



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

Autora: Gracieli Bordin Colpo

USO DE FIBRAS DE AÇO EM CONCRETO PARA PAVIMENTOS

Trabalho de Conclusão de Curso

ALEGRETE

2011

GRACIELI BORDIN COLPO

USO DE FIBRAS DE AÇO EM CONCRETO PARA PAVIMENTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Luís Eduardo Azevedo Modler

Co-orientador: André Lübeck

**Alegrete
2011**

GRACIELI BORDIN COLPO

USO DE FIBRAS DE AÇO EM CONCRETO PARA PAVIMENTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:
Banca examinadora:

Prof. Me. Luis Eduardo Azevedo Modler
Orientador
Engenharia Civil – Unipampa

Prof. Me. André Lübeck
Engenharia Civil – Unipampa

Prof. Dr. José Mário Doleys Soares
Engenharia Civil – UFSM

Engenheiro Civil Jorge Augusto Peres Moojen
Conselheiro do CREA

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Sérgio e Margarete, pelo amor incondicional e incentivo constante.

AGRADECIMENTO

À Deus que sempre está ao meu lado, me dando forças para lutar e iluminando o meu caminho.

Ao professor orientador Luís Eduardo Azevedo Modler e ao professor André Lübeck pela orientação, pelos incentivos e conhecimentos transmitidos ao longo da elaboração deste trabalho. Muito Obrigada!

Aos meus pais pelas palavras de incentivo e conforto, conselhos em horas de incerteza e de tristeza, pela disposição em me ajudar a conquistar os meus objetivos. Eu amo muito vocês!

À minha irmã Angélica pelo amor e carinho.

Aos colegas Gabriel, Luiz Fernando, Raul e Rudy que me auxiliaram na realização do programa experimental.

Aos técnicos do laboratório Vivian, Rosalia, Mozer e Gean pela colaboração nas atividades do laboratório.

A empresa Maccaferri América Latina, que forneceu as fibras de aço empregadas neste trabalho.

A Vedacit, pelo fornecimento do superplastificante utilizado na pesquisa.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas de o primeiro passo”.

Martin Luther King

RESUMO

O pavimento de concreto de cimento portland apresenta-se como alternativa viável no contexto atual brasileiro devido aos reduzidos investimentos com manutenção ao longo de sua vida útil. No entanto, o concreto apresenta um comportamento frágil e uma baixa capacidade de deformação antes da ruptura. O emprego de concretos reforçados com fibras metálicas busca corrigir esta deficiência do material. Este trabalho apresenta um estudo, através de ensaios laboratoriais, do concreto reforçado com fibras de aço aplicado em pavimentos. Avaliou-se a resistência à compressão axial e à tração de maneira indireta através de ensaio de placa triangular conforme Almeida (1999), além de compressão diametral e flexão a quatro pontos, de concretos com diferentes teores de fibras de aço. Foram confeccionadas quatro tipos de amostras, um traço de referência, sem fibras, um traço com o teor indicado pelo fabricante das fibras (25 kg/m^3) e dois alternativos, um com 15 kg/m^3 de fibras e outro com 35 kg/m^3 . Os resultados mostram que em relação à resistência à tração, as fibras de aço presentes no concreto reduziram a propagação de fissuras e promoveram ductilidade pós-fissuração, sendo que nas placas triangulares ocorreu um processo de fissuração bem definido por três fissuras como previsto por Almeida (1999). Em termos de resistência à compressão axial os concretos reforçados com fibra, também, apresentaram melhor desempenho aos 28 dias de idade.

Palavras-chave: Pavimento de concreto. Fibras de aço. Concreto com fibras.

ABSTRACT

The concrete pavement of portland cement is presented as a viable alternative in the current Brazilian context due to low investments in maintenance over its lifetime. However, concrete has a brittle behavior and a low capacity of deformity before rupture. The use of concrete reinforced with steel fibers seeks to correct this deficiency of the material. This paper presents a study of concrete reinforced with steel fibers used in flooring, through laboratory tests. It was evaluated the axial compressive and tensile strength indirectly through triangular plaque assay according to Almeida (1999), as well as diametral compression and four-points bending of concrete with different amounts of steel fibers. It was made four kinds of samples, a reference mark, without fibers, a mark with the content specified by the manufacturer of fiber (25 kg/m³) and two alternatives, one with 15 kg/m³ of fibers and the other with 35 kg/m³. The results show that for tensile strength, steel fibers present in the concrete, reduced the crack propagation and promoted post-cracking ductility, and triangular plates occurred a process of cracking, well defined by three cracks as predicted by Almeida (1999). In terms of the axial compressive strength concrete reinforced with fiber, also performed better at 28 days old.

