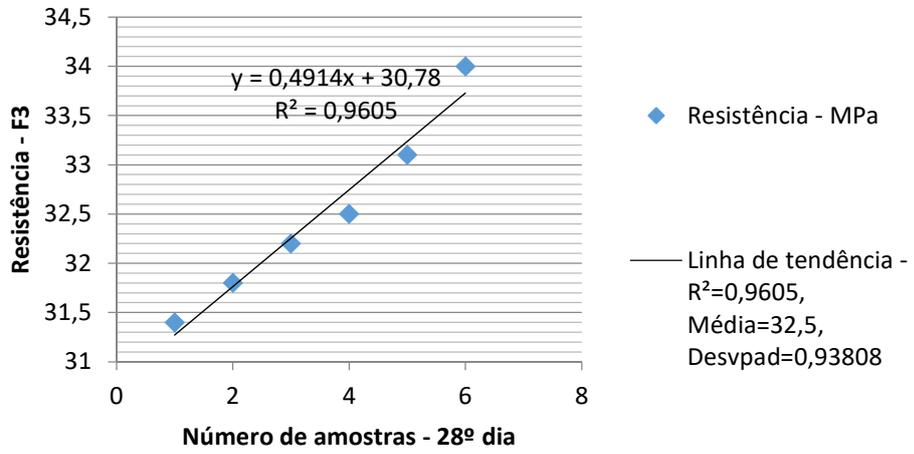
**REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO  
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA  
CARACTERÍSTICA  
DO CONCRETO À COMPRESSÃO AXIAL E DIAMETRAL - NBR 5738 e NBR 5739**

CLIENTE: HENRY CARLOS BOERO COSTA  
CNPJ:  
END:  
OBRA:  
END. OBRA:

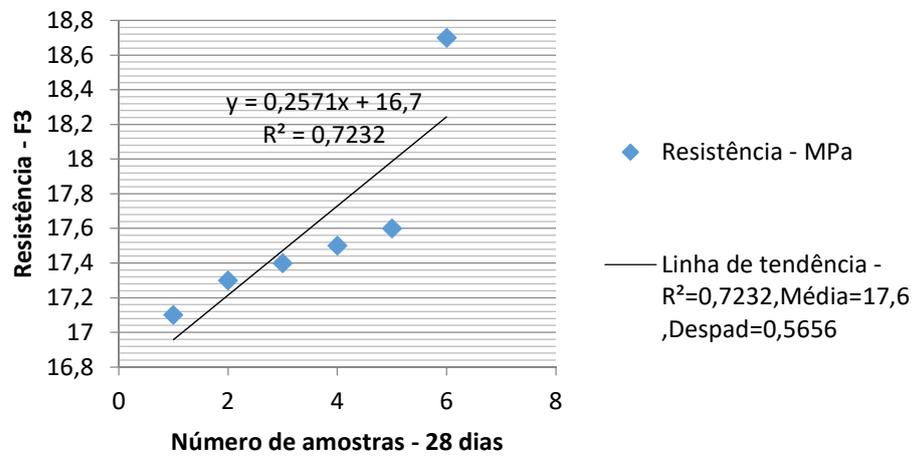


Reg. Lab.	Fck (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição	Peça Concretada	Carga (Kgf)	Fck (MPa)
211	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	24,10	<b>30,7</b>
212	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	24,36	<b>31,0</b>
213	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	24,78	<b>31,6</b>
214	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	25,07	<b>31,9</b>
215	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	24,86	<b>31,7</b>
216	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	24,95	<b>31,8</b>
217	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	9,10	<b>14,5</b>
218	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	8,99	<b>14,3</b>
219	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	9,01	<b>14,3</b>
220	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	9,42	<b>15,0</b>
221	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	8,97	<b>14,3</b>
222	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	9,08	<b>14,4</b>
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:			
Equipamento: Prensa Hidráulica							Traço em volume; misturado em betoneira estacionária			
Marca: SOLOTEST										
Ref.: Série 065										
Aferido: 19/04/2016										
Número do Certificado: 42068-16										
Técnico Executor:										
Técnico Conferente: Gilberto Gil										
Engenheiro responsável: Luiz Felipe										

