

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

MIKAELY ALENE DA CRUZ

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS
DE AÇO DE PNEU E INDUSTRIALIZADA.**

**CASCATEL – PR
2017**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

MIKAELY ALENE DA CRUZ

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS
DE AÇO DE PNEU E INDUSTRIALIZADA.**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso I, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professora Orientadora: Engenheira Civil Mestre,
Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres.**

**CASCADEL - PR
2017**

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

MIKAELY ALENE DA CRUZ

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE
AÇO DE PNEU E INDUSTRIALIZADA**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Professora Mestre Engenheira Civil **MARIA VÂNIA NOGUEIRA DO NASCIMENTO PERES**.

BANCA EXAMINADORA



Orientadora Prof^a. Mestre Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil



Professora Mestre Andrea Resende de Souza
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil



Professor Especialista Lincoln Salgado
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Civil

Cascavel, 20 de novembro de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai Reginaldo, a minha mãe Valéria (*in memorian*), aos familiares, aos amigos e ao namorado, pela compreensão e apoio de todos esses anos.

Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar forças e saúde para enfrentar as dificuldades durante esses anos. Toda a minha gratidão devo a Ele, por me iluminar e me capacitar. Sem Ele a conquista não seria possível.

Agradeço infinitamente ao meu pai Reginaldo Cruz, por sempre me apoiar e me ajudar nos momentos difíceis e por ser um ótimo pai, sempre demonstrando seu amor incondicional e fazendo todo o possível para minha felicidade. A minha mãe Valéria Alene (*in memorian*), por ter me dado uma boa educação durante sua vida, por tudo que me ensinou e por me proteger lá de cima. Sei que está muito orgulhosa. Vocês foram fundamentais para a concretização desta graduação. AMO VOCÊS.

A minha orientadora, Professora Engenheira Civil Mestre, Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres, pela preciosa orientação, amizade e incentivo. Os teus conhecimentos e experiência foram, para mim, muito mais do que inspiração.

A minha tia Regiane, que vem me incentivando e me acolhendo durante esses anos como uma mãe. Obrigada por tudo, pelos conselhos e pela amizade. Serei sempre grata a você.

Agradeço ao Diego Fernando, por todo incentivo, paciência e compreensão e por estar presente em minha vida em todos os momentos.

A toda minha família e aos meus amigos, todos sem exceção, pela grandiosa e importante amizade, por compreenderem os momentos em que estive ausente por estar estudando.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz. Os ensinamentos e conhecimentos que vocês transmitiram durante esses quatro anos serão essenciais para a minha carreira profissional. Lembrarei e levarei cada um de vocês em meu coração.

RESUMO

O emprego de materiais reciclados na construção civil vem sendo usado de forma inteligente e bem sucedida, minimizando a destruição do meio ambiente. O método incorreto de descarte do pneu provocam grandes problemas, tanto ambientais quanto da saúde pública. Sendo assim, este trabalho buscou analisar a inclusão de fibras de aço de pneu reciclados e fibras de aço industrializadas para a fabricação do concreto, assim realizou-se um estudo para determinar a capacidade resistente do concreto quando submetidos à compressão e tração, realizando ensaio de módulo de elasticidade para determinar a rigidez do mesmo. Diante disto, buscou-se trazer uma nova tecnologia sustentável através da reciclagem dos pneus e estimular a utilização das fibras de pneu para a fabricação do concreto, dando um espírito inovador para a construção civil. Analisou também por gráficos uma porcentagem ideal para adições destes materiais no concreto, fazendo uma comparação com o concreto convencional, onde o concreto com adição de 1,5% de fibra de aço de pneu apresentou um aumento de 1,92% de resistência à compressão em relação ao concreto com fibra de aço industrializada e 18,94% de aumento em relação ao concreto convencional, já para tração na flexão o concreto convencional é ainda o mais indicado, o concreto com adição de 3% não apresentou um aumento em relação à resistência a compressão e tração na flexão. Sendo assim, a porcentagem ideal de fibras de aço adicionadas ao concreto é de 1,5%.

Palavras-chave: Fibras de aço, construção civil, reciclagem, fibras de aço industrializada.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva Granulométrica da Brita 1.	32
Gráfico 2: Curva Granulométrica da Areia.	33
Gráfico 3: Gráfico da trabalhabilidade dos concretos (cm).....	49
Gráfico 4: Gráfico de resistência à compressão do concreto com adição de fibra de aço industrializada.....	51
Gráfico 5: Gráfico de resistência à compressão do concreto com fibra de aço de pneu.	52
Gráfico 6: Gráfico de resistência à compressão do concreto convencional.	52
Gráfico 7: Valores médios de resistência à compressão.	53
Gráfico 8: Gráfico de resistência à tração na flexão do concreto com fibra de aço industrializada.....	54
Gráfico 9: Gráfico de resistência à tração na flexão do concreto com fibra de aço de pneu. .	55
Gráfico 10: Gráfico de resistência à tração na flexão do concreto convencional.	55
Gráfico 11: Valores médios de resistência à tração na flexão.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: fator de forma mínimo (λ) e o limite de resistência a tração do aço f_u (MPa).....	27
Tabela 2: Classificação e geometria das fibras de aço para reforço de concreto.	27
Tabela 3: Especificação da porcentagem de fibras através da amostragem mínima.....	28
Tabela 4: Análise Granulométrica da Brita.	32
Tabela 5: Análise Granulométrica da Areia.	33
Tabela 6: Consumo de materiais (kg/m ³).	39
Tabela 7: Trabalhabilidade dos concretos (Ensaio <i>Slump Test</i>).....	48
Tabela 8: Resistência à compressão do concreto com fibra de aço industrializada.	50
Tabela 9: Resistência à compressão do concreto com fibra de aço de pneu.	50
Tabela 10: Resistência à compressão do concreto convencional.	51
Tabela 11: Resistência à tração à flexão do concreto com fibra de aço industrializada.	53
Tabela 12: Resistência à tração à flexão do concreto com fibra de aço de pneu.	54
Tabela 13: Resistência à tração à flexão do concreto convencional.	54

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Volume de água adicionada ao frasco.....	34
Equação 2: Massa específica do agregado saturado.....	35
Equação 3: Massa específica do agregado seco.....	35
Equação 4: Massa específica aparente do agregado seco.....	36
Equação 5: Absorção de água.....	37
Equação 6: Umidade do Agregado.....	37
Equação 7: Resistência à tração na flexão.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pneus queimando em lixão ilegal perto de Madri.	16
Figura 2: Pneus utilizados para pavimento asfáltico.	18
Figura 3: Pneus utilizados para contenção.	19
Figura 4: Compósitos com adição de fibras em teores A (abaixo), B (Acima) e C que corresponde ao Volume Crítico, durante o ensaio de tração na flexão.	23
Figura 5: Distribuições possíveis de tensão ao longo de uma fibra através do comprimento crítico (l_c).	23
Figura 6: Fibras de Aço Industrializada A-I.	38
Figura 7: Fibra de Aço de Pneu Reciclado R-I.	39
Figura 8: Consistência do concreto.	41
Figura 9: Cura inicial dos corpos de prova.	42
Figura 10: Concreto na câmara úmida.	43
Figura 11: Corpo de prova cilíndrico entre os pratos de aplicação de carga.	44
Figura 12: Rompimento do corpo de prova cilíndrico.	44
Figura 13: Dispositivo auxiliar para a realização do ensaio.	45
Figura 14: Corpo de prova prismático entre os pratos de aplicação de carga.	46
Figura 15: Rompimento do corpo de prova prismático.	46

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	12
1.1 INTRODUÇÃO.....	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 JUSTIFICATIVA	13
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	14
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	14
CAPÍTULO 2.....	16
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1.1 A problemática dos pneus inservíveis	16
2.1.2 Aplicações dos pneus inservíveis na construção civil	17
2.1.3 Concreto com adição de fibras de aço	19
2.1.3.1 Matriz do concreto.....	20
2.1.3.2. Interação fibra de aço-matriz cimentícia	22
2.1.3.3 Influência da adição de fibras de aço nas propriedades do concreto fresco	24
2.1.3.4 Influência da adição de fibras de aço nas propriedades do concreto endurecido	25
2.1.3.5. Fibras de aço segundo a NBR 15530 (ABNT, 2007).....	26
2.1.4 Estudo da Utilização da Fibra de Aço Reciclada de Pneu.....	28
CAPÍTULO 3.....	30
3.1 METODOLOGIA.....	30
3.1.1 Tipo de estudo	30
3.1.2 Caracterização da amostra	30
3.1.2.1 Cimento Portland.....	31
3.1.2.2 Agregados	31

3.1.2.3 Água	38
3.1.2.4 Fibras de aço	38
3.1.3 Traço do Concreto	39
3.1.4 Moldagem e cura dos corpos de prova	40
3.1.5 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados	43
3.1.5.1 Compressão axial.....	43
3.1.6.2 Tração na flexão	45
3.1.7 Análise dos dados	47
CAPÍTULO 4.....	48
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1.1 Concreto no Estado Fresco	48
4.1.1.1 Trabalhabilidade dos Concretos (Slump test).....	48
4.1.2 Concreto no Estado Endurecido	49
4.1.2.1 Resistência a Compressão Axial	50
4.1.4.2 Tração na Flexão	53
CAPÍTULO 5.....	57
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
CAPÍTULO 6.....	59
6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	59
REFERÊNCIAS	60

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Na área da construção civil há um grande consumo de materiais retirados da natureza para a construção de edifícios e demais obras, gerando um impacto ambiental. Devido a esses impactos, houve o surgimento de novas tecnologias e a construção civil permite criar e realizar projetos que visam à sustentabilidade (BRAVO, 2014).

Segundo Vieira (2014), o descarte dos pneus inservíveis originaram problemas correspondentes ao descarte de forma imprópria em aterros sanitários, pois seu material é de difícil decomposição. Para diminuir esses problemas e os impactos ambientais foram apontadas alternativas, como a reciclagem dos mesmos.

A reciclagem do pneu consiste na separação das substâncias para uso específico, que passam por um processo de trituração e em seguida são granulados, se extraem as fibras de aço e o composto de borracha. Cada substância é encaminhada para indústrias específicas para sua utilização (MACHADO, 2013).

Diante do grande acúmulo de pneus descartados no meio ambiente, os mesmos podem ter vários destinos através da sua reciclagem, que tem grande importância para a preservação dos recursos naturais. Por esses benefícios todos, também foi usado para fabricação de concreto, substituindo ou não a extração dos agregados miúdos (areia e brita), trazendo uma tecnologia sustentável e econômica para a construção civil e diminuindo o acúmulo deste material na natureza.

Martins (2005), relata que os resíduos do pneu como aço e a borracha são usados para a fabricação do concreto e estes resíduos são oferecidos em diversas granulometrias, compreendendo faixas granulométricas dos agregados utilizados normalmente no concreto.

O emprego de resíduos como o aço reciclado de pneu na indústria da construção civil é um método de se diferenciar e acrescer os materiais que são oferecidos na construção, reduzindo assim os valores em questão de custo e degradação ao meio ambiente, aumentando as vantagens em programas habitacionais, sabendo que não é preciso utilizar materiais com uma modernidade técnica para a execução de habitações (MARINHO *et al.*, 2014).

Boaventura (2011), relata que concretos que utilizam a fibra de aço de pneu tendem a proporcionar características para que o mesmo garanta as resistências que são apresentadas em normas técnicas para as especificações de projetos. Diante disso, os materiais reciclados

do pneu devem oferecer uma resistência mecânica para que se tenha um bom concreto, sua granulometria na forma de grãos, assim como os agregados miúdos e graúdos utilizados, para que não possam interferir na trabalhabilidade do mesmo.

Esta pesquisa teve como objetivo trazer uma nova tecnologia sustentável através da reciclagem dos pneus e a estimulação da utilização das fibras de aço dos mesmos para a fabricação do concreto, primando à relação entre o termo sustentabilidade e o seu uso.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento do concreto com fibra de aço de pneu e industrializada com adição de 1,5 e 3% de fibras.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a capacidade resistente dos concretos quando submetidos à compressão;
- Determinar a capacidade resistente dos concretos quando submetidos à tração;
- Identificar com base no estudo a porcentagem ideal da adição de fibra de aço de pneu e industrializada.

1.3 JUSTIFICATIVA

Na área da construção civil não se demonstrava preocupação com a extração dos recursos naturais, desprezavam-se os prejuízos, os custos causados devido à extração e desperdício do mesmo, porque não determinavam um destino aos resíduos produzidos. Devido a esses problemas, no Brasil houve grandes estragos ambientais irreparáveis (FRAGA, 2008).

Diante dos problemas causados no meio ambiente, a construção civil está buscando inserir na sua indústria materiais sustentáveis, que diminuem a extração destes recursos naturais.

Segundo Jonh (2000), a reciclagem tem por objetivo reduzir matérias-primas extraídas dos recursos naturais e atingir o desenvolvimento sustentável, diminuindo o impacto ambiental, que por sua vez é o grande problema da sociedade.

A fibra de aço de pneu, em estudo, vem sendo um bom material na utilização da fabricação do concreto, uma vez que o material é encontrado em grande quantidade, não prejudicando o comportamento do mesmo nas construções através da inclusão das fibras (FRANÇA *et al.*, 2004).