Keywords: Floor concrete, steel fibers, concrete with fibers

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Diferentes tipos de fibras (SARZALEJO et al., 2007).	18
FIGURA 2.2 - Piso em concreto com adição de fibra de aço (CONSULTORIA E ANÁLISE, 2009).	21
FIGURA 2.3 - Placas triangulares submetidas ao ensaio de flexão, sendo que, em (A) encontra-se a região inferior da placa, onde ocorrem as maiores tensões de tração com a possível região de ruptura demonstrada pelo estudo em elementos finitos (SAP2000) e, em (B) a exata configuração de fissuração no ensaio de flexão em placas triangulares (ALMEIDA, 1999).	22
FIGURA 2.4 - Configuração do ensaio de flexão em placa triangular, utilizando polivinil expandido como apoio do dispositivo central (ALMEIDA, 1999).	23
FIGURA 3.1 - Fibra de aço utilizada.	28
FIGURA 3.2 - Corpos-de-prova cilíndricos.	32
FIGURA 3.3 - Forma utilizada na confecção dos corpos-de-prova prismáticos (vigas).	33
FIGURA 3.4 - Forma utilizada na confecção das placas triangulares.	33
FIGURA 3.5 - Abatimento do tronco de cone.	34
FIGURA 3.6 - Execução do ensaio de compressão axial.	35
FIGURA 3.7 - Dispositivos específicos acoplados a prensa para realização do ensaio de compressão diametral.	36
FIGURA 3.8 - Ensaio de flexão em vigas.	37
FIGURA 3.9 - Relógio comparador acoplado em uma base magnética.	38
FIGURA 3.10 - Chapas metálicas quadradas posicionadas nas extremidades do triângulo e retangular posicionada no centro da placa.	39
FIGURA 3.11 - Chapa metálica quadrada fixada no centro de aplicação de carga na placa.	39
FIGURA 3.12 - Configuração do ensaio de flexão em placa triangular.	40
FIGURA 4.1 - Resistência à compressão axial do concreto sem e com adição de fibras de aço, nos teores indicados e nas idades de estudo.	42
FIGURA 4.2 - Ganho de resistência, aos 28 dias, na compressão axial para os diferentes teores de fibras empregados em relação ao concreto de referência.	43
FIGURA 4.3 - Ganho de resistência, na compressão axial, dos concretos aos 28 dias de idade em relação aos 7 dias.	44

FIGURA 4.4 - Resistência à tração por compressão diametral do concreto sem e com adição de fibras de aço.....	44
FIGURA 4.5 - Ganho de resistência à tração por compressão diametral para os diferentes teores de fibras empregados.	45
FIGURA 4.6 - Corpos-de-prova sem adição de fibra de aço (a) e com adição de fibra (b) submetidos ao ensaio de compressão diametral.	46
FIGURA 4.7 - Resistência à tração na flexão em prismas para as diferentes misturas empregadas.	47
FIGURA 4.8 - Ganho de resistência à tração na flexão em prismas para os diferentes teores de fibras empregados.....	47
FIGURA 4.9 - Relação entre os resultados de resistência à tração na flexão e a deformação das vigas.	48
FIGURA 4.10 - Ruptura à flexão de viga com adição de fibra de aço.	49
FIGURA 4.11 - Ruptura à flexão de viga sem adição de fibra de aço.	49
FIGURA 4.12 - Valores obtidos no ensaio de flexão em placas triangulares.	50
FIGURA 4.13 - Valores médios de carga e deformação obtidos nos ensaios de flexão em placas.	51
FIGURA 4.14 - Ganho de resistência à flexão em placas triangulares para os diferentes teores de fibras empregados.	51
FIGURA 4.15 - Ganho de deformação na flexão em placas triangulares para os diferentes teores de fibras empregados.	52
FIGURA 4.16 - Ruptura de placa triangular sem fibra de aço.	53
FIGURA 4.17 – Ruptura de placa triangular com fibra de aço.	53