### Resistência à compressão axial



### Resistência à tração por compressão diametral



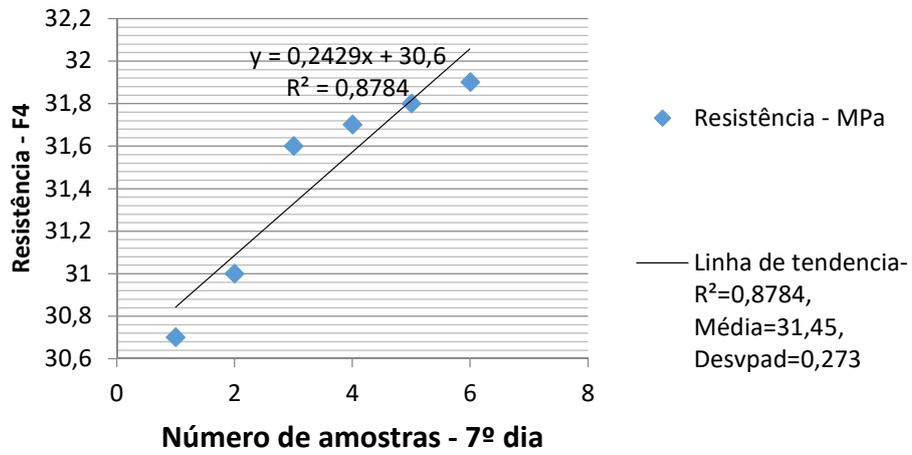
**REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO**  
**MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA**  
**CARACTERÍSTICA**  
**DO CONCRETO À COMPRESSÃO AXIAL E DIAMETRAL - NBR 5738 e NBR 5739**

CLIENTE: HENRY CARLOS BOERO COSTA  
 CNPJ:  
 END:  
 OBRA:  
 END. OBRA:

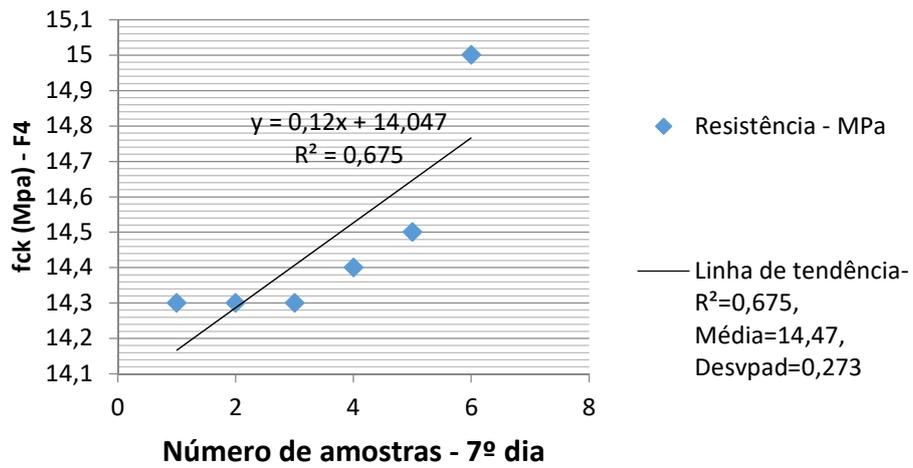


Reg. Lab.	Fck (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição	Peça Concretada	Carga (Kgf)	Fck (MPa)
211	30	1/11/16	8/11/16	7	5,5		<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	24,10	<b>30,7</b>
212	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	24,36	<b>31,0</b>
213	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	24,78	<b>31,6</b>
214	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	25,07	<b>31,9</b>
215	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	24,86	<b>31,7</b>
216	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	24,95	<b>31,8</b>
217	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	9,10	<b>14,5</b>
218	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	8,99	<b>14,3</b>
219	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	9,01	<b>14,3</b>
220	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	9,42	<b>15,0</b>
221	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	8,97	<b>14,3</b>
222	30	1/11/16	8/11/16	7			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	9,08	<b>14,4</b>
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:			
Equipamento: Prensa Hidráulica							Traço em volume; misturado em betoneira estacionária			
Marca: SOLOTEST										
Ref.: Série 065										
Aferido: 19/04/2016										
Número do Certificado: 42068-16										
Técnico Executor:										
Técnico Conferente: Gilberto Gil										
Engenheiro responsável: Luiz Felipe										

### Resistência à compressão axial



### Resistência à tração por compressão diametral



**REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO**  
**MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA**  
**CARACTERÍSTICA**  
**DO CONCRETO À COMPRESSÃO AXIAL E DIAMETRAL - NBR 5738 e NBR 5739**

CLIENTE: HENRY CARLOS BOERO COSTA

CNPJ:

END:

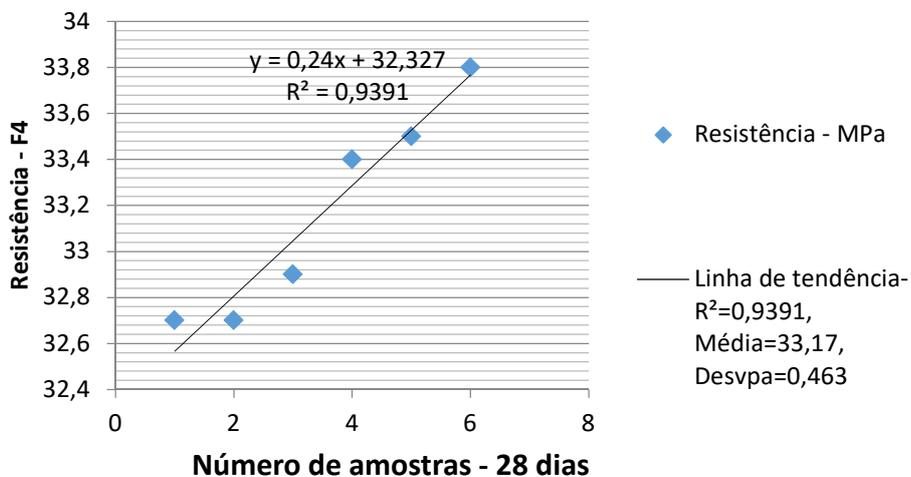
OBRA:

END. OBRA:

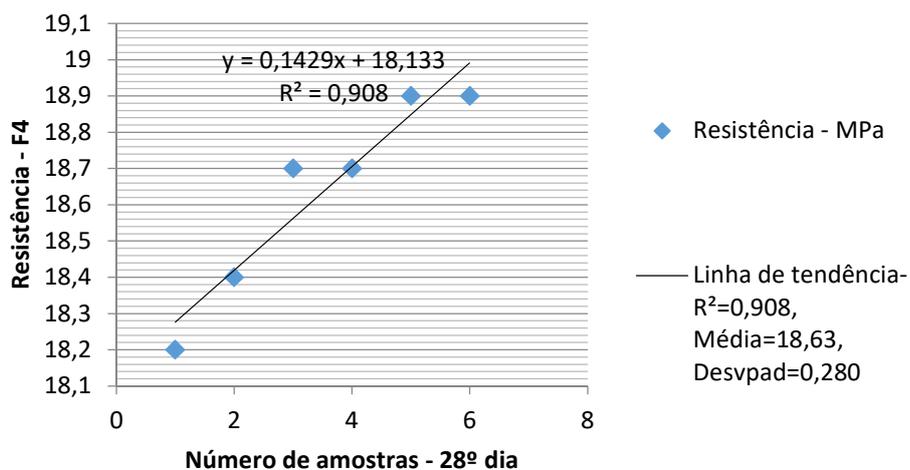


Reg. Lab.	Fck (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição	Peça Concretada	Carga (Kgf)	Fck (MPa)
223	30	1/11/16	29/11/16	28	5		<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	26,20	<b>33,4</b>
224	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	25,86	<b>32,9</b>
225	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	25,69	<b>32,7</b>
226	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	26,29	<b>33,5</b>
227	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	25,72	<b>32,7</b>
228	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Axial	26,12	<b>33,3</b>
229	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	11,56	<b>18,4</b>
230	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	11,86	<b>18,9</b>
231	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	11,78	<b>18,7</b>
232	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	11,75	<b>18,7</b>
233	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	11,89	<b>18,9</b>
234	30	1/11/16	29/11/16	28			<b>F4- 1,5% FIBRA</b>	Diametral	11,45	<b>18,2</b>
Dados da equipe e equipamentos utilizados							Obs.:			
Equipamento: Prensa Hidráulica							Traço em volume; misturado em betoneira estacionária			
Marca: SOLOTEST										
Ref.: Série 065										
Aferido: 19/04/2016										
Número do Certificado: 42068-16										
Técnico Executor:										
Técnico Conferente: Gilberto Gil										
Engenheiro responsável: Luiz Felipe										