Deste modo, justifica-se o estudo que tem como objetivo desenvolver um concreto que tenha em sua composição fibras de aço de pneus inservíveis, verificando a possibilidade de utilizá-lo como substituição da fibra industrializada para utilização na construção civil.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O concreto, utilizando-se da adição de fibra de aço reciclada de pneu, apresentará bom desempenho quando comparado ao concreto com adição de fibra industrializada?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

A fabricação do concreto utilizando fibras de aço de pneu reciclado proporciona benefícios para o ambiente, pois através deste aproveitamento diminui o acúmulo desses resíduos encontrados na natureza, além de proporcionar um bom desempenho concreto.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada à verificação do comportamento do concreto com adição de fibras de aço recicladas de pneus e fibra industrializada, considerando ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão, considerando as porcentagens definidas para o estudo, baseadas em referências bibliográficas.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaio Mecânicos e Construção Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz e submetidos a testes aos 28 dias, sendo moldados 30 (trinta) corpos de prova, considerando as recomendações específicas para cada ensaio.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 A problemática dos pneus inservíveis

Os pneus trouxeram em sua bagagem benefícios para automóveis e consumidores, porém com a inserção da borracha ocorreram problemas através do seu descarte, causando problemas para o meio ambiente.

O pneu, junto com outros resíduos que provocam impacto ambiental, traz problemas para a sociedade. O acúmulo desse resíduo de pneu vem degradando o meio ambiente por levar anos para que ocorra a sua decomposição. Podem, ainda, ser grandes focos de incêndio, pois sua queima é rápida e fácil, ocasionando uma fumaça que afeta a saúde humana. Além disso, acarreta na contaminação da água deixando-a imprópria para consumo, devido aos materiais que são liberados durante sua queima (FRANÇA *et al.*, 2004), como mostra na Figura 1.

Figura 1: Pneus queimando em lixão ilegal perto de Madri.



Fonte: O Globo, 2016.

Filho (2010), aponta ainda que após o uso dos pneus uma maioria deles tem seu descarte em lugares impróprios, tornando-o ideal para criação e proliferação de insetos, como

o *Aedes Aegypti*, que transmitem doenças, devido ao acúmulo de água na face interna dos mesmos.

A problemática dos pneus inservíveis está associada também às aparências visuais porque o seu grande acúmulo provoca uma poluição visual para a sociedade, pois seu descarte necessita amplas áreas, complicando sua compactação (GRANZOTTO, 2010).

Vieira (2014), comenta que com a inserção do pneu de borracha na área de transportes ocorreram problemas que geram impacto ambiental, porém trouxe consigo ainda benefícios quanto à sua função, comodidade e economia para a rodagem de veículos, além de aumentar a segurança de frenagem e diminuir as trepidações.

Devido aos problemas causados, tanto para a saúde da sociedade quanto à degradação ao meio ambiente, faz-se necessário criar novas alternativas tecnológicas que possam diminuir o acúmulo dos pneus descartados. Uma delas é a reutilização dos pneus, que tem como nome recauchutagem (MARTINS, 2005).

A reciclagem de pneus vem sendo uma boa alternativa para consumidores e para o meio ambiente. Entretanto, uma boa quantidade de pneus não podem ser reutilizados através da recauchutagem devido às condições técnicas do mesmo (VIEIRA, 2014).

A reutilização do pneu consiste basicamente em utilizar toda a sua estrutura, lembrando que esta estrutura deverá ser a que contém maior resistência. A recauchutagem é feita dos pneus impróprios para o consumidor, porém deve apresentar boas condições para que seja reaproveitado (FIORITI *et al.*, 2010).

2.1.2 Aplicações dos pneus inservíveis na construção civil

Segundo Jatoba (2014), na área da construção civil são utilizados muitos recursos retirados da natureza, como areia e brita. Em razão disso vem buscando uma consciência ambiental para que os materiais reciclados sejam usados como substituição de matérias-primas extraídas dos recursos naturais, o que possibilita a preservação do meio ambiente e ainda traz novas tecnologias para a construção civil. Diante disso, uma das soluções adotadas para a preservação dentro da área da construção é o aproveitamento dos pneus que não possuem mais condições de uso, que geralmente são encontrados em lixões, muitos clandestinos, e esse recurso de reciclagem vem sendo muito usado nas técnicas construtivas.

O emprego de pneus reciclados como ferramentas que se encaixam na construção civil tem como função diferenciar e acrescentar a demanda de materiais para a construção, gerando uma economia que melhora as condições sociais (KAMIMURA, 2004).

Análises mostram o quanto a reutilização de pneus na construção civil está aumentando cada vez mais, bem como vem sendo inserido na fabricação de calçadas, pavimentos asfálticos, contenções, paredes e na composição do concreto, utilizando a fibra de aço ou a borracha do pneu triturado, tornando-o um aparelho tecnológico e inovador (ROMUALDO *et al.*, 2011).

Segundo Jatoba (2014), para a fabricação do pavimento asfáltico com a inserção de pneus reciclados, são utilizados para sua composição a borracha do pneu com hidrocarboneto para que assim o pavimento possua uma maior resistência. Essa borracha de pneu deve ser triturada e sua granulometria bem fina, com aparência de um pó. A essa composição ainda é adicionada a brita, formando o asfalto ecológico, como é conhecido. Abaixo a Figura 2 representa este asfalto ecológico.

Figura 2: Pneus utilizados para pavimento asfáltico.



Fonte: Papo de Engenheiro, 2016.

O pavimento asfáltico fabricado através da borracha de pneu é uma das alternativas para a reciclagem do pneu, porém a falta de estudo para a aplicação pode afetar a durabilidade e os benefícios que este revestimento proporciona (ANDRADE, 2007).

Os pneus também podem ser reutilizados para fazer contenção de encostas. Nestas obras a construção é feita com os pneus inteiros, colocando-os enfileirados, amarrados e com

preenchimento entre seus vãos. Este procedimento de contenção de taludes agrega um efeito mecânico bom e de baixo custo e ainda diminui o impacto ambiental (MEDEIROS *apud* CARMO, 2009).

Figura 3: Pneus utilizados para contenção.



Fonte: Silva, 2014.

As obras na área da construção civil utilizam quantidades amplas de materiais com elevado peso específico e baixo valor do agregado. É crescente o uso de resíduos de materiais que são descartados no meio ambiente. Esta prática de reaproveitamento gera um desenvolvimento tecnológico (GRANZOTTO, 2010).

2.1.3 Concreto com adição de fibras de aço

Segundo Viera (2014), na área da construção civil o material mais utilizado é o concreto, que por sua qualidade traz vários benefícios para a construção de obras na área. O concreto apresenta uma ótima resistência a agentes como água e fogo e alta durabilidade quando submetido a lugares que possuem fatores agressivos. Entretanto, o concreto pode apresentar algumas patologias, como fissuração e ruptura devido à fragilidade do material. Diante dessa fragilidade houve a possibilidade de reforçar o mesmo com fibras de aço para que pudesse ajudar a corrigir esses problemas.

O concreto com adição de fibras de aço é de fácil aplicação, assim como o concreto convencional. Com esse reforço de fibras de aço, o emprego como armação e montagem serão

excluídas, pois o mesmo apresenta uma maior facilidade na sua execução, eliminando assim espaços para que essa armadura seja montada *in loco*, proporcionando um aumento na questão de tempo. Devido a esses motivos, o uso de concreto reforçado com fibras de aço está aumentando sucessivamente no Brasil e também em outros países no mundo (FIGUEIREDO, 2011).

O CRF (Concreto Reforçado com Fibras) possui em sua composição cimento, agregado miúdo e graúdo, água e fibras. Em relação às fibras, as mesmas podem possuir tamanhos e formas variadas, constituente de aço, plástico, vidro e outros materiais, e são geralmente empregadas em peças estruturais, sendo que a mais utilizada para o concreto é a fibra de aço (MEHTA *et al*, 2008).

O autor ainda comenta que a utilização das fibras de aço no concreto pode ser relacionada a um contexto histórico, pois os egípcios utilizavam palha para reforçar as paredes de barro, assim como o pássaro João de Barro, que aproveita palha e barro para a realização de seus ninhos.

Para Franco (2008), o concreto apresenta uma fragilidade e com a adição das fibras o intuito é de diminuir as fissuras formadas no concreto convencional, já que essas fissuras são causadas através dos carregamentos exercidos e os efeitos quanto à temperatura e retração do concreto. A fibra modifica o desempenho do concreto, aumentando sua capacidade resistente e sua tenacidade, transformando esse composto em um material durável. Com a utilização de fibras a área da construção civil recebe benefícios quanto à tecnologia e à economia, quando relacionada a algumas aplicações, sendo elas em pisos, concreto projetado e pré-fabricados.

Porém, deve-se ressaltar que as fibras para reforço do concreto não suprem os reforços convencionais, uma vez que os elementos conseguem satisfazer todos os esforços necessários na matriz do concreto, desde que todas as normativas para sua fabricação sejam seguidas, neste caso a fibra de aço e algumas aplicações servem para aumentar o desempenho da estrutura do mesmo (BRAZ *et al*, 2015).

2.1.3.1 Matriz do concreto

Segundo Neville (1997), o concreto possui em sua composição materiais como cimento, areia, agregados e água, formando uma mistura homogênea e podem ser usados alguns aditivos para melhorar questões quanto trabalhabilidade. Esta mistura é a mais utilizada na área da construção civil.

O mesmo autor ainda comenta que a mistura do concreto deve possuir uma ótima consistência para que seja transportado, lançado e adensado, aumentando e influenciando o grau de adensamento, que é um dos fatores importantes para a resistência do concreto.

Figueiredo (2011), relata que o concreto é um material exclusivo, geralmente executado por engenheiros civis, atendendo às normativas da engenharia em questão de aplicação e comportamento no seu estado endurecido. É possível alcançar uma maior variação de características, correspondente aos tipos de elementos e suas dimensões, bem como o emprego de aditivos e adições para melhor desempenho e trabalhabilidade do mesmo.

No entanto, pode-se ressaltar que para que o concreto atenda a todas as normativas e tenha um bom desempenho de resistência à compressão axial, tração a flexão e módulo de elasticidade, os materiais utilizados e que compõem o mesmo são importantes para que possa ter uma mistura de qualidade.

Mehta *et al* (1994) comenta que:

Em geral o cimento Portland possui reações de hidratação dos aluminatos e são responsáveis pelo enrijecimento (perda de consistência) e pela pega (solidificação) da pasta de cimento, enquanto que os silicatos, que compõem aproximadamente 75% do cimento comum, são fundamentais no processo de endurecimento da pasta (MEHTA *et al*, 1994).

Para os agregados, Mehta *et al* (1994), diz que as propriedades dos agregados são indispensáveis, para a tecnologia na fabricação do concreto, pois os mesmos apresentam porosidade, resistência à compressão, tração, módulo de elasticidade, composição granulométrica e algumas substâncias nocivas. É possível verificar as características dos agregados através da natureza mineralógica da rocha, que pode ser afetada durante seu desenvolvimento, de situações de exposição que as rochas foram expostas para a formação do agregado e dos tipos de manuseio de equipamentos para sua produção.

A função da água no concreto é de extrema necessidade para que possam ocorrer reações de hidratação do cimento, aumentando a plasticidade da mistura presente desde o início de fabricação. Lembrando que a adição de água depende basicamente de condições ambientais, pois em alguns momentos são utilizadas quantidades menores de água e, em outros momentos as quantidades são maiores, lembrando que os poros não devem estar vazios e a mistura sempre saturada (MEHTA *et al*, 2008).

Com o avanço de tecnologias o concreto foi sendo aperfeiçoado e ainda vem sendo estudado para que se possam obter melhores características do mesmo e obtenção de propriedades para as suas aplicações, trazendo novas vantagens e adições para melhorar o desempenho do mesmo (RABELO *et al*, 2013).

2.1.3.2. Interação fibra de aço-matriz cimentícia

Para Figueiredo (1997), o concreto, quando reforçado de fibras de aço, possui uma resistência devido módulo de elasticidade apresentar valores elevados, diminuindo assim as fissuras que o concreto convencional pode provocar. As fibras de aço possibilitam uma distribuição de forças no concreto quando empregada em teores reduzidos e utilizada principalmente em pavimentos, calçadas e para a construção de túneis como revestimento.

O mesmo autor ainda comenta que o concreto apresenta um comportamento suscetível ao agrupamento de tensões que podem gerar fissuras no mesmo, tornando o material frágil devido ao aumento das tensões exercidas. No concreto convencional simples, a fissura corresponde a uma barreira de alastramento de tensões.

Com a adição de fibras de aço no concreto ocorre um comportamento de eficiência de durabilidade pós-fissuração, diminuindo questões quanto à velocidade e ao surgimento de fissuras no concreto em fase endurecido (FIGUEIREDO, 2011).