LISTA DE TABELAS

TABELA 3. 1 - Determinação dos ensaios, corpos-de-prova e teores de fibras empregados no programa experimental.....	25
TABELA 3. 2 - Características físicas, químicas e mecânicas do cimento CP IV-32..	26
TABELA 3. 3 - Caracterização do agregado graúdo	27
TABELA 3. 4 - Caracterização do agregado miúdo.....	28
TABELA 3. 5 - Caracterização das fibras de aço solta (FF4)	29
TABELA 3. 6 - Características do aditivo	29
TABELA 3. 7 - Misturas do traço 1:3,5 (1:1,3:2,2).....	30
TABELA 3. 8 - Consistência dos concretos para as diferentes misturas produzidas..	34
TABELA 4. 1 - Acréscimo de resistência x Teor de fibras de aço	43
TABELA 4. 2 - Acréscimo de resistência x Teor de fibras de aço	45
TABELA 4. 3 - Acréscimo de resistência x Teor de fibras de aço	48
TABELA 4. 4 - Acréscimo de resistência x Teor de fibras de aço	52
TABELA 4. 5 - Acréscimo de resistência x Teor de fibras de aço	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	CONCRETO	14
2.2	PAVIMENTOS DE CONCRETO	15
2.3	FIBRAS	17
2.4	CONCRETO COM FIBRAS	19
2.5	ENSAIO DE FLEXÃO EM PLACA TRIANGULAR PROPOSTO POR ALMEIDA (1999)	21
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	24
3.1	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	24
3.2	MATERIAIS: SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO	25
3.2.1	Cimento	25
3.2.2	Agregado	26
3.2.2.1	Agregado graúdo	27
3.2.2.2	Agregado miúdo	27
3.2.3	Fibras	28
3.2.4	Aditivo	29
3.2.5	Água	30
3.3	DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS	30
3.4	CONFECÇÃO E MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA	31
3.5	DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS	34
3.5.1	Ensaio de resistência à compressão axial	35
3.5.2	Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	36
3.5.3	Ensaio de flexão em corpos prismáticos (vigas)	36
3.5.4	Ensaio de flexão em placas triangulares	38
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
4.1	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	41
4.2	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	44
4.3	ENSAIOS DE FLEXÃO EM CORPOS PRISMÁTICOS (VIGAS)	46
4.4	ENSAIOS DE FLEXÃO EM PLACAS TRIANGULARES	50

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
5.1	CONCLUSÕES	55
5.2	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	57
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

Segundo Vizzoni (2009), o Brasil é um dos pioneiros no uso do pavimento de concreto, sendo uma tecnologia adotada desde a década de 20 como, por exemplo, na construção de ruas no município de Pelotas/RS. A principal razão da escolha por este tipo de pavimento é a longevidade da superfície, com baixos investimentos de manutenção ao longo de sua vida útil, ao ser comparada com qualquer outro tipo de solução. Sendo o pavimento de concreto de cimento portland considerado uma alternativa adequada em especial para tráfego pesado, em situações onde é indesejável realizar intervenções rotineiras para manutenção e, também, quando se busca por um pavimento que repasse pouco calor ao solo e resulte em temperaturas mais amenas em sua superfície (BALBO, 2005).

O concreto apresenta características as quais possibilitam que ele seja o material estrutural mais empregado no mundo. Porém, o concreto tem um comportamento frágil e uma baixa capacidade de se deformar antes da ruptura. Devido a sua fragilidade, ele possui uma baixa resistência à tração em comparação com a sua resistência à compressão (FIGUEIREDO, 2005).

Almeida (1999) afirma que uma das técnicas que vem sendo utilizadas para reduzir essas deficiências é o emprego de concretos reforçados com fibras, pois apresentam maior resistência à tração, ao impacto, à fadiga, à abrasão, sendo mais tenazes e dúcteis. As fibras presentes no concreto, também, inibem a propagação das fissuras através da matriz e, uma vez fissurada a matriz, as fibras agem como ponte de transferência de tensão promovendo ductilidade pós-fissuração (MINDESS, 1991 apud ALMEIDA, 1999).