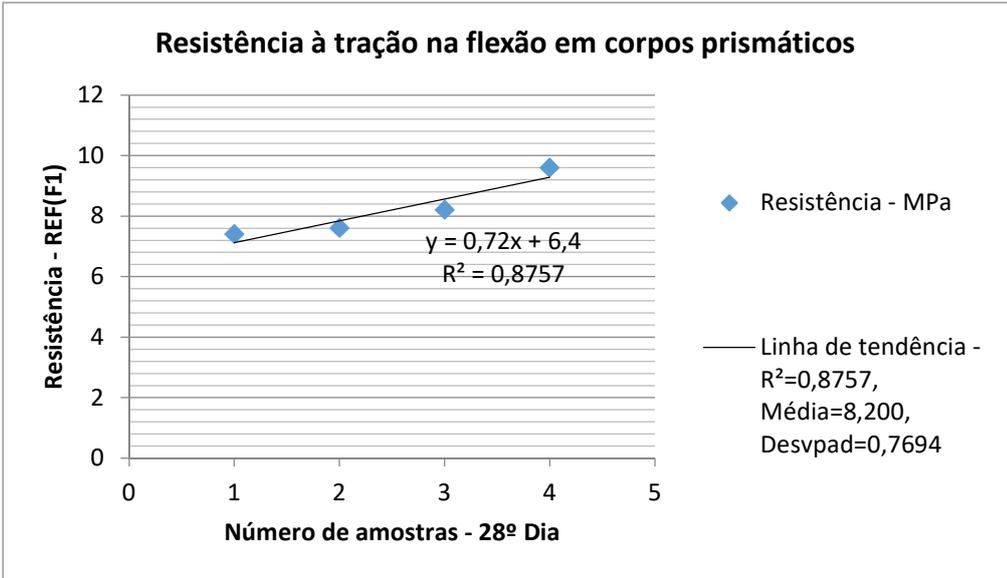
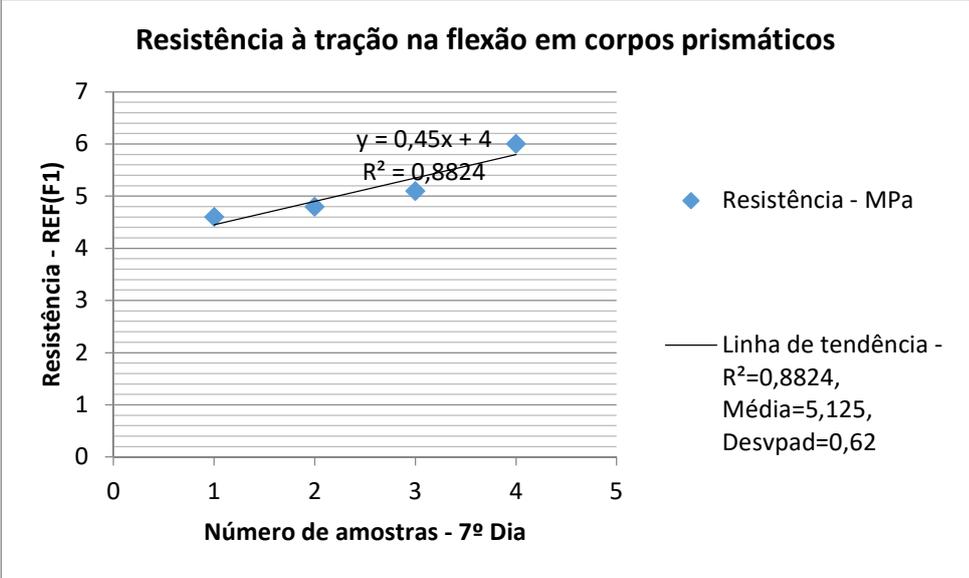
### Resistência à compressão axial



### Resistência à tração por compressão diametral





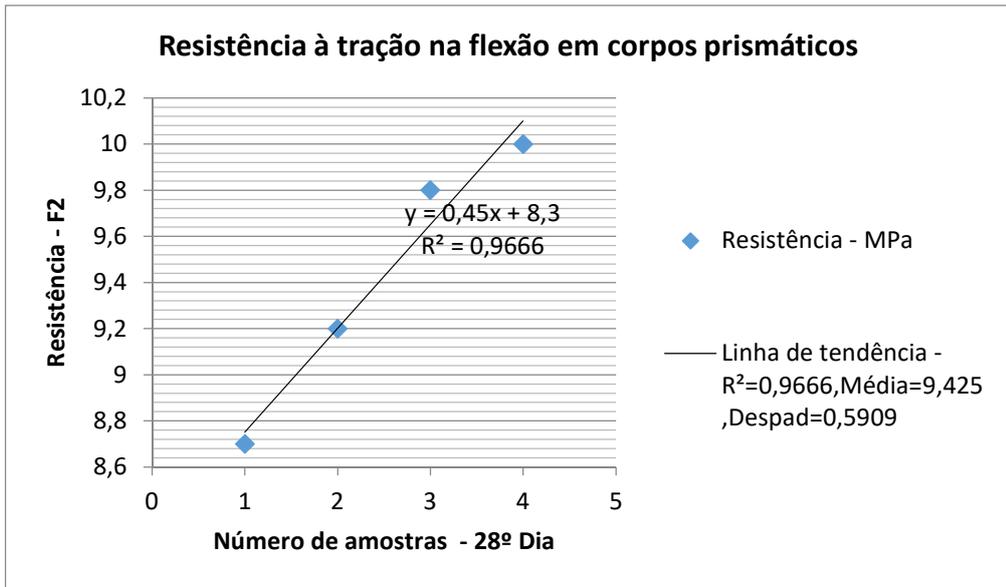
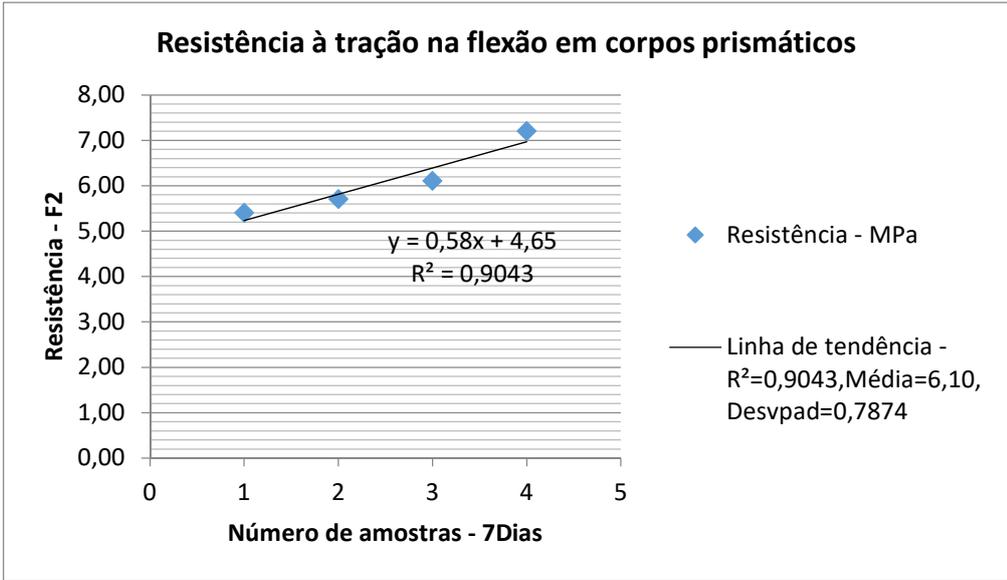


**REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO  
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA  
CARACTERÍSTICA  
DO CONCRETO À COMPRESSÃO - NBR 5738 e NBR 5739**

CLIENTE: HENRY CARLOS BOERO COSTA  
 CNPJ:  
 END:  
 OBRA:  
 END. OBRA:



Reg. Lab.	Nota Fiscal	Fck (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição	Peça Concretada	Carga (Kgf)	Fck (MPa)
107		30	28/10/16	4/11/16	7	5,5		<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	2,12	<b>6,1</b>
108		30	28/10/16	4/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	1,99	<b>5,7</b>
109		30	28/10/16	4/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	1,90	<b>5,4</b>
110		30	28/10/16	4/11/16	7			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	2,51	<b>7,2</b>
111		30	28/10/16	25/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	3,43	<b>9,8</b>
112		30	28/10/16	25/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	3,21	<b>9,2</b>
113		30	28/10/16	25/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	3,03	<b>8,7</b>
114		30	28/10/16	25/11/16	28			<b>F2- 0,5% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	3,51	<b>10,0</b>
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:			
Equipamento: Prensa Hidráulica								Traço em volume; misturado em betoneira estacionária			
Marca: SOLOTEST											
Ref.: Série 065											
Aferido: 19/04/2016											
Número do Certificado: 42068-16											
Técnico Executor:											
Técnico Conferente: Gilberto Gil											
Engenheiro responsável: Luiz Felipe											



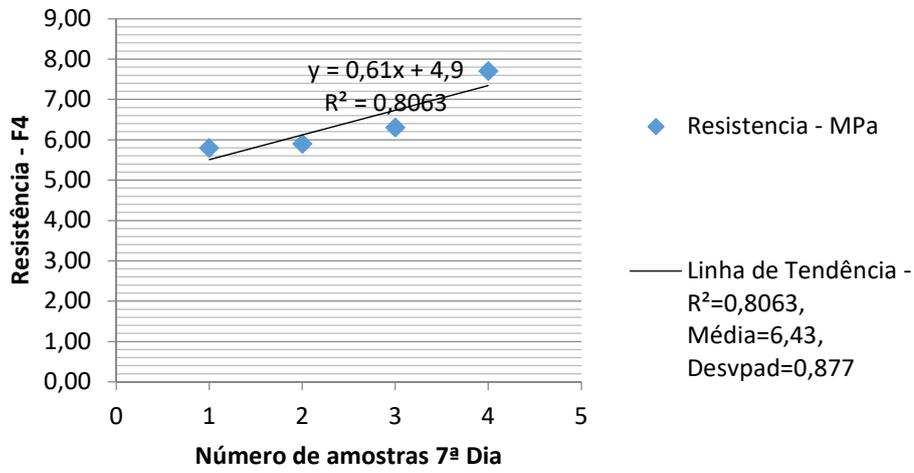
**REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO  
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA  
CARACTERÍSTICA  
DO CONCRETO À COMPRESSÃO - NBR 5738 e NBR 5739**

CLIENTE: HENRY CARLOS BOERO COSTA  
 CNPJ:  
 END:  
 OBRA:  
 END. OBRA:

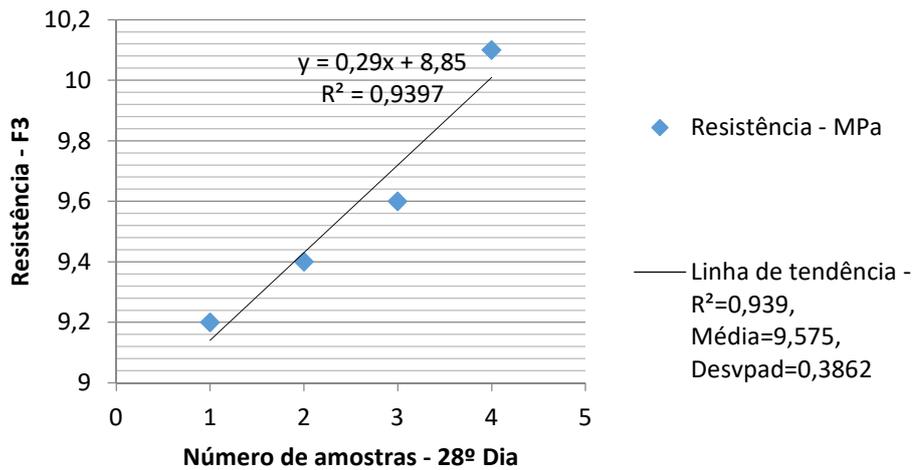


Reg. Lab.	Nota Fiscal	Fck (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição	Peça Concretada	Carga (Kgf)	Fck (MPa)
115		30	28/10/16	4/11/16	7	5,5		<b>F3- 1% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	2,20	<b>6,3</b>
116		30	28/10/16	4/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	2,05	<b>5,9</b>
117		30	28/10/16	4/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	2,04	<b>5,8</b>
118		30	28/10/16	4/11/16	7			<b>F3- 1% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	2,68	<b>7,7</b>
119		30	28/10/16	25/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	3,54	<b>10,1</b>
120		30	28/10/16	25/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	3,30	<b>9,4</b>
121		30	28/10/16	25/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	3,22	<b>9,2</b>
122		30	28/10/16	25/11/16	28			<b>F3- 1% FIBRA</b>	<b>10x10x40</b>	3,34	<b>9,6</b>
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:			
Equipamento: Prensa Hidráulica								Traço em volume; misturado em betoneira estacionária			
Marca: SOLOTEST											
Ref.: Série 065											
Aferido: 19/04/2016											
Número do Certificado: 42068-16											
Técnico Executor:											
Técnico Conferente: Gilberto Gil											
Engenheiro responsável: Luiz Felipe											

### Resistência à tração na flexão em corpos prismáticos



### Resistência à tração na flexão em corpos prismáticos

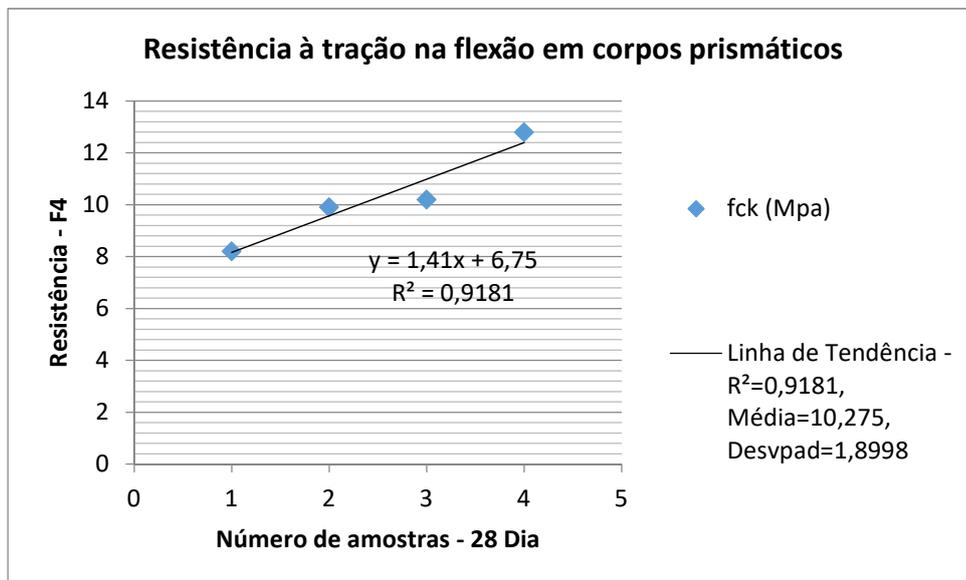
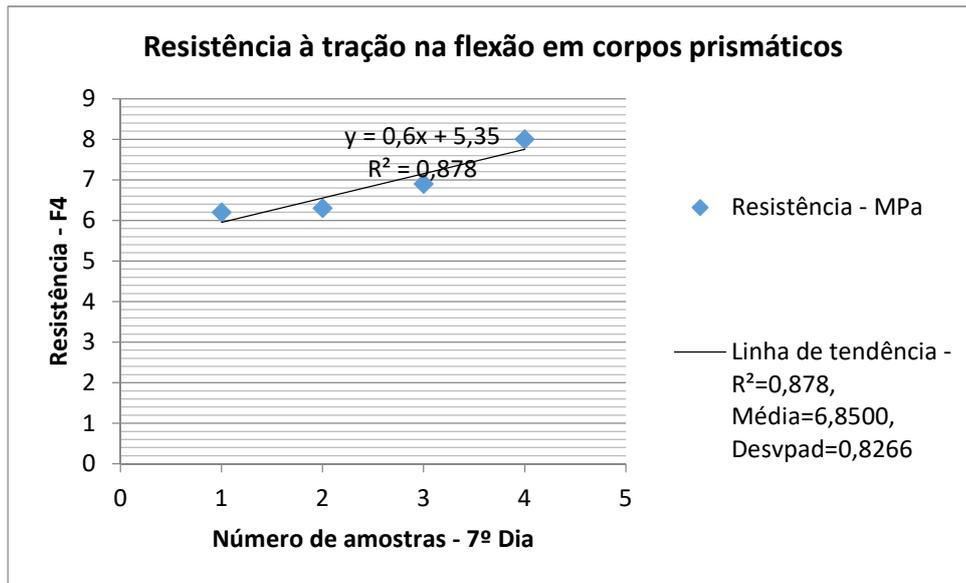