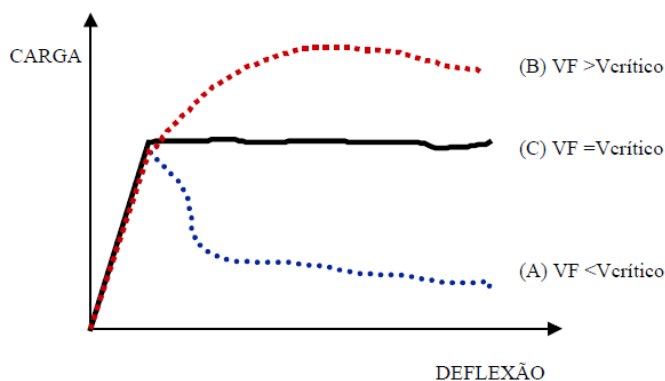
Para Figueiredo (2011), o nível de tensões das fibras transportadas pela fissuração depende de alguns elementos que as fibras apresentam como comprimento e teor de fibras. E para um maior entendimento desses elementos apresentados, pode ser explicada a importância de volume crítico das fibras.

Figueiredo *apud* Garcez (2005), comenta que o volume crítico se define através do teor de fibras, que sustenta a mesma eficiência portante para o composto diante do faturamento da matriz do concreto, isto é, embaixo do volume crítico no tempo para que se tenha a fratura da matriz acontece basicamente uma diminuição de cargas que o composto de concreto tem para suportar. Por cima do volume crítico o composto aceita ainda alguns níveis de carregamentos que vão aumentando gradativamente mesmo depois que acontece o faturamento da matriz.

Para estes ensaios, a Figura 4 apresenta as curvas de carga para concretos com adição de fibras de aço rompidas a flexão, onde se encontra um trecho elástico linear semelhante à pré-fissuração e parecido a um nível de escoamento, onde se podem diferir os

comportamentos de teores por cima e embaixo do volume crítico (FIGUEIREDO, *apud* GARCEZ, 2005).

Figura 4: Compósitos com adição de fibras em teores A (abaixo), B (Acima) e C que corresponde ao Volume Crítico, durante o ensaio de tração na flexão.

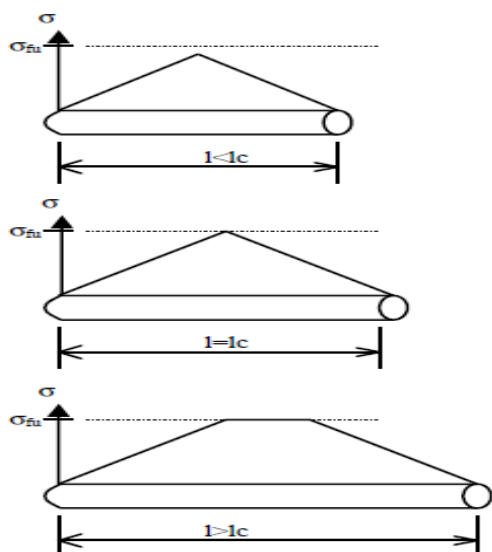


Fonte: Figueiredo, 2000.

Para o comprimento da fibra adicionada à matriz do concreto esse comprimento (l) é maior que o comprimento crítico (l_c), ocorrendo com a fibra um travamento, que impede o arrancamento e ocorre o aumento de tensão onde a mesma atua, até chegar a tensão de ruptura. Como a fissura da fibra está envolvida ao mínimo consumo de energia que o seu arrancamento a diminuição da energia envolvida no procedimento de ruptura do concreto acaba tornando o material mais frágil (GARCEZ, 2005).

Na Figura 5 são apresentadas as distribuições de tensão nas fibras em relação ao comprimento crítico, onde, $l = l_c$, $l > l_c$ e $l < l_c$.

Figura 5: Distribuições possíveis de tensão ao longo de uma fibra através do comprimento crítico (l_c).



Fonte: BENTUR e MINDESS, 1990.

Figueiredo (2011), comenta ainda sobre a seção transversal da fibra na matriz do concreto que quanto menor for esta seção transversal, menor será a força que a fibra irá suportar durante a fase de arrancamento. Isso provocará uma mudança no desempenho pós-fissuração do concreto.

2.1.3.3 Influência da adição de fibras de aço nas propriedades do concreto fresco

Para o concreto com adição de fibras no estado fresco, um dos efeitos que mais apresentam alteração é do da trabalhabilidade, que será reduzida. Essa diminuição é interferida pelo traço que o concreto apresenta e pela forma, geometria e quantidade de adição da fibra de aço. Devido às fibras agirem como uma adição inativa, provoca-se na mistura de concreto um travamento, onde podem ser feitos alguns ajustes nas matrizes de concreto que apresentarem este travamento para garantir as propriedades homogêneas ao compósito (ACI *apud* Garcez 2005).

Para Garcez (2005), o traço do concreto reforçado com fibras de aço deve ser feito de maneira que a trabalhabilidade do mesmo seja de ótima qualidade, para o seu lançamento, adensamento e acabamento. Os concretos com adição de fibras de aço podem oferecer uma propensão de agrupamentos de fibras de aço. Esses agrupamentos enfraquecem o composto, pois onde a nata de cimento penetre em seu meio. Isto ocorre devido à fração volumétrica da fibra de aço e a maneira com que ela é adicionada no composto.

Há algumas características importantes na propriedade do concreto com adição de fibras no estado fresco, como consistência, plasticidade e trabalhabilidade (ONUKEI *et al*, 2011).

Para a determinação da consistência do concreto fresco é realizado o ensaio de Abatimento do Tronco do Cone, que proporciona dados quanto à fluidez do composto, para que assim tenha-se uma influência sobre a uniformidade do material. A composição do concreto, granulometria de agregados e quantidade de água, ou seja, o traço do concreto são o que definem a consistência e trabalhabilidade do mesmo, salientando que para a fabricação de concreto além de seu traço definido, poderão ser adicionados aditivos para melhorar o seu desempenho (ONUKEI *et al*, 2013).

Para Martins (2008), a plasticidade é uma das características do concreto fresco distinguido pela facilidade que o mesmo apresenta para ser moldado sem ser rompido. Para isso o concreto necessita basicamente de uma textura e do grau de coesão entre os materiais

que compõem o concreto. Sendo assim, ocorre a segregação quando o concreto não apresentar coesão, onde os elementos se afastam.

Devido aos problemas causados durante o transporte, lançamento do concreto, adensamentos, vibrações em grande quantidade e ação da gravidade, acabam causando a segregação que é onde os agregados ficam retidos no fundo e a pasta de cimento submersa (ONUKI *et al*, 2013).

A trabalhabilidade é caracterizada pelo grau de consistência do concreto fresco, onde se identifica sua menor e maior capacidade empregada, sem que o concreto perca sua homogeneidade (GUERRA, 2013).

2.1.3.4 Influência da adição de fibras de aço nas propriedades do concreto endurecido

Para o estado endurecido do concreto, o desempenho das fibras é determinado pela sua capacidade de resistir a esforços. Para se determinar a tenacidade de concretos com adição de fibras de aço são utilizados alguns ensaios como tração na flexão das vigas e alguns sistemas, que podem ser usados para definir sua quantidade adequada (GARCEZ, 2008).

Para Velasco (2008), o intuito de se utilizar fibras de aço no concreto é de melhorar as propriedades mecânicas do mesmo quanto às propriedades de deformação. A fração volumétrica, geometria, resistência e módulo de elasticidade são contribuintes para a alteração destas propriedades mecânicas. Ao adicionar as fibras de aço no composto de concreto ocorre uma modificação, especialmente onde ocorre a pós-fissuração.

Com a adição de fibras de aço, a resistência à compressão não será muito afetada no caso do concreto em estado endurecido. Os acréscimos de resistência podem chegar até 25%, sendo que não é classificado como maior reforço com fibras, onde os incrementos de resistência à compressão no concreto com adição de fibras de aço seja menor que a resistência e a flexão que apresenta altos valores de resistência (GARCEZ, 2005).

Bentur *apud* Garcez (2005), comenta que assim como na resistência a compressão, a resistência à tração no concreto com adição de fibras de aço no estado endurecido recebe uma adição no comportamento pós-fissuração no concreto, ou seja, um acréscimo na tenacidade do mesmo.

Garcez (2005), comenta sobre o conceito de tenacidade:

As restrições à abertura e propagação das fissuras promovidas pelas fibras alteram os diagramas tensão x deformação dos compósitos gerados, resultando no aumento da absorção de energia durante o processo de faturamento do mesmo. Salientado, o conceito de tenacidade expressa energia de trabalho até a ruptura, representada pela área sob a curva tensão x deformação (GARCEZ, 2005).

As fibras de aço são utilizadas para contribuir no concreto onde servem para resistir esforços e também podem suprir totalmente os estribos ou parcialmente, gerando uma economia para a produção do concreto armado (EL-NIEMA, 1993).

2.1.3.5. Fibras de aço segundo a NBR 15530 (ABNT, 2007)

A NBR 15530 determina especificações de classificação para as fibras de aço com pouco teor de carbono, podendo determinar a geometria, tolerância dimensionais, resistência à tração, dobramento e defeitos de aplicação das mesmas, sendo que para fibras revestidas ou produzidas de aços específicos com teores de carbono na norma não se aplica. Basicamente a contribuição desta NBR é a apresentação de uma categorização para as fibras de aço relacionando-as com os requisitos e tolerâncias do material. (ABNT, 2007).

As fibras de aço são classificadas pela NBR 15530 – Fibras de aço para concreto, e são determinadas três tipos principais A, C e R de fibras de aço em função de sua geometria. O Tipo A são fibras de aço com ancoragens nas extremidades, já o Tipo C são fibras de aço corrugado e Tipo R que são fibras de aço retas. São determinadas as fibras também através de sua classe quanto ao procedimento de produção. A Classe 1 determina uma fibra oriunda de arame trefilado a frio. Na Classe 2 a fibra oriunda de chapa laminada, cortada a frio, e a Classe 3 a fibra oriunda de arame trefilado e escarificado (ABNT, 2007).

Estas classificações também determinam a forma da seção transversal e possibilitará situações que definam as condições geométricas das fibras junto com os níveis mínimos de resistência do aço. Embora essas especificações não possam determinar as fibras em função do seu desempenho, sua tenacidade e trabalhabilidade (FIGUEIREDO *et al*, 2008).

As fibras de aço precisam ser fabricadas com materiais corretos para que atendam aos requisitos que a NBR 15530 especifica e que se enquadrem no grupo quanto à classe e tipo de geometria como mencionados na Tabela 1, que determina o fator de forma mínimo (λ) e o

limite de resistência à tração do aço f_u (MPa) e Tabela 2 que indica a geometria da fibra (ABNT, 2007).

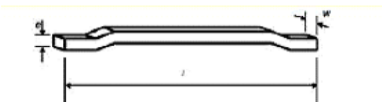
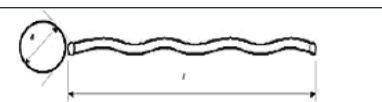
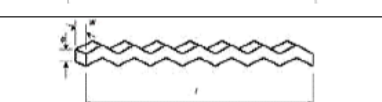
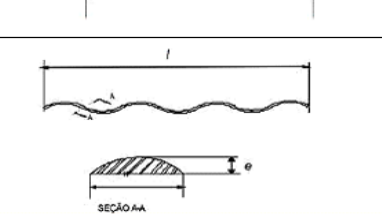
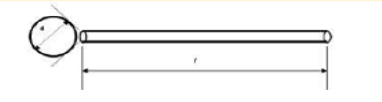
Tabela 1: fator de forma mínimo (λ) e o limite de resistência a tração do aço f_u (MPa).

Tipo (geometria)	Classe da fibra	Fator de forma mínimo λ	Limite de resistência à tração do aço f_u MPa (*)
A	I	40	1 000
	II	30	500
C	I	40	800
	II	30	500
	III	30	800
R	I	40	1 000
	II	30	500

(*) Esta determinação deve ser feita no aço, no diâmetro equivalente final imediatamente antes do corte.

Fonte: ABNT, 2007.

Tabela 2: Classificação e geometria das fibras de aço para reforço de concreto.

Tipo (geometria)	Classe da Fibra	Geometria
A	I	
	II	
C	I	
	II	
	III	
R	I	
	II	

Fonte: Autor, 2017.

A NBR 15530 também determina questões quanto à resistência ao dobramento através do ensaio que a própria norma preconiza e a conferência dos defeitos que ocorrem pelos cortes na região da ancoragem da fibra, tendo que a norma apenas demonstra um controle dessas características (FIGUEIREDO *et al*, 2008).

A Tabela 3 demonstra os tipos de ensaios avaliados a partir de uma amostra mínima, apresentando uma conformidade com as exigências estabelecidas para resistência.

Tabela 3: Especificação da porcentagem de fibras através da amostragem mínima.

Ensaio	Amostragem mínima	Porcentagem mínima de fibras conformes
Dobrimento	10 fibras	90
Verificação dimensional	60 fibras	90
Verificação de defeitos	200 g	95

Fonte: ABNT, 2007.

2.1.4 Estudo da Utilização da Fibra de Aço Reciclada de Pneu

Para Vieira (2014), os estudos excetuados em concretos com adição de fibras de aço de pneu apresentam um aperfeiçoamento nas propriedades da resistência à compressão axial e à tração, sendo que em concretos convencionais não apresentam tal resistência.

Para Papakonstantinou *et al*, (2006), no aumento da quantidade de esferas de aço ocorre uma diminuição na trabalhabilidade e densidade, sendo adicionados aproximadamente 4% de volumes.

Com adições de 2% de esferas de aço no concreto ocorre uma redução na resistência à compressão, sendo que a sua ductilidade aumenta cerca de 20%. O concreto apresentou maior resistência na tensão, sendo que quando ocorre a segregação se diminuem as forças lineares do mesmo (PAPAKONSTANTINO *et al*, 2006).