No Brasil, as principais aplicações dos concretos reforçados com fibras de aço (CRFA) são em pavimentos e revestimento de túneis, apresentando vantagens tecnológicas e muitas vezes econômicas em relação ao concreto convencional. A partir desta justificativa propõe-se este trabalho cujos objetivos são descritos a seguir:

Objetivo geral:

- Avaliar a influência das fibras de aço sobre as propriedades mecânicas do concreto.

Objetivos específicos:

- Avaliar a influência de diferentes teores de fibra de aço sobre a resistência à compressão do concreto;
- Avaliar, também, a influência das fibras sobre a resistência à tração indireta por compressão diametral e flexão a quatro pontos;
- Para o ensaio de placa triangular, avaliar a resistência à tração;
- Avaliar o comportamento pós-fissuração nos ensaios de tração indireta.

Em busca de alcançar os objetivos propostos, este trabalho está dividido em cinco capítulos, onde no primeiro contém a introdução e os objetivos deste trabalho. No segundo consta a fundamentação teórica para embasar esta pesquisa, sendo abordados tópicos com relação ao concreto, pavimentos de concreto, tipos de fibras, concreto com fibras e estudo sobre ensaio de flexão em placas triangulares. No terceiro, são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para a confecção e ensaio dos corpos-de-prova, sendo que, no quarto capítulo, é realizada a análise e apresentação dos resultados obtidos nos testes. No quinto e último capítulo, fazem-se as conclusões do trabalho, bem como sugestões para futuros trabalhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto

Os Romanos foram os primeiros a utilizarem o concreto como material estrutural destacando através das suas criações as vantagens técnicas e práticas do uso desse material compósito. O concreto de cimento Portland é um compósito em que suas principais fases são a pasta de cimento, os agregados miúdos e os graúdos.

Atualmente o índice do consumo do concreto no mundo é estimado em 11 bilhões de toneladas ao ano (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Dentre as diversas razões pelas quais ele é tão empregado na engenharia destaca-se a capacidade de resistência do concreto à água, a facilidade de produzir elementos estruturais com infinitas formas e tamanhos e, normalmente, o seu baixo custo e disponibilidade dos materiais para obras nos mais remotos locais. Sendo, também, capaz de variar suas propriedades em função do tipo e proporções dos seus componentes.

A resistência comumente é a única propriedade fixada no projeto de estruturas de concreto. Segundo Mehta e Monteiro (2008), a resistência de um material é definida como a capacidade do mesmo resistir à tensão sem ruptura. Sendo a resistência à compressão do concreto a mais empregada como parâmetro de dosagem e controle de qualidade dos concretos, pois a moldagem dos corpos-de-prova e o ensaio de compressão são mais simples de se executar e, ainda, ela é um parâmetro sensível as modificações da mistura, permitindo analisar alterações em outras propriedades do concreto (HELENE, 2005). Considera-se que a resistência à compressão do concreto é mais elevada do que outros tipos de resistência, pois geralmente as resistências à tração e à flexão são da ordem de 10% e 15%, respectivamente, da resistência à compressão.

Entretanto, ao dimensionar pavimentos de concreto de cimento Portland, além, da resistência à compressão deve-se levar em consideração outras propriedades tão importantes quanto à primeira, por exemplo, a resistência à tração e o módulo de elasticidade, grandezas de medição mais difíceis, mas não menos relevantes.

A fissuração do concreto geralmente resulta da falta de resistência à tração do material, assim, o melhor entendimento da mesma resultará em uma estimativa mais adequada da resistência e durabilidade do concreto. Além disso, geralmente uma combinação das tensões de tração, compressão e cisalhamento, determina a resistência do concreto quando solicitado a um carregamento à flexão, como é o caso em pavimentos de concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Por outro lado, o concreto é um material de ruptura frágil e, ao ser comparado com outros materiais estruturais como o aço, apresenta uma reduzida capacidade de deformação (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Neste contexto, pesquisadores e tecnólogos estão sempre buscando por novas alternativas para auxiliar na resistência e durabilidade do concreto utilizando, assim, aditivos especiais, fibras, composições modificadas do traço e métodos diferenciados para produção de concretos para fins específicos.