**REGISTRO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO  
MOLDAGEM E CURA DO CORPO DE PROVA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA  
CARACTERÍSTICA  
DO CONCRETO À COMPRESSÃO - NBR 5738 e NBR 5739**

CLIENT HENRY CARLOS BOERO  
E: COSTA  
CNPJ:  
END:  
OBRA:  
END. OBRA:



Reg. Lab.	Nota Fiscal	Fck (proj.)	Data de moldagem	Data de ruptura	Idade (dias)	Slump (cm)	Hora Mold.	Adição	Peça Concretada	Carga (Kgf)	Fck (MPa)
123		30	29/10/16	5/11/16	7	5,5		F4- 1,5% FIBRA	10x10x40	2,43	6,9
124		30	29/10/16	5/11/16	7			F4- 1,5% FIBRA	10x10x40	2,20	6,3
125		30	29/10/16	5/11/16	7			F4- 1,5% FIBRA	10x10x40	2,15	6,2
126		30	29/10/16	5/11/16	7			F4- 1,5% FIBRA	10x10x40	2,80	8,0
127		30	29/10/16	26/11/16	28			F4- 1,5% FIBRA	10x10x40	2,88	8,2
128		30	29/10/16	26/11/16	28			F4- 1,5% FIBRA	10x10x40	3,57	10,2
129		30	29/10/16	26/11/16	28			F4- 1,5% FIBRA	10x10x40	3,48	9,9
130		30	29/10/16	26/11/16	28			F4- 1,5% FIBRA	10x10x40	4,48	12,8
Dados da equipe e equipamentos utilizados								Obs.:			
Equipamento: Prensa Hidráulica								Traço em volume; misturado em betoneira estacionária			
Marca: SOLOTEST											
Ref.: Série 065											
Aferido: 19/04/2016											
Número do Certificado: 42068-16											
Técnico Executor:											
Técnico Conferente: Gilberto Gil											
Engenheiro responsável: Luiz Felipe											



Os Coeficientes de Determinação e Correlação Tabela 23, mostram a qualidade do ajuste percentualmente. Sendo que o Coeficiente de Correlação apresentado de 0,9, para mais ou para menos, indica uma correlação muito forte, tendo a análise de variáveis dependentes e independentes, como o aumento da resistência em função do volume crítico de fibra de aço incorporado.

<b>Resistência à compressão axial</b>		
<b>Análise Estatística - Coeficiente de Correlação</b>		
<b>Adição de Fibras</b>	<b>7º Dia</b>	<b>28ºDia</b>
	<b><math>\rho</math></b>	<b><math>\rho</math></b>
<b>F1</b>	0,981376584	0,982700361
<b>F2</b>	0,969432824	0,980459076
<b>F3</b>	0,901110426	0,980051019
<b>F4</b>	0,937229961	0,969071721

Tabela anexa: Análise do Coeficiente de Correlação. Fonte: Do autor.

O Coeficiente de correlação, Tabela 26, aponta também bons indicadores encontrados, sendo maior que 0,9, os valores após um campo amostral de 200 ensaios, indica uma correlação muito forte. Mesmo com o valor de 0,821583836 para o volume crítico F4, temos uma correlação forte, que varia de 0,7 a 0,9. Os números encontrados para o Coeficiente de Determinação também apontam uma boa qualidade no ajuste do modelo, com exceção de F3, onde o  $R^2=0,7232$ , o restante são superiores a 0,9.