Já para Viera (2014), os concretos com adição de fibras de aço alcançaram resistências a compressão cerca de 15 a 20 MPa, e poder ser utilizados para fabricações de lajes. No caso da resistência à tração, o concreto com adição no estado endurecido apresentou uma quantidade menor de fissura após o rompimento do corpo de prova, sendo que o concreto convencional apresentou maior fissuração.

O concreto reforçado com fibras de aço pode ser utilizado para a fabricação de blocos para pavimentação quando provenientes a receber cargas leves, eliminando os pneus

inservíveis no meio ambiente e tornando o material sustentável para a área da construção civil (VIEIRA, 2014).

Para Figueiredo (2011), o uso de fibras de aço no concreto vem aumentando progressivamente no Brasil e no mundo, podendo ser aplicados na fabricação de pavimentos industriais, em concretos projetados e pré-moldados, devido apresentarem ótimas resistências, conforme indica os estudos.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo

Tratou-se de um estudo quantitativo de resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão, por meio de levantamento de dados através de ensaios laboratoriais, para determinar a capacidade resistente de concretos com adição de fibra de aço reciclada de pneu e fibra de aço industrializada.

Para a construção de novas hipóteses, o estudo foi baseado em bibliografias já existentes que serviram como instrumento auxiliar, ampliando o conhecimento na área analisada e sobre as normativas regulamentadoras, buscando a melhor qualidade do concreto (KOCHE, 2011).

O levantamento de dados teve como finalidade verificar se o concreto encontrou-se dentro das normativas para uso, ressaltando que, com a reutilização do pneu diminui-se o uso em excesso.

Dessa forma, entende-se que esse estudo é um instrumento que propõe minimizar os problemas ambientais e tornar o material utilizado sustentável e apto a retornar para o meio ambiente sem maiores prejuízos.

Todo procedimento experimental foi desenvolvido no Laboratório de Ensaios Mecânicos e Construção Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz em Cascavel - PR.

3.1.2 Caracterização da amostra

No primeiro momento da pesquisa foram realizados ensaios nos materiais que compõem parte da composição do concreto, para a caracterização dos mesmos. Para a produção dos concretos foi utilizado cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, água e as fibras de aço recicladas de pneus e industrializadas.

3.1.2.1 Cimento Portland

O Cimento Portland utilizado foi o CP-II-Z-32 disponível na região do Paraná, classe de resistência utilizada 32 MPa. Este cimento é utilizado em obras em geral, para a fabricação e argamassas, concretos simples, armado e protendido, tendo em vista que o concreto que tem em sua composição este tipo de cimento torna-se mais impermeável e em função disso mais durável e as suas propriedades químicas, físicas e mecânicas definidas conforme especificações na NBR 11578 – Cimento Portland Composto (ABNT, 1991).

3.1.2.2 Agregados

A norma NBR 7211 – Agregados para concreto: Especificação (ABNT, 2009) estabelece os requisitos exigíveis para o recebimento e a produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concreto de cimento Portland e define os ensaios de caracterização necessários aos dois tipos de agregado, bem como os valores aceitáveis para cada análise.

Os agregados miúdos e graúdos utilizados na produção dos concretos foram os disponíveis na região.

Para a determinação da composição granulométrica de areia e brita, foram utilizados os recursos da NBR NM 248, que tem por objetivo descrever e mostrar os métodos para se determinar a granulometria dos agregados miúdos e graúdos para concreto (ABNT, 2003). E a NBR 7211, que tem como objetivo aportar às condições que são exigidas para atender e produzir agregados miúdos e graúdos destinados à fabricação de concretos. Sabendo que os agregados são identificados como graúdos e miúdos, servindo de definição que agregados graúdos ficam retidos na peneira 4,8 mm e agregados miúdos passam pela peneira 4,8 mm (ABNT, 2005).

Primeiramente foram separadas as amostras de agregado graúdo e miúdo para a realização do ensaio de granulometria. Em seguida, foram colocadas na estufa por aproximadamente 24 horas. Depois da retirada da estufa, as amostras foram colocadas nas peneiras que foram limpas anteriormente e acomodadas, formando um único composto de peneiras e foi feita a agitação.

Foi utilizada brita 1 (um), proveniente de uma empresa privada de Cascavel, no estado do Paraná, para a realização do ensaio e obteve-se os seguintes valores apresentados na Tabela 4, com peneiras de série normal e intermediária.

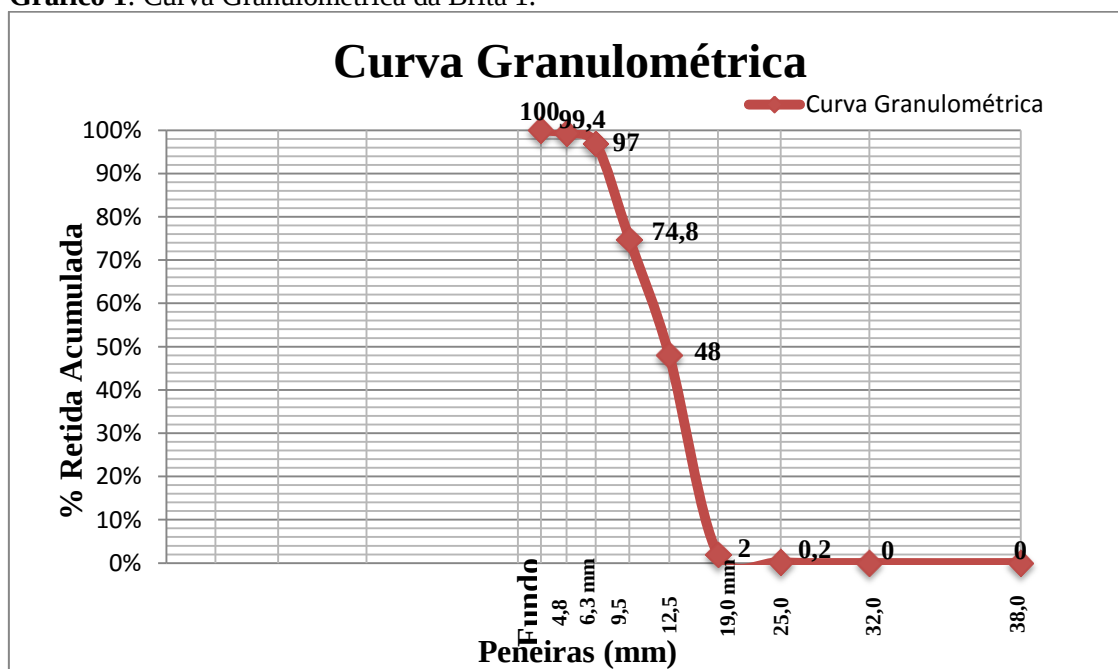
Tabela 4: Análise Granulométrica da Brita.

Análise Granulométrica Brita 1				
Amostra (Kg)		5		
Denominação	Abertura (mm)	Massa (Kg)	% Retida	% Retida Acumulada
1.1/2"	38	0,00	0	0
	32	0,00	0	0
	25	0,01	0,2	0,2
3/4"	19	0,09	1,8	2
1/2"	12,5	2,3	46	48
3/8"	9,5	1,34	26,8	74,8
1/4"	6,3	1,11	22,2	97
Nº 4	4,8	0,12	2,4	99,4
Fundo		0,02	0,4	100

Fonte: Autor, 2017.

No Gráfico 1, se apresenta a relação entre as peneiras (mm) e porcentagem retida acumulada, determinando a curva granulométrica do agregado graúdo.

Gráfico 1: Curva Granulométrica da Brita 1.



Fonte: Autor, 2017.

A areia utilizada para o procedimento de análise granulométrica também é proveniente da mesma empresa de Cascavel – PR. Por meio do ensaio pode-se obter tais valores, conforme a Tabela 5.

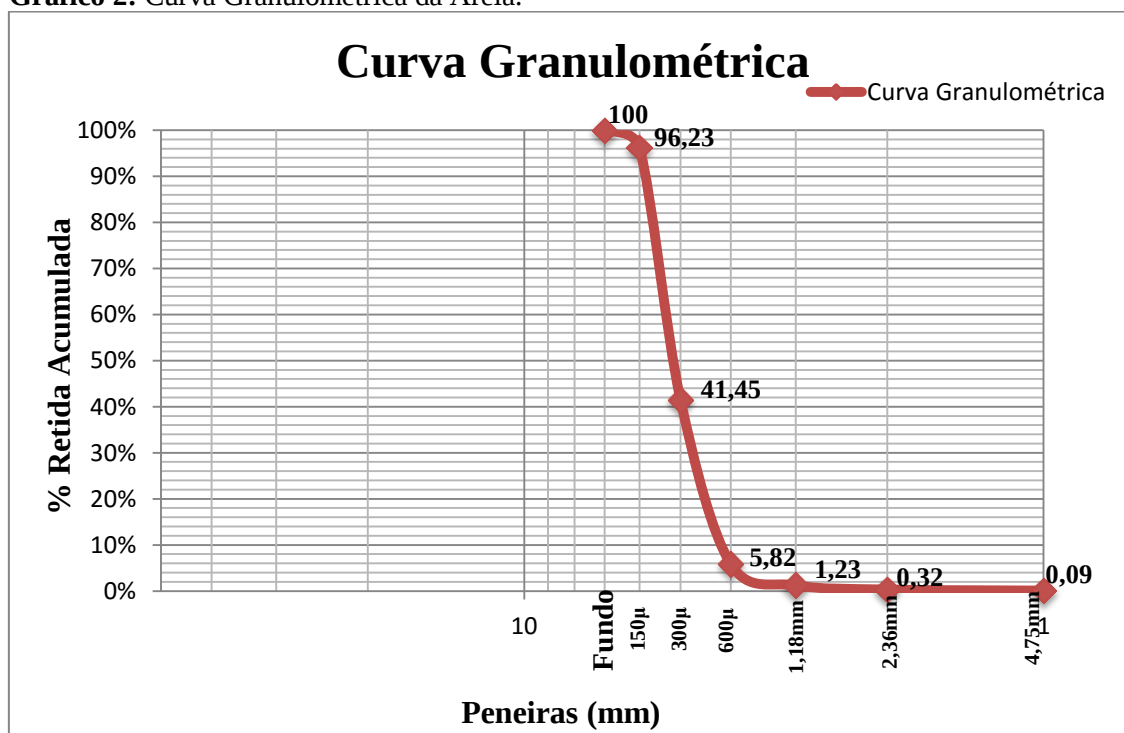
Tabela 5: Análise Granulométrica da Areia.

Análise Granulométrica Areia			
Amostra (g)	300		
Peneira	Massa (g)	% Retida	% Retida Acumulada
4,75	0,26	0,09	0,09
2,36	0,69	0,23	0,32
1,18	2,73	0,91	1,23
600μ	13,78	4,59	5,82
300μ	106,87	35,62	41,45
150μ	164,35	54,78	96,23
Fundo	10,52	3,51	100,00

Fonte: Autor, 2017.

No Gráfico 2, observa-se a relação entre as peneiras (mm) e porcentagem retida acumulada, determinando a curva granulométrica do agregado miúdo.

Gráfico 2: Curva Granulométrica da Areia.



Fonte: Autor, 2017.

Considerando as propriedades granulométricas dos materiais empregados, percebe-se pelas curvas granulométricas, materiais com granulometria contínua, qualidade importante para a produção do concreto. Os agregados miúdos e graúdos que apresentam granulometria contínua possuem boa qualidade e podem ser empregados em obras por meio de bombeamento (NEVILLE, 1995).

Para a determinação da massa específica e massa específica aparente do agregado miúdo, foi utilizada como recurso a NBR NM 52. A mesma institui o método de determinação da massa específica e da massa específica aparente dos agregados miúdos empregados em concreto (ABNT, 2002).

Segundo a ABNT NM 52 (2002):

Massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. Massa específica aparente é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis. Massa específica relativa é a relação entre a massa da unidade de volume de um material, incluindo os poros permeáveis e impermeáveis, a uma temperatura determinada, e a massa de um volume igual de água destilada, livre de ar, a uma temperatura estabelecida (ABNT, 2002).

Primeiramente colocou-se a amostra de agregado miúdo em um frasco e cobriu-a com água, que por sua vez ficou em repouso por 24 horas. Em seguida a amostra foi submetida a uma atuação leve de corrente de ar em plano para garantir a secagem uniforme. Colocou-se o agregado em um molde para ser comprimido com 25 golpes de soquete e então, em seguida, levantou-se o molde para determinar se ainda possuía umidade superficial no agregado. Foram feitas algumas secagens até que com a retirada do molde o agregado desmoronou. Neste caso o agregado miúdo chegou à sua superfície seca.

Após a realização do ensaio especificado pela NM 52, determinou-se a massa específica e massa específica aparente do agregado miúdo com uma amostra de 500 gramas, através do ensaio e pelas Equações 1 e 2.

$$V_a = \frac{m_1 - m_2}{\gamma_a} \quad (1)$$

Onde:

V_a = é o volume de água adicionada ao frasco (cm^3 ou m^3);

m_1 = é a massa do conjunto (frasco + agregado) (g);

m_2 = é a massa total (frasco + agregado + água) (g);

γ_a = é a massa específica da água (g/cm^3).