2.2 Pavimentos de concreto

No Brasil, os pavimentos em concreto de cimento Portland (CCP) foram muito empregados até o início da década de 50 em vias urbanas e rodovias. A partir de então, com a instalação da primeira refinaria de petróleo no país, a opção por outros materiais e técnicas construtivas se acentuou e, os pavimentos flexíveis tornaram-se economicamente mais convidativos.

Essa situação vem mudando, pois tem se constatado, até o momento, a incapacidade de construções com pavimentos flexíveis que forneçam uma durabilidade adequada diante da ação do tráfego pesado e das intempéries em um clima tropical, além, das alterações dos preços dos derivados de petróleo. Com isso, o pavimento de concreto ressurgiu nos últimos anos, principalmente devido aos reduzidos investimentos com manutenção ao longo de sua vida útil, sendo usado em estradas, portos, aeroportos e pátios industriais.

Vizzoni (2009) afirma que o pavimento de concreto é uma alternativa moderna, competente, racional, eficaz, técnica e econômica, sendo consagrada mundialmente devido à sua durabilidade, pela segurança que proporciona ao usuário, além de baixos custos de manutenção desde que executado de maneira adequada.

A durabilidade do pavimento de CCP está relacionada com a sua maior resistência mecânica e ao desgaste, quando comparado aos pavimentos asfálticos, não apresentando deformações plásticas, buracos e trilhos de roda, comuns nas estradas nacionais executadas com pavimentação asfáltica. Em relação à segurança destaca-se a melhor visibilidade dos motoristas e a economia de energia elétrica, pois o pavimento de concreto tem superfície clara e, com isso, apresenta maior capacidade de reflexão da luz. Além disso, possui uma maior aderência pavimento-pneu permitindo uma maior estabilidade nas curvas e redução na distância de frenagem (SANTANA, 2008).

Dentre as propriedades requeridas para os concretos de pavimentação no estado fresco têm-se trabalhabilidade e plasticidade, além de baixa retração, segregação e exsudação do CCP. Já as exigidas para o concreto endurecido são resistência mecânica à compressão e tração, resistência à abrasão e à fadiga.

A trabalhabilidade e a plasticidade do concreto para pavimento estão ligadas à consistência do mesmo, a qual depende do processo construtivo a ser adotado na execução e do tipo de concreto de revestimento. Concretos com fibras apresentam consistências baixas, com isso, muitas vezes é necessário o uso de aditivos plastificantes, incorporadores de ar e teor de argamassa mais alto para obter um concreto que possa ser devidamente lançado, adensado e acabado e, assim, atingir características desejadas em termos de resistência e durabilidade (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Outra propriedade dos pavimentos de concreto que merece atenção e cuidado é a retração, principalmente nas idades iniciais durante o endurecimento e cura do concreto, pois podem causar deformações e fissuras resultantes da contração volumétrica da massa de concreto.

Além disso, os fenômenos de segregação e exsudação devem ser rigorosamente controlados durante a execução dos pavimentos, pois podem prejudicar o acabamento superficial dos mesmos e, ainda, causar um desgaste do material de modo prematuro.

A resistência mecânica necessária para um pavimento deve ser especificada em projeto, assim, ao analisar adequadamente os agregados e especificar valores mais propícios de materiais cimentícios será possível obter uma resistência mais

otimizada. Estando a resistência e a qualidade do concreto interligadas devido à estrutura da pasta de cimento hidratada.

O concreto para pavimentos precisa ser capaz de resistir a esforços abrasivos, de caráter superficial, submetidos ao longo de sua vida útil. Esses esforços podem ser devido a tráfego de veículos leves ou até tráfego intenso de pedestres, empilhadeiras industriais de rodas rígidas, veículos com rodas metálicas e arrastes de cargas ou peças metálicas (RODRIGUES; BOTACINI; GASPARETTO, 2006). Com isso, o desempenho do pavimento em relação ao desgaste superficial está relacionado aos materiais e os procedimentos executivos empregados.