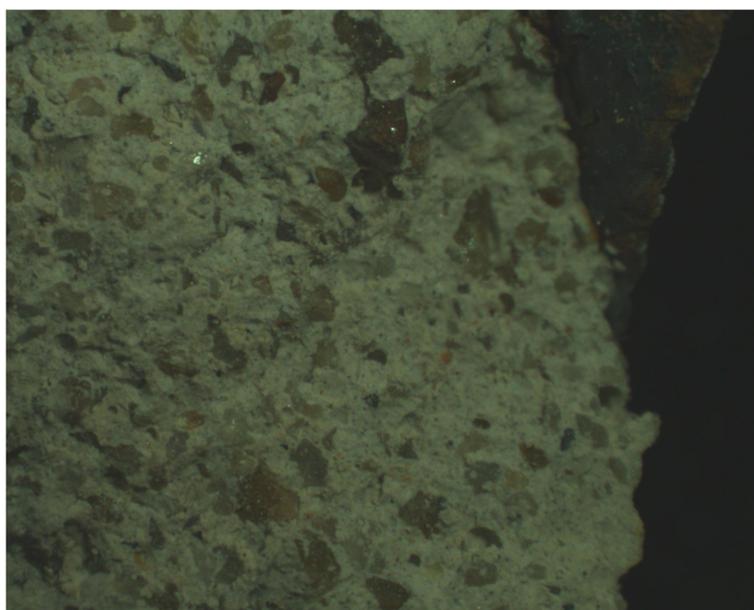
<b>Resistência à tração por compressão diametral</b>		
<b>Análise Estatística - Coeficiente de Correlação</b>		
<b>Adição de Fibras</b>	<b>7º Dia</b>	<b>28ºDia</b>
	<b><math>\rho</math></b>	<b><math>\rho</math></b>
<b>F1</b>	0,955562661	0,960208311
<b>F2</b>	0,937549999	0,98503807
<b>F3</b>	0,923092628	0,850411665
<b>F4</b>	0,821583836	0,95289034

Tabela anexa: Coeficiente de correlação. Fonte: Do autor.

Os Coeficientes de Determinação e Correlação, Tabelas 30 e 31, nos levam a dados confiáveis. O primeiro registra valores próximos a 01, isto é, o ajuste do modelo esta perfeitamente relacionado com o ajuste dos dados, conformando a qualidade do ajuste do modelo. O Coeficiente de Correlação obtido, por ser maior que 0,9, nos proporciona uma correlação perfeita entre as variáveis, ou seja, a resistência obtida e o volume de fibras incorporados. Esses números obtidos indicam uma correlação muito forte entre as variáveis.

<b>Resistência à tração na flexão em corpos prismáticos</b>		
<b>Análise Estatística - Coeficiente de Correlação</b>		
<b>Adição de Fibras</b>	<b>7º Dia</b>	<b>28ºDia</b>
	<b><math>\rho</math></b>	<b><math>\rho</math></b>
<b>F1</b>	0,939361485	0,935788438
<b>F2</b>	0,950946897	0,983158176
<b>F3</b>	0,897942092	0,969381246
<b>F4</b>	0,937016542	0,958175349

**Tabela anexa:** Coeficiente de Correlação. Fonte: Do autor.



**Figura anexa:** Interação fibra e matriz concreticia (MO) Fonte: Do autor

A fibra de aço encontra-se encravada no concreto, sem deformação aparente, apresentando desgaste proveniente de atrito com agregados de maior dureza, como o granito, que o aço. Com volume de fibras de 0,5%(F2).

## ANEXO VI – Normas Internacionais de fabricação de folhas metálicas.

Norma Técnica		Redução		Dureza Rockwell (HR 30 T)		
		Têmpera (MPa) - (*)	LE	e ≤0,22 mm 0,23 ≤e ≤0,30 mm e > 0,30 mm		
EURONORM EN 10202	Simples	TS 230	230	53 máx	52 máx	51 máx
		TS 245	245	53±4	52±4	51±4
		TS 260	260	56±4	55±4	54±4
		TS 275	275	58±4	57±4	56±4
		TH 415	415	62±4	61±4	60±4
		TH 435	435	65±4	65±4	64±4
	Dupla	TH 520	520	-	-	-
		TH 550	550	-	-	-
		TH 580	580	-	-	-
		TH 620	620	-	-	-

Nota:

(\*) A faixa de LE fica a critério de acordo entre produtor e cliente

Norma Técnica	Redução	Têmpera	LE (MPa) - (*)	Dureza Rockwell (HR 30 T)
ASTM A623	Simples	T1	-	49±4
		T2	-	53±4
		T3	-	57±4
		T4	-	61±4
		T5	-	65±4
	Dupla	DR 7,5	520	71
		DR 8	550	73
		DR 8,5	580	73
		DR 9	620	76

Nota:

(\*) A faixa do LE do DR fica a critério de acordo entre produtor e cliente.

Norma Técnica	Redução Têmpera	LE (MPa)	Dureza Rockwell (HR 30 T)	
JIS G3303	Simples	T1	-	49±3
		T2	-	53±3
		T2,5	-	55±3
		T3	-	57±3 <sup>(1)</sup>
		T4	-	61±3
		T5	-	65±3
	Dupla	DR 8	550	73 <sup>(2)</sup>
		DR 9	620	76 <sup>(2)</sup>

Nota:

- (1) O valor liberado de dureza para o material T3 é conforme norma NBR 6665 ou Euronorm EN 10202:2001.
- (2) Valores visados conforme norma.