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (2)$$

Onde:

d_1 = é a massa específica do agregado saturado superfície seca (g/cm^3);

m = é a massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

V = é o volume do frasco (cm^3);

V_a = é o volume de água adicionada ao frasco (cm^3).

Através do cálculo obteve-se o valor de massa específica de $2,82 \text{ g}/\text{cm}^3$

Para a determinação da massa específica e massa específica aparente do agregado gráudo, utilizou-se como base a NBR NM 53, que constitui o método de caracterização da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água dos agregados gráudos, na espécie saturada na superfície seca, designados ao uso em concreto. (ABNT, 2009).

Inicialmente pesou-se, foi adicionado uma quantidade de água até que submergisse à amostra por completo, deixando-o em estufa por 24 horas. Após a retirada da estufa deixou a amostra esfriar até uma temperatura considerada ambiente para seu manuseio. Assim e em seguida é pesada a amostra do agregado seco.

Posteriormente a realização do ensaio caracterizado pela NM 53, se definiu a massa específica e massa específica aparente do agregado gráudo com uma amostra de 3000 gramas, através do ensaio e pelas Equações 3 e 4.

$$d = \frac{m}{m - m_a} \quad (3)$$

Onde:

d = é a massa específica do agregado seco (g/cm^3);

m = é a massa ao ar da amostra seca(g);

m_a = é a massa em água da amostra (g).

Com o desenvolvimento do cálculo obteve-se um valor de massa específica do agregado seco de 3,29 g/cm³.

$$da = \frac{m}{ms - ma} \quad (4)$$

Onde:

da = é a massa específica aparente do agregado seco (g/cm³);

m = é a massa ao ar da amostra seca (g);

ma = é a massa em água da amostra (g);

ms = é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca (g).

A massa específica aparente do agregado seco foi de 2,64 (g/cm³) após a realização do cálculo.

Para a determinação da absorção dos agregados miúdos e graúdos foram utilizados recursos da NBR NM 30 Agregado miúdo - Determinação da absorção de água e NBR NM 53 Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

A NBR NM 30 especifica o procedimento de determinação da absorção de água dos agregados miúdos, na qualidade saturados superfície seca, designados a fabricação de concretos (ABNT, 2001). Assim como a NBR NM 53 estabelece a determinação para a absorção de água do agregado graúdo (ABNT, 2009).

Para a NBR NM 30 (2001), define absorção como sendo um sistema no qual um líquido é transportado até completar os poros permeáveis de um componente sólido poroso, ou seja, a penetração que um líquido em poros de um objeto sólido relacionado com sua massa em estado seco.

Antes de tudo foi separada a amostra em um frasco e levado à estufa para a secagem até que se obteve uma diferença de massa menor que 0,1 gramas nas determinações. Em seguida a amostra foi colocada em água até ficar submerso em água por 24 horas. Em seguida a amostra foi submetida a uma atuação leve de corrente de ar, em plano, para garantir a secagem uniforme. Colocou-se o agregado em um molde para ser comprimido com 25 golpes de soquete e então levantou o molde para determinar se ainda possui umidade superficial no agregado, foram feitas algumas secagens até que com a retirada do molde o agregado desmoronou e, neste caso, o agregado miúdo chegou à sua superfície seca.

A determinação de absorção de água dos agregados se dá através da Equação 5.

$$A = \frac{ms-m}{m} * 100 \quad (5)$$

Onde:

A = é a absorção de água (%);

ms = é a massa ao ar da amostra na condição saturada e de superfície seca (g);

m = é a massa da amostra seca em estufa (g).

Os valores obtidos para absorção da água dos agregados graúdos e miúdos foram de 7,47% e 2,39%, respectivamente.

Foram usados como referências na determinação da umidade dos agregados miúdos e graúdos a NBR 9775 Agregados - Determinação da umidade superficial em agregados miúdos e a NBR 9939 Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo.

Umidade é a água favorável que envolve os grãos do agregado a sua superfície. Desta maneira deve-se analisar a quantidade de água entre os grãos para que se possa corrigir a quantidade de água utilizada no traço para a fabricação do concreto, fazendo com que haja uma confirmação entre a relação água/cimento do concreto (ABNT, 1987).

Primeiramente pesou a amostra úmida, em seguida foi colocado em um recipiente e levado para estufa durante 24 horas em temperatura de 105 °C e 110 °C, após secagem pesou-se novamente a amostra no estado seco.

Para essa determinação foram utilizados os ensaios especificados por norma utilizando especificamente 1000 gramas de agregado miúdo e 3000 granas de agregado graúdo e conforme obtidos os valores dos mesmos obteve-se a Equação 6.

$$U = \frac{mi-mf}{mi} * 100 \quad (6)$$

Onde:

U = Umidade do Agregado (%);

mi = Massa inicial antes da estufa (g);

mf = Massa final após retirada da estufa (g).

As umidades dos agregados graúdos e miúdos foram de 1,02% e 1,87%, respectivamente.

3.1.2.3 Água

A água utilizada na pesquisa para a dosagem dos traços de concreto é proveniente da rede de abastecimento da cidade de Cascavel/PR.

3.1.2.4 Fibras de aço

O resíduo de aço de pneu estudado nesta pesquisa é procedente de uma empresa de reciclagem de pneus localizada na cidade de Cravinhos, no estado de São Paulo. Já a fibra de aço industrializada proveniente da empresa Maccaferri da cidade de Curitiba-PR com 33 milímetros de comprimento e 0,75 milímetros de espessura.

As fibras utilizadas para a fabricação dos concretos foram especificadas conforme a NBR 15530/2007 – Fibras de aço para concreto – Especificação.

A fibra de aço industrializada foi especificada segundo a NBR 15530 – Fibras de aço para concreto, onde a mesma foi identificada como Tipo A – com ancoragem nas extremidades e Classe I – fibra oriunda de arame trefilado a frio, as fibras A-I são especificadas pelo diâmetro equivalente (d_e) e comprimento total (l) conforme a Figura 6 (ABNT, 2007).

Figura 6: Fibras de Aço Industrializada A-I.



Fonte: Autor, 2017.

A fibra de aço de pneu reciclado foi especificada segundo a NBR 15530 – Fibras de aço para concreto, onde a mesma foi identificada como Tipo R – Reta (sem ancoragem nas extremidades) e Classe I - fibra oriunda de arame trefilado a frio, as fibras R-I são especificadas pelo diâmetro equivalente (d_e) e comprimento total (l) conforme a Figura 7 (ABNT, 2007).

Figura 7: Fibra de Aço de Pneu Reciclado R-I.



Fonte: Autor, 2017.

As fibras especificadas possuem como valor de fator de forma mínimo (λ) igual a 40 e limite de resistência de tração do aço (f_u) de 1000 MPa (ABNT, 2007).

3.1.3 Traço do Concreto

O traço unitário empregado nesta pesquisa foi baseado em Peres (2013), sendo 1 : 2,5 : 3, 5 e relação água / aglomerante de 0,52, para se obter uma resistência de 30 MPa, aos 28 dias. A tabela 6 indica a quantidade de materiais por metro cúbico de concreto.

Tabela 6: Consumo de materiais (kg/m³).

Cimento	330,45
Areia	825,71
Brita	1155,99
Água	172,58

Fonte: Peres, 2013.

Foram realizadas cinco concretagens sendo elas de 1,5% e 3% de adição de fibra de aço industrializada, 1,5% e 3% de adição de fibras de aço de pneu reciclado e uma amostra de concreto convencional sem adições. Totalizou cerca de 154, 31 litros de concreto, sendo utilizados 51,99 quilogramas (Kg) de cimento, 129,90 quilogramas (Kg) de areia, 181,86 quilogramas (Kg) de brita, 5,86 quilogramas (Kg) de fibra de aço de pneu reciclado e fibra de aço industrializada com porcentagem de 1,5 % e 11,73 quilogramas (Kg) de fibra de aço de pneu reciclado e fibra de aço industrializada com porcentagem de 3%.

3.1.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

Para a moldagem e cura dos corpos de prova foi utilizada a NBR 5738 – Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, que tem por objetivo de descrever o procedimento de moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos (ABNT, 2016).

A mistura dos concretos foi realizada com o auxílio de uma betoneira de eixo inclinado, a qual seguiu a ordem de colocação conforme descrito nos itens a seguir:

- 100 % do agregado graúdo;
- 50 % da água de amassamento;
- 100 % de cimento;
- 100 % do agregado miúdo;
- 50 % da água de amassamento;
- Fibra de aço.

Após a colocação de todo material, a mistura foi agitada por aproximadamente cinco minutos. Ao finalizar o processo de mistura, foi realizado o controle da consistência do concreto, conforme determina a NBR NM 67 - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998), conforme a Figura 8.

Segundo Almeida (2002), a trabalhabilidade do concreto explica as propriedades características da mistura fresca comparadas com a mobilidade da massa e a coesão entre os materiais que compõem o concreto, considerando a uniformidade e a capacidade do mesmo.

Os procedimentos para transporte, lançamento e adensamento do concreto possibilita uma massa homogênea e sem vazios.

Segundo a NBR NM 67 (1998) utilizado um molde feito de metal de forma de um tronco de cone oco, deve possuir as bases abertas e paralelas onde os eixos formem ângulos retos, em sua parte superior apresenta duas alças e na sua parte inferior possui uma base para que ao realizar o ensaio o mesmo não se movimente antes da retirada da amostra. Possui também uma haste para a compactação do concreto no cone de seção circular feita de aço e bordas arredondadas e uma placa de apoio para o molde de cone de forma quadrada ou retangular para que a amostra fique em um local plano.

Após a fabricação de todos os concretos convencional e com adição de fibra de aço de pneu reciclado e fibra de aço industrializada com porcentagens de adição de 1,5% e 3% e concreto convencional foram feitos os testes de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone ou também chamado de *Slump test*.

Primeiramente foi colocada a placa de apoio com o molde de cone onde se firmou com os pés nas bases da parte inferior para não se movimentar a amostra, em seguida coloca uma camada e para a compactação se usou a haste realizando 25 golpes, realizou esse procedimento mais duas vezes até preencher todo cone, na superfície do cone foi usada a desempenadeira para rasar a superfície. Após foi retirado o cone e com uma régua mediu-se a diferença entre a altura do molde e a altura da amostra, determinando assim sua consistência, conforme Figura 8.

Figura 8: Consistência do concreto.



Fonte: Autor, 2017.

No desenvolvimento deste estudo foram utilizados os corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, onde os planos da extremidade circular necessitam ser perpendiculares ao eixo longitudinal do molde e corpos de prova prismáticos de dimensões de 15 cm de largura, 15 cm de altura e 45 cm de comprimento, com superfícies lisas e sem saliências, no total foram moldados 30 corpos de prova.

Para a realização dos ensaios foram moldados para cada concreto analisado, 06 (seis) corpos de prova cilíndricos, sendo 04 (quatro) para compressão e 02 (dois) corpos de prova prismáticos para flexão. Todos os ensaios mecânicos foram realizados na idade de 28 dias.

Primeiramente foi feita uma observação se os corpos de prova estavam em bom estado e bem vedados para que o concreto não saísse por seus vãos. Em seguida aplicou-se desmoldante internamente nos corpos de prova para facilitar na desforma. Após isso foram preenchidos os corpos de prova com duas camadas. Em cada uma delas aplicou-se 12 golpes com a haste de compactação para uma melhor compactação e para que ao desenformar o concreto não apresente bicheiras e com uma desempenadeira rasou a superfície. Este método foi utilizado para os dois tipos de corpos de prova.

A Figura 9 indica a cura inicial dos corpos de prova durante 24 horas.

Figura 9: Cura inicial dos corpos de prova.



Fonte: Autor, 2017.

Posterior à moldagem dos corpos de prova os mesmos foram mantidos nos corpos de prova durante 24 horas para a cura inicial. Após esse tempo eles foram desenformados e colocados em estufa de câmara úmida onde permaneceram por 28 dias até serem realizados os ensaios de concreto no estado endurecido, conforme indicado na Figura 10.

Figura 10: Concreto na câmara úmida.



Fonte: Autor, 2017.

3.1.5 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

3.1.5.1 Compressão axial

Para a realização do ensaio de resistência à compressão axial, foram utilizados parâmetros da NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, que tem como objetivo prescrever o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão dos corpos de prova (ABNT, 2007). Os corpos de prova foram retificados para garantir o nivelamento da superfície onde se aplicou a carga.

Primeiramente foram colocados os corpos de prova cilíndricos entre os pratos de aplicação de carga da prensa, como indica a Figura 11 abaixo e aplicou-se a carga até o rompimento deste corpo de prova, como indica a Figura 12.

Os ensaios foram realizados na idade de 28 dias, em 04 (quatro) corpos de prova cilíndricos com dimensões 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, tomando-se como base para resultado final a média aritmética dos mesmos.

Figura 11: Corpo de prova cilíndrico entre os pratos de aplicação de carga.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 12: Rompimento do corpo de prova cilíndrico.