O pavimento de concreto pode sofrer carregamentos dinâmicos e cíclicos no decorrer da sua vida de serviço estando sujeito, portanto, ao fenômeno de fadiga. Em virtude disso, incorporar fibras de aço ao concreto para pavimentos aumenta a resistência à fadiga do mesmo, para isso, deve-se levar em consideração o teor de fibra e o seu fator de forma (JOHNSTON; ZEMP, 1991 apud CHODOUNSKY; VIECILI, 2007).

Além disso, as fibras adicionadas adequadamente ao concreto mostram-se eficazes no combate a fissuração por retração e conferem considerável ductilidade, ou seja, capacidade de o material suportar deformações conservando sua resistência (SARZALEJO et al., 2007).

De acordo com Balbo (2005), as tecnologias disponíveis para os concretos de cimento Portland evoluíram consideravelmente nas últimas décadas, com isso, cabe ao projetista avaliar as condições e necessidades locais e, assim, definir padrões de concretos, cura e ganho de resistência para cada obra.

Em relação ao custo total dos pavimentos deve-se levar em consideração que o mesmo será tanto menor quanto menores forem os custos de manutenção e os custos operacionais dos veículos, considerando os acidentes e suas conseqüências, encargos e danos ao meio ambiente.

2.3 Fibras

Desde a antiguidade que as fibras vêm sendo utilizadas na construção civil. Segundo Mehta e Monteiro (2008), existem evidências de que fibras de asbesto (amianto) foram utilizadas no reforço de postes de argila há cerca de 5000 anos.

A primeira patente de concreto reforçado com fibras parece ser de A. Berard, em 1874, sugerindo a adição de sucata de ferro ao concreto, com o objetivo de produzir uma espécie de pedra artificial (NAAMAN, 1985 apud SCOARIS, 2005).

Existe no mercado uma grande diversidade de tipos de fibras (figura 2.1) com forma e tamanhos variados produzidas em aço, vidro, polipropileno, náilon, celulose, etc., sendo que a escolha da mesma é em função das características que se deseja do compósito.