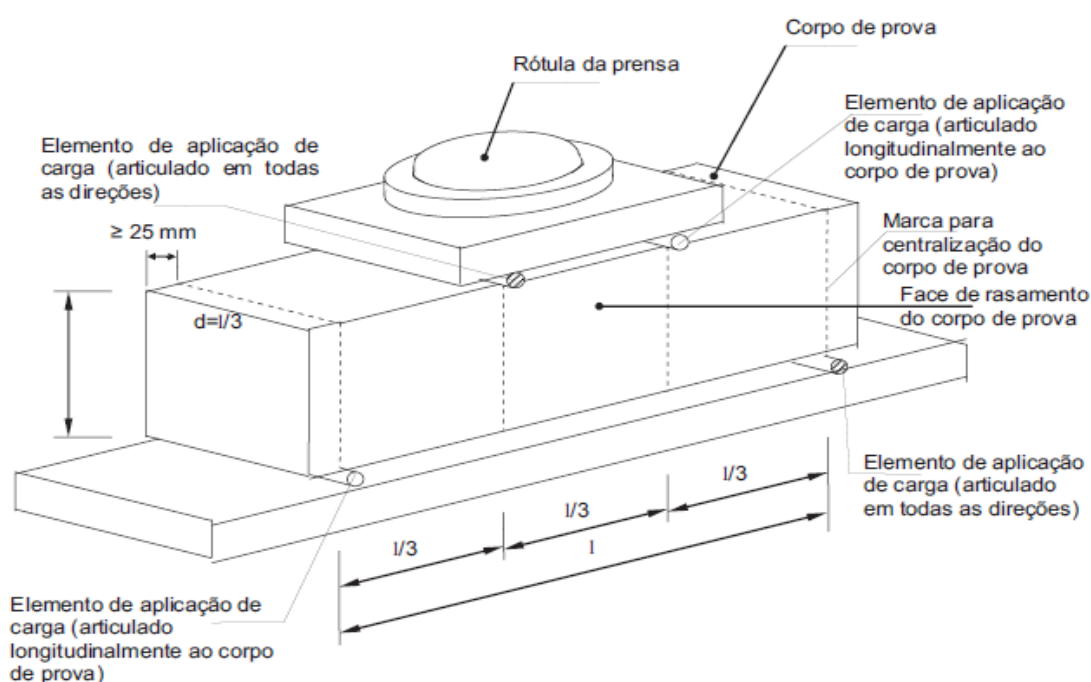
Fonte: Autor, 2017.

3.1.6.2 Tração na flexão

Para a determinação da tração na flexão dos concretos produzidos foram utilizados recursos da NBR 12142 – Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos, que tem por objetivo determinar o método de ensaio de tração na flexão em uma viga apenas apoiada com duas forças ligadas nos terços do vão (ABNT, 2010).

A Figura 13 representa esquematicamente a aparelhagem auxiliar para realização do ensaio.

Figura 13: Dispositivo auxiliar para a realização do ensaio.



Fonte: ABNT, 2010.

A resistência é calculada através da Equação 7, especificada abaixo, através da força aplicada em KN.

$$f_{ct}, f = \frac{F * l}{b * h} \quad (7)$$

Onde:

f_{ct}, f = Resistência à tração na flexão (MPa);

F = Carga máxima aplicada (KN);

l = Comprimento do vão (mm);

b e h = Largura e altura média do corpo de prova na seção de ruptura, respectivamente (mm).

Primeiramente foram colocados os corpos de prova prismáticos entre os pratos de aplicação de carga da prensa como indica a Figura 14 abaixo e aplicou-se a carga até o rompimento deste corpo de prova, como indica a Figura 15.

Figura 14: Corpo de prova prismático entre os pratos de aplicação de carga.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 15: Rompimento do corpo de prova prismático.



Fonte: Autor, 2017.

3.1.7 Análise dos dados

É a partir dos dados coletados referentes à resistência a tração e compressão do concreto, que foi realizado um estudo minucioso com o intuito de definir uma porcentagem ideal da adição de fibra de aço de pneu e industrializada, considerando as exigências prescritas por normas para que o concreto possa ser usado. Foram utilizadas tabelas realizadas pelo *Software Microsoft Excel*, onde foram armazenados os dados obtidos através dos ensaios de compressão e tração fazendo uma comparação através de gráficos, com esses resultados obtidos.

Diante disso, o estudo realizado possibilitou definir uma porcentagem ideal de adição e apresentando alternativas viáveis de aplicação desse material na construção civil.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Concreto no Estado Fresco

Para o concreto no estado fresco durante sua produção, a relação água/cimento a quantidade de cimento e agregados através do seu traço foram fixadas, sendo que as adições de fibras de aço de pneu reciclado e fibras de aço industrializadas foram variando as porcentagens. A partir do momento em que foram misturados os materiais na betoneira, foram observadas algumas mudanças como um aspecto satisfatório de homogeneidade e que a mistura manifestou uma boa plasticidade e aderência.

4.1.1.1 Trabalhabilidade dos Concretos (*Slump test*)

Através do ensaio obteve-se os seguintes valores de trabalhabilidade dos concretos fabricados com adições de 1,5% e 3% de fibras de aço de pneu reciclado e fibras de aço industrializadas e concreto convencional, indicados na Tabela 7.

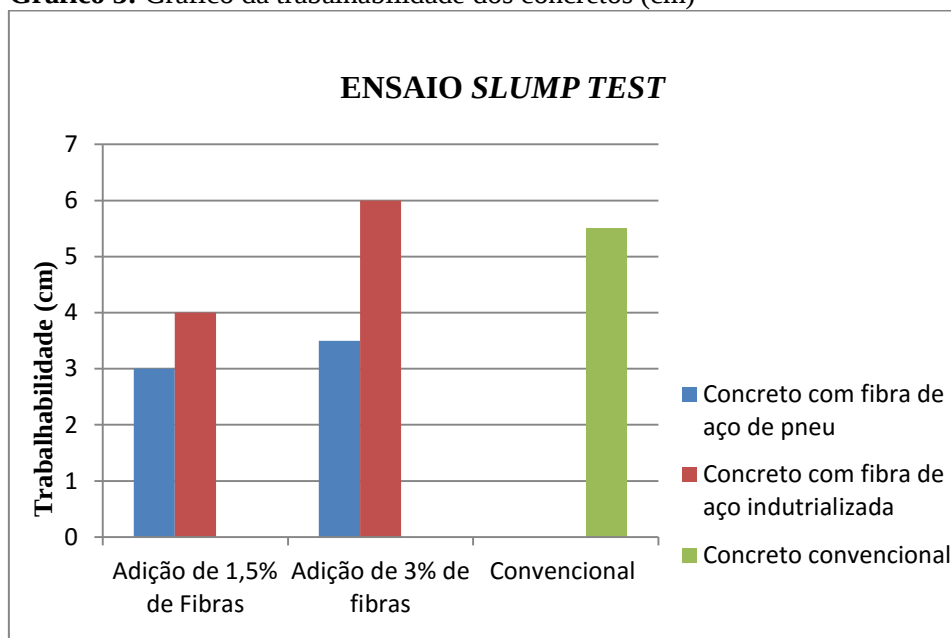
Tabela 7: Trabalhabilidade dos concretos (Ensaio *Slump Test*)

TRABALHABILIDADE DOS CONCRETOS			
Tipos de Concreto	Adição de 1,5% de Fibras	Adição de 3% de fibras	Convencional
Concreto com fibra de aço de pneu	3 cm	3,5 cm	—
Concreto com fibra de aço industrializada	4 cm	6 cm	—
Concreto convencional	—	—	5,5 cm

Fonte: Autor, 2017.

Abaixo apresenta-se o Gráfico 3, com os valores de trabalhabilidade dos concretos com adições de 1,5% e 3% de fibras de aço de pneu, fibra de aço industrializada e concreto convencional.

Gráfico 3: Gráfico da trabalhabilidade dos concretos (cm)



Fonte: Autor, 2017.

O concreto com adição de 1,5% de fibra de aço de pneu e fibra de aço industrializada apresentou uma diferença do cone para a amostra de 3 centímetros e 4 centímetros, respectivamente, o concreto com adição de 3 % de fibra de aço de pneu e fibra de aço industrializada apresentou uma diferença do cone para a amostra de 3,5 centímetros e 6 centímetros, respectivamente e o concreto obteve-se uma diferença do cone para a amostra de 5,5 centímetros, todos os ensaios do *Slump Test* apresentaram uma boa trabalhabilidade conforme indicado na NBR NM 67 - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998).

4.1.2 Concreto no Estado Endurecido

Pode-se observar que os concretos produzidos com 1,5 % e 3 % de fibras de aço de pneu reciclado e fibras de aço industrializadas proporcionaram desempenhos distintos, quanto ao tipo de fratura, em comparação com o concreto convencional e que com as adições de

fibras tanto de aço industrializado e aço de pneu reciclado no concreto, proporcionaram uma maior qualidade quanto a sua ductilidade.

4.1.2.1 Resistência a Compressão Axial

Através do ensaio obteve-se os seguintes valores de resistência à compressão em MPa (Mega Pascal) dos concretos fabricados com adições de 1,5% e 3% de fibras de aço de pneu reciclado e fibras de aço industrializadas e concreto convencional, indicados na Tabelas 7, 8 e 9, abaixo.

Tabela 8: Resistência à compressão do concreto com fibra de aço industrializada.

CORPO DE PROVA DE CONCRETO COM FIBRA DE AÇO INDUSTRIALIZADA	ADIÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
1	1,5%	33,9
2	1,5%	34,6
3	1,5%	32,8
4	1,5%	33,5
5	3%	28,8
6	3%	26,5
7	3%	26,1
8	3%	27,4

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 9: Resistência à compressão do concreto com fibra de aço de pneu.

CORPO DE PROVA DE CONCRETO COM FIBRA AÇO DE PNEU	ADIÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
1	1,5%	33,5
2	1,5%	33,2
3	1,5%	36,3
4	1,5%	34,4
5	3%	28,2
6	3%	29,8
7	3%	27,8
8	3%	29,7

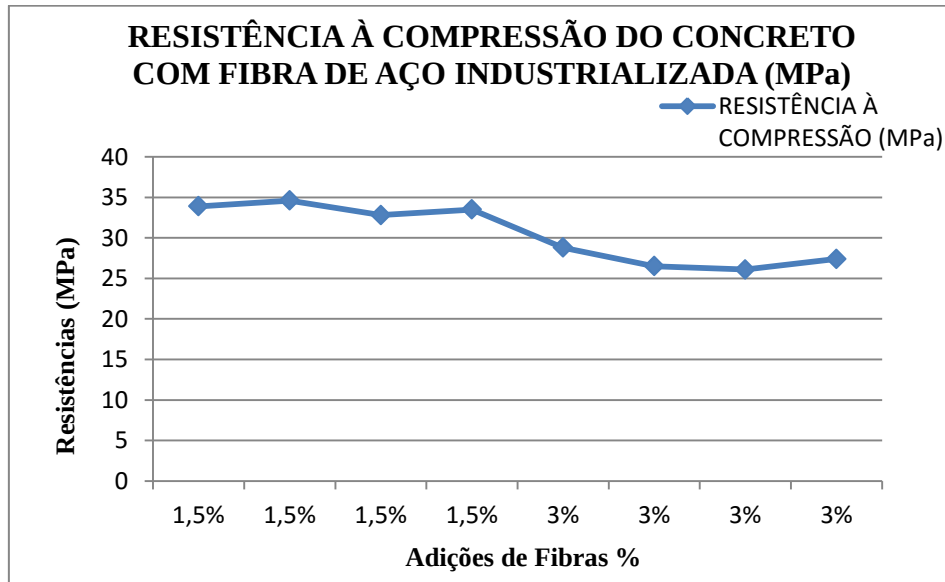
Fonte: Autor, 2017.

Tabela 10: Resistência à compressão do concreto convencional.

CORPO DE PROVA DE CONCRETO CONVENCIONAL	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
1	28,5
2	29,2
3	28,5
4	29,3

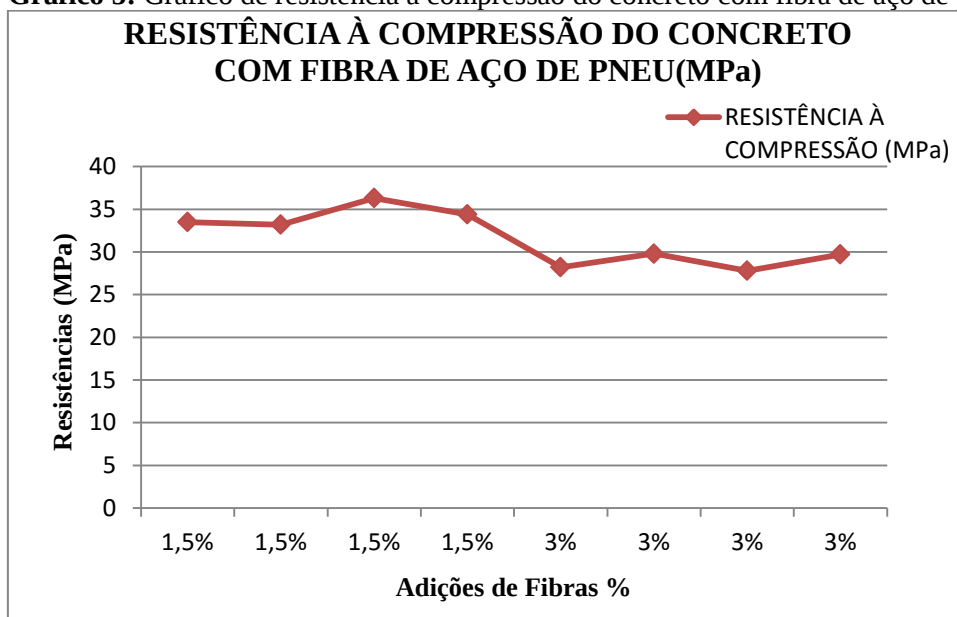
Fonte: Autor, 2017.

Os Gráficos 4, 5 e 6, representados abaixo, apresentam também os valores de resistência à compressão dos concretos com adições e concreto convencional.

Gráfico 4: Gráfico de resistência à compressão do concreto com adição de fibra de aço industrializada.

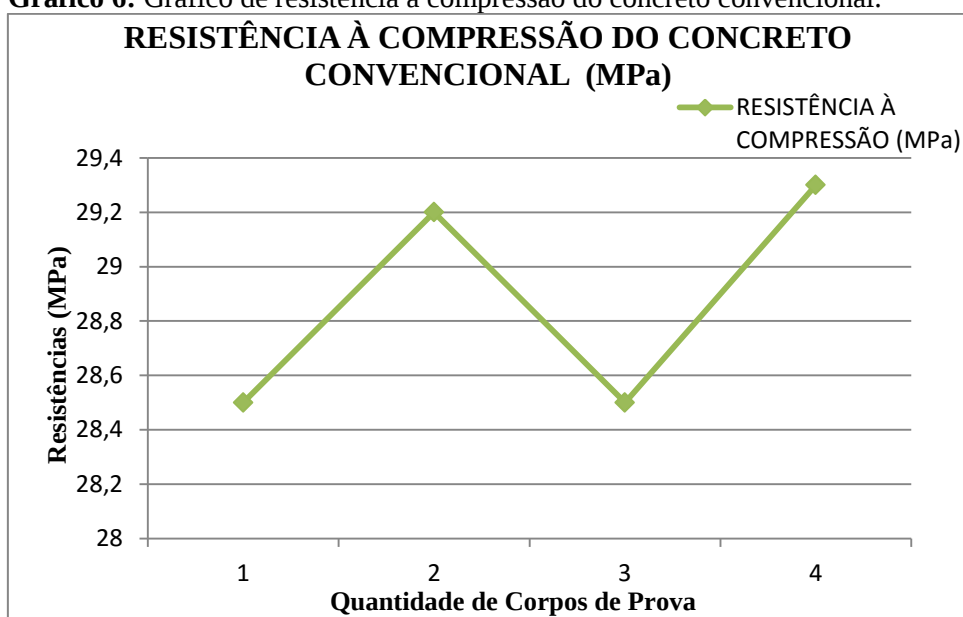
Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 5: Gráfico de resistência à compressão do concreto com fibra de aço de pneu.



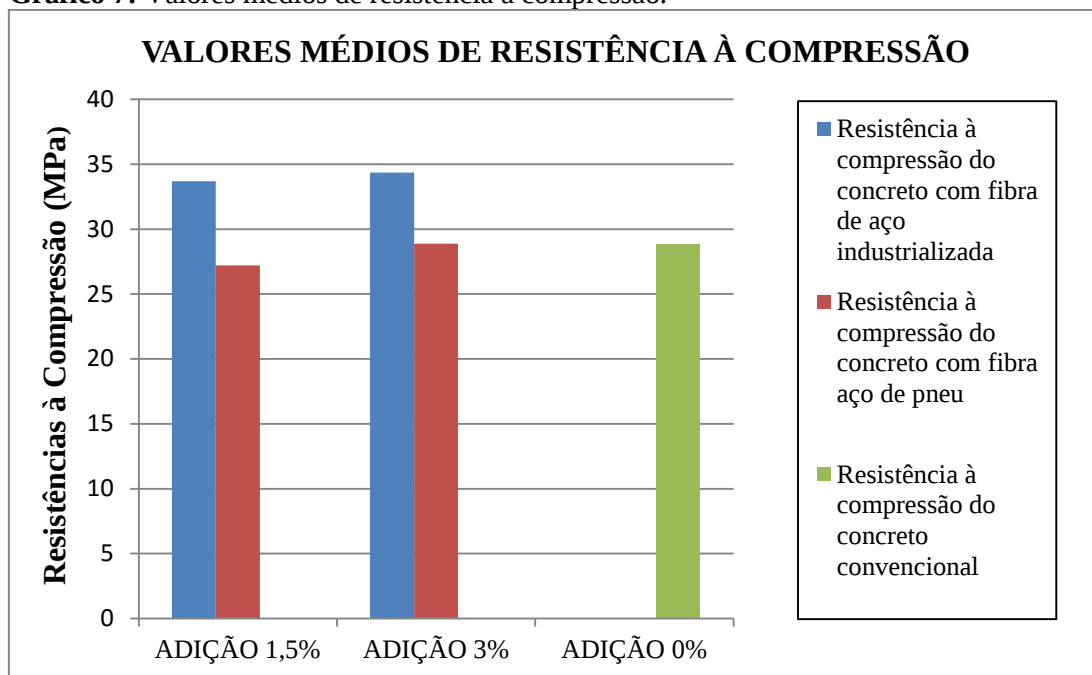
Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 6: Gráfico de resistência à compressão do concreto convencional.



Fonte: Autor, 2017.

Abaixo apresenta o Gráfico 7, com as médias dos valores de resistência a compressão dos concretos analisados, onde para os concretos com adições de 1,5% de fibra de aço industrializada e fibra de aço reciclado de pneu a resistência média foi de 33,70 MPa e 34,35 MPa, respectivamente, para os concretos com adições de 3% de fibra de aço industrializada e fibra de aço reciclado de pneu a resistência média foi de 27,20 MPa e 28,88 MPa, respectivamente. Já o concreto convencional apresentou uma média de 28,88 MPa de resistência a compressão.

Gráfico 7: Valores médios de resistência à compressão.

Fonte: Autor, 2017.

4.1.4.2 Tração na Flexão

Através deste ensaio se pode obter a resistência à tração e foi possível verificar a capacidade de absorção de energia desse material quando submetido à ruptura.

As Tabelas 10, 11 e 12 abaixo representam os valores de tração na flexão dos concretos com adição de 1,5% e 3% de fibras de aço de pneu reciclado, fibras de aço industrializada e concreto convencional.

Tabela 11: Resistência à tração à flexão do concreto com fibra de aço industrializada.

CORPO DE PROVA DE CONCRETO COM FIBRA DE AÇO INDUSTRIALIZADA	ADIÇÃO	CARGA MÁXIMA APLICADA (Kgf) Tração na Flexão	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)
1	1,5%	3.460	1,5
2	1,5%	3.000	1,3
3	3%	3.530	1,5
4	3%	3.880	1,7

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 12: Resistência à tração à flexão do concreto com fibra de aço de pneu.

CORPO DE PROVA DE CONCRETO COM FIBRA AÇO DE PNEU	ADIÇÃO	CARGA MÁXIMA APLICADA (Kgf) Tração na Flexão	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)
1	1,5%	3.400	1,5
2	1,5%	2.960	1,3
3	3%	3.650	1,6
4	3%	3.790	1,7

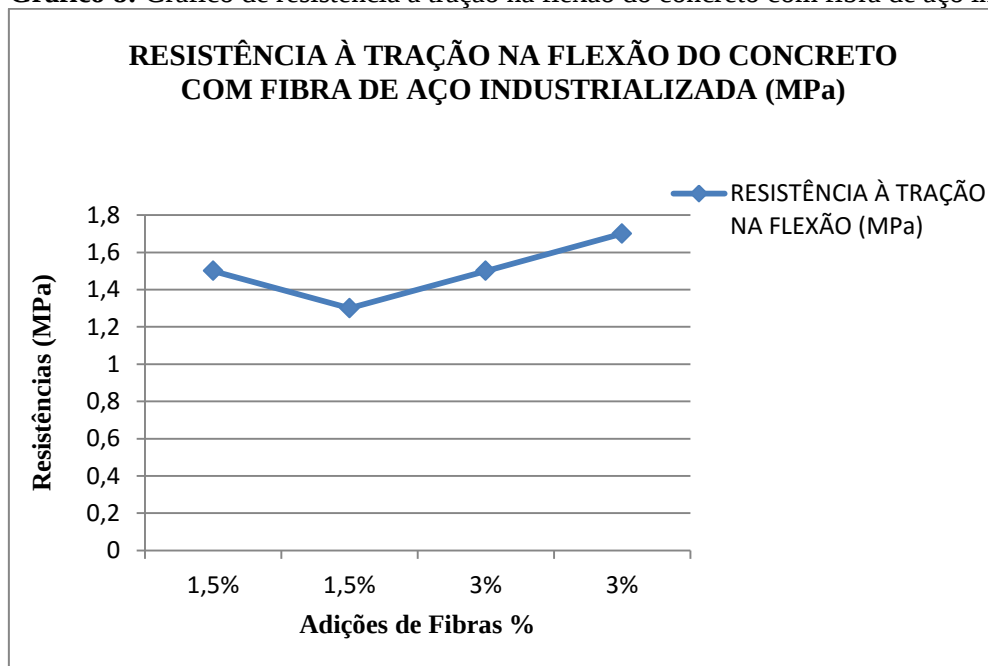
Fonte: Autor, 2017.

Tabela 13: Resistência à tração à flexão do concreto convencional.

CORPO DE PROVA DE CONCRETO CONVENCIONAL	CARGA MÁXIMA APLICADA (Kgf) Tração na Flexão	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)
1	4.120	1,8
2	3.700	1,6

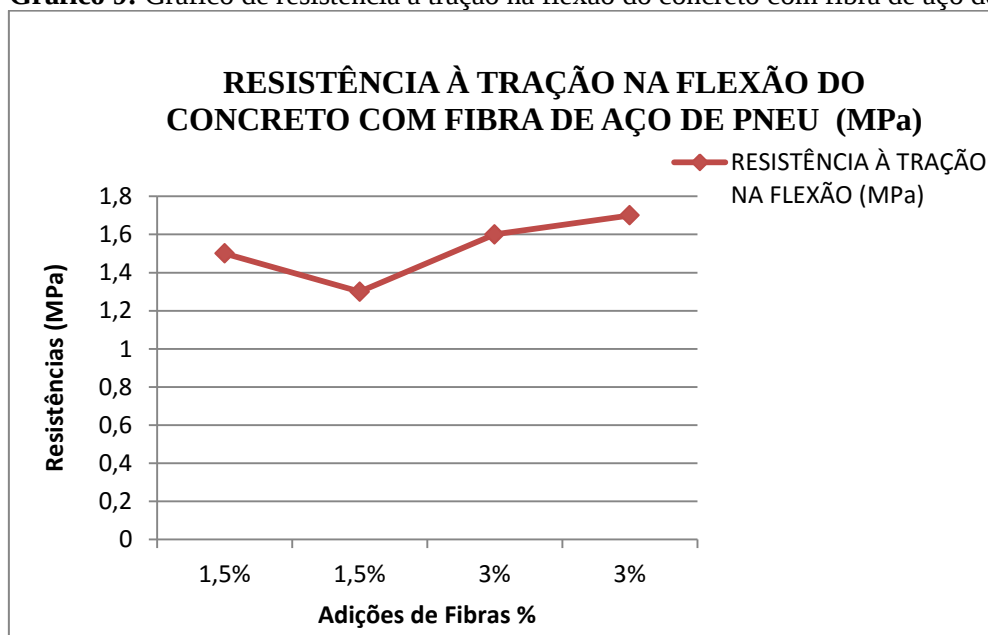
Fonte: Autor, 2017.

Os Gráficos 8, 9 e 10, representados abaixo, apresentam também os valores de resistência à tração na flexão dos concretos com adições e concreto convencional.

Gráfico 8: Gráfico de resistência à tração na flexão do concreto com fibra de aço industrializada.

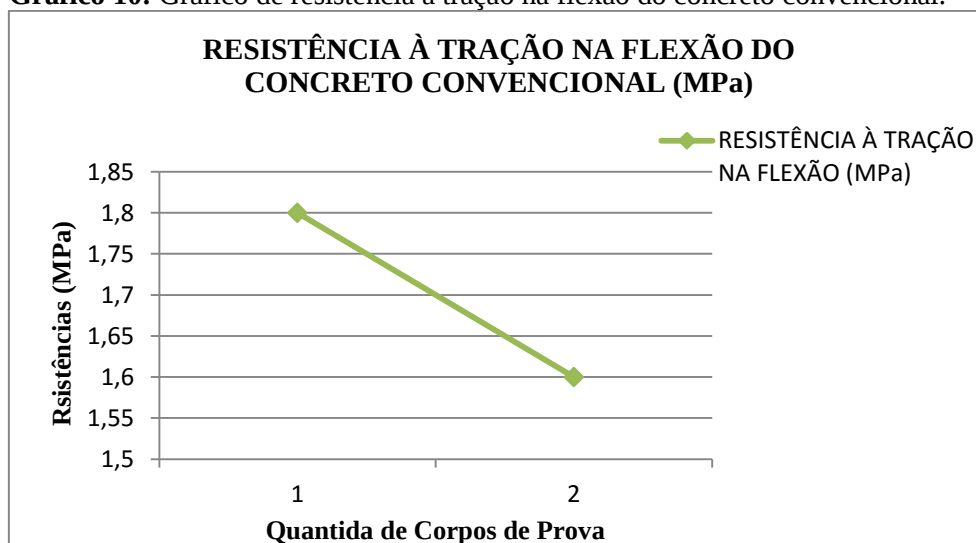
Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 9: Gráfico de resistência à tração na flexão do concreto com fibra de aço de pneu.