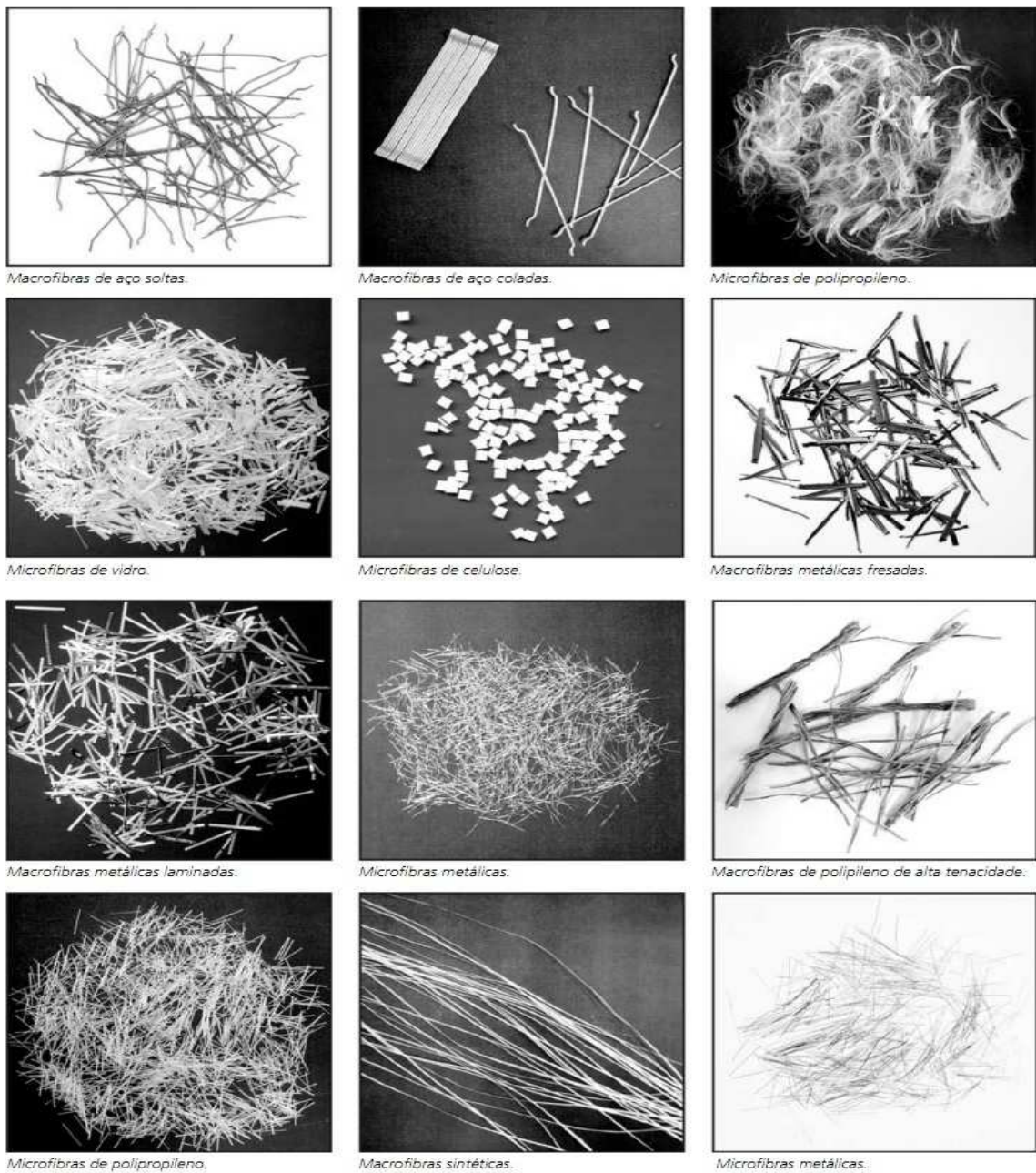


FIGURA 2.1 - Diferentes tipos de fibras (SARZALEJO et al., 2007).

Dentre os diferentes tipos de fibras existentes as de aço são as mais empregadas na construção de peças estruturais e não estruturais (MEHTA; MONTEIRO, 2008), principalmente, devido a sua alta resistência à tração, maior módulo de elasticidade e melhor capacidade de aderência à matriz que a envolve. Essas fibras podem apresentar deformações ao longo de todo o seu comprimento (fibras onduladas) ou possuírem ganchos nas extremidades. Sendo que estas características, presentes nas fibras, têm a finalidade de melhorar o comportamento das mesmas com relação à aderência, através de ancoragem mecânica.

As fibras de aço se caracterizam pelo seu fator de forma ou relação de aspecto, ou seja, a relação entre o comprimento da fibra e o seu diâmetro, sendo que, quanto maior for este fator, maior será a quantidade de fibras presentes na matriz garantindo, assim, um melhor reforço da mesma. Além disso, a geometria e a resistência à tração da fibra influenciam de forma significativa a ductilidade dos compósitos, pois a elevação do nível de tenacidade é obtida durante o arrancamento das fibras da matriz (SARZALEJO et al., 2007). Assim, o tipo de fibra, comprimento, fração volumétrica e aderência à matriz serão relevantes sobre a resposta do compósito.

2.4 Concreto com fibras

Atualmente o consumo de compósitos vem crescendo consideravelmente e, entre as adições utilizadas para melhorar algumas características do concreto as fibras têm se destacado nos últimos anos sendo objeto de estudo e desenvolvimento.

O concreto que é formado por cimento portland, água, agregados e fibras discretas descontínuas é chamado de concreto reforçado com fibras, podendo, também, conter pozolanas e outros tipos de adições normalmente utilizadas nos concretos convencionais (MEHTA; MONTEIRO, 2008). O concreto com fibras possui duas fases distintas que são o próprio concreto, chamado de matriz, e as fibras.

O módulo de elasticidade e a resistência mecânica são propriedades relevantes ao definir a capacidade de reforço que a fibra pode dar ao concreto. As fibras de polipropileno e náilon apresentam módulo de elasticidade menor e

alongamento maior do que a matriz de cimento e, as mesmas são empregadas principalmente para reduzir o aparecimento das fissuras de retração plástica do concreto no estado fresco e no início de seu endurecimento. Por outro lado, fibras de alta resistência e módulo de elasticidade elevado, como as fibras de aço e vidro, além de propiciarem a diminuição das fissuras, podem até substituir total ou parcialmente as telas e barras de aço em algumas aplicações do concreto