Fonte: Autor, 2017.

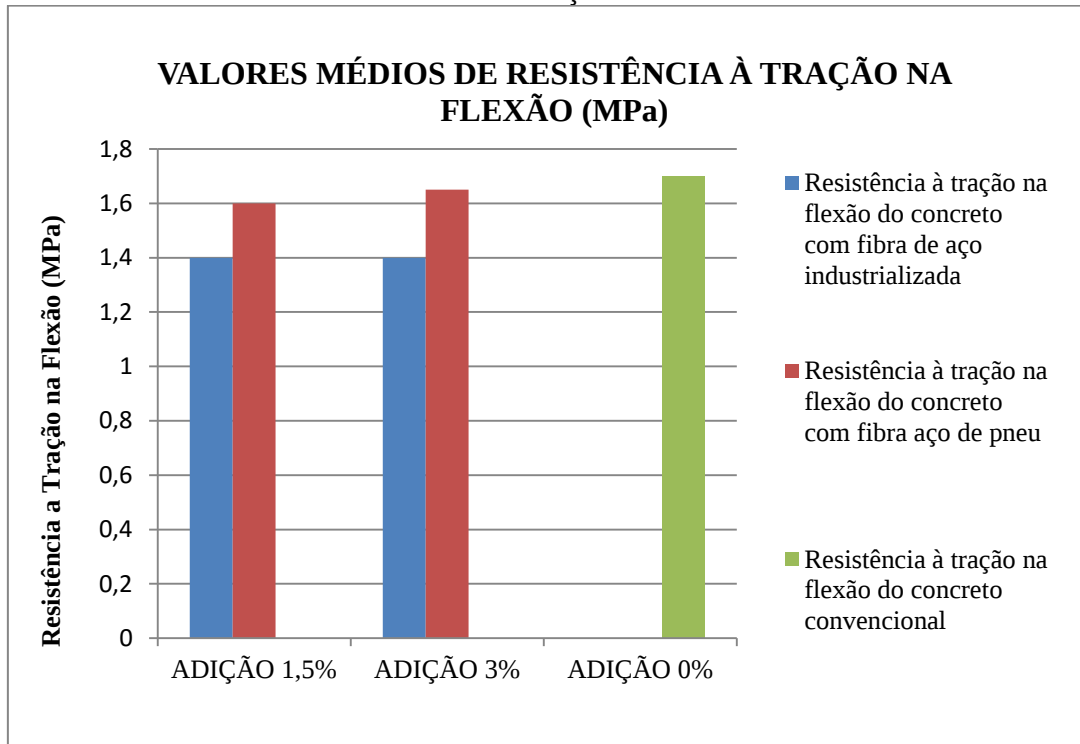
Gráfico 10: Gráfico de resistência à tração na flexão do concreto convencional.



Fonte: Autor, 2017.

Abaixo apresenta o Gráfico 11, com as médias dos valores de resistência a tração na flexão dos concretos analisados, onde para os concretos com adições de 1,5% de fibra de aço industrializada e fibra de aço reciclado de pneu a resistência média foi de 1,4 MPa e 1,4 MPa, respectivamente, para os concretos com adições de 3% de fibra de aço industrializada e fibra de aço reciclado de pneu a resistência média foi de 1,6 MPa e 1,65 MPa, respectivamente. Já o concreto convencional apresentou uma média de 1,7 MPa de resistência a tração na flexão.

Gráfico 11: Valores médios de resistência à tração na flexão.



Fonte: Autor, 2017.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decurso da fabricação dos concretos, percebeu-se com a adição das fibras de aço de reciclada de pneus e as fibras de aço industrializadas possibilitaram uma menor trabalhabilidade dos concretos. Porém ao se diminuir essa trabalhabilidade há um aumento da relação água/cimento.

Constatou-se que para a resistência a compressão axial do concreto com adição de 1,5% de fibras de aço reciclado de pneus, apresentou uma resistência média de 34,35 MPa sendo que para o concreto com adição de fibras de aço industrializadas obteve-se uma média de resistência de 33,70 MPa e concreto convencional média de 28,88 MPa. Já o concreto com adição de 3% de fibras de aço de pneu reciclado apresentou uma resistência média de 28,88 MPa, sendo que para o concreto com adição de fibras de aço industrializadas obteve-se uma média de resistência de 27,20 MPa.

Pode-se ressaltar que o concreto com adição de 1,5% de fibras de aço de pneu apresentou uma maior resistência em comparativo com o concreto com adição de fibra de aço industrializada e convencional e também em relação com a adição de fibras com 3%. Sabendo que houve um aumento de resistência de 1,92 % do concreto com fibra de aço de pneu para o concreto com fibra de aço industrializada e 18,94 % de aumento de resistência do concreto de fibra de aço de pneu para o concreto convencional com a adição de 1,5% de fibras, já para adição de 3% houve um aumento de resistência do concreto com adição de fibra de aço de pneu com 1,5 % para o concreto com fibra de aço de pneu 3% de 15,92 % e para o concreto de 3% fibra de aço industrializada 26,28% de aumento.

Verificou-se que para a resistência a tração na flexão do concreto com adição de 1,5% de fibras de aço reciclado de pneus e fibra de aço industrializada, apresentaram uma resistência média de 1,4 MPa, sendo que o concreto convencional média de 1,7 MPa. Já o concreto com adição de 3% de fibras de aço de pneu reciclado apresentou uma resistência média de 1,65 MPa, sendo que para o concreto com adição de fibras de aço industrializadas obteve-se uma média de resistência de 1,60 MPa.

Pode-se ressaltar que o concreto convencional apresentou uma maior resistência à tração na flexão em comparativo com o concreto com adição de fibra de aço industrializada e fibras de aço de pneu, com as adições de 1,5 % e 3%. Sabendo que houve uma redução de

resistência de 17,65 % do concreto com fibra de aço de pneu e fibra de aço industrializada para o concreto convencional com a adição de 1,5% de fibras, já para adição de 3% houve uma redução de resistência do concreto com adição de fibra de aço de pneu para o concreto convencional de 2,94% e para o concreto com fibra de aço industrializada uma redução de 5,88% para o concreto convencional.

Pode-se analisar que conforme o objetivo deste estudo a porcentagem ideal de fibras de aço recicladas de pneu, inseridos no concreto é de 1,5%, podendo-se substituir a fibra de aço industrializada pelo mesmo, em estruturas que resistem a cargas de compressão. Já para cargas de tração na flexão o concreto não pode ser indicado, pois apresentou resistências inferiores ao concreto convencional.

Enfim, com utilização de um material reciclável, se diminui a inserção do resíduo no meio ambiente proporcionando um ambiente limpo e saudável, além de apresentar um bom desempenho no concreto, tornando a pesquisa sustentável.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se para a realização de novas pesquisas, para integrar o estudo realizado, os seguintes assuntos:

- Realizar uma comparação de custos entre as fibras e pesquisar as vantagens e desvantagens das mesmas ao serem empregadas no concreto;
- Fazer uma analogia entre diversos tipos de fibras encontradas no mercado na contemporaneidade;
- Realizar um estudo alterando as porcentagens de fibras, determinando qual percentual seria o mais viável para utilização nos concretos;
- Realizar uma mudança no percentual de fibra, a fim de verificar se os concretos com tais adições melhorem sua resistência ou não.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. **Concreto**. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au-405/Concreto.pdf>>. em: 28 ago. 2017.

ANDRADE, H. S. **Pneus Inservíveis: Alternativas Possíveis de Reutilização**. 2007. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Econômicas, Centro Sócio-econômico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica - Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto: Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9775**: Agregados - Determinação da umidade superficial em agregados miúdos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 9939**: Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado gráudo. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 11578**: Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530**: Fibras de Aço para Concreto - Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

BOAVENTURA, C. M. **Avaliação da Resistência à Compressão de Concretos Produzidos com Resíduos de Pneus**. 2011. Trabalho monográfico - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.

BRAVO, S. R. **Análise de Blocos de Concreto com Resíduo de Borracha de Pneu e Metacaulim**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira.

BRAZ, M. C. A. NASCIMENTO F. B. C. **Concreto Reforçado com Fibras de Aço**. Maceió, 2015.

CARMO, E.S. **Análise da Estabilidade de um Talude de Corte da BR-110: Estudo de Caso**. 2009. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

DEBASTIANI, Bruno. **Estudo de Viabilidade Econômica Fazendo o Reaproveitamento de Corpos de Prova de Concreto Britados**. Graduação - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel, 2015.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto Reforçado com Fibras**. Doutorado - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FIGUEIREDO, A. D.; CHAMA, P. J. N.; FARIA, H. M. Aço em Obras de Concreto: A nova normalização brasileira sobre fibras de aço. **Concreto e Construções**, São Paulo, p.67-75, 2008.

FILHO, P. R. H. **Pneus usados: um problema de saúde pública?**. Disponível em: <<https://qualidadeonline.wordpress.com/2010/05/05/pneus-usados-um-problema-de-saude-publica/>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. **Acta Scientiarum. Technology**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.237-244, 9 nov. 2010.

FRAGA, M. **Impactos Ambientais da Construção**. Disponível em <<http://seumeioambiente.blogspot.com.br/2008/07/impactos-ambientais-da-construcao-civil.html>> Acesso em: 22 mar.2017.

FRANCO, Bruno L. M. **A tecnologia do concreto reforçado com fibras de aço**. **CONCRETO**. São Paulo: Ibracon, 2008. Trimestral. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_50.pdf>. Acesso em: 10 maio 2017.

FRANÇA, H. V.; BARBOSA, P. M.; AKASAKI, L. J.; SALLES, M. F. Concreto com Utilização de Borracha Residual de Pneus: Avaliação da Aderência Aço-Concreto Através de Ensaio de Tração Direta. In: **I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável x Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2004, São Paulo. São Paulo: Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –Departamento de Engenharia Civil Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Alameda Bahia, 2004.

GARCEZ, E. O. **Análise Teórico-Experimental do Comportamento de Concretos Reforçados com Fibras de Aço Submetidos a Cargas de Impacto**. Mestrado - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

GRANZOTTO, L. **Concreto com Adições de Borracha: Uma Alternativa Ecologicamente Viável**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

GUERRA, R. S. T. **Trabalhabilidade**. 2013. Disponível em: <<http://www.clubedo-concreto.com.br/2013/05/trabalhabilidade.html>>. Acesso em: 10 maio 2017.

JATOBA, I. **Pneu Reciclado Para a Construção Civil**. Disponível em: <<http://www.universojatoba.com.br/sustentabilidade/consumo-consciente/pneu-reciclado-para-a-construcao-civil>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

JONH, M. V. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Título de Livre Docente) - Departamento de Engenharia de Construção Civil Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

KAMIMURA, E. **Potencial dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. 2004. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis.

KOCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. Petrópolis: Editora Vozes, 2011.

MACHADO, B. G. **Reciclagem de pneus**. Disponível em <<http://www.portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-pneus/>> Acesso em: 22 mar.2017.

MARINHO, R. S.; REIS, L. F.; TOMAIN, R. L.; MEDEIROS, F. R.; PINTO, O. C. Estudo e Análise da Fabricação de Concreto a Partir do Uso de Resíduos de Borracha de Pneus. In: **8º**

EnTec – Encontro de Tecnologia da UNIUBE, 2014, Uberaba. Uberaba: Universidade de Uberaba, 2014.

MARTINS, F. R. I. **Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª Edição São Paulo: Editora Pini LTDA, 1994.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª Edição São Paulo: Editora Pini LTDA, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. – São Paulo: Pini, 1997.

ONUKE, M. A. F.; GASPARETTO, P. A. **Comparativo das Propriedades do Concreto no Estado Fresco e Endurecido com Adição de Fibras de Aço e de Polipropileno**. Graduação - Curso de Tecnologia em Concreto, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2013.

PAPAKONSTANTINO, C. G.; TOBOLSKI, M. J.. **Use of waste tire steel beads in Portland cement concrete**. 2006. Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, University Of Massachusetts Dartmouth, Massachusetts, 2006.

PERES, M. V. N. N. **Comportamento do concreto com adição de fibras de aço de pneu para aplicação em pisos industriais. Tese de Doutorado** – Exame de qualificação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2013.

RABELO, N. M. A.; GARCIA, C. R. **Comportamento do Concreto Mediante a Adição de Pozolana Artificial**. Belo Horizonte, p.55-66, jun. 2013. Disponível em: <<http://revistas2.unibh.br/index.php/exacta>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

VELASCO, R. V. **Concretos autoadensáveis reforçados com elevadas frações volumétricas de fibras de aço: propriedades reológicas, físicas, mecânica e térmicas**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil; 2008.

VIEIRA, B. N. P. A. **Viabilidade Técnica da Fabricação de Composto Utilizando Fibra de Pneu na Fabricação de Blocos Intertravados**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

VIEIRA, M. D. **Avaliação de Uso de Fibras de Aço Corrugado Junto a Matriz do Concreto. Graduação - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campo Mourão**, 2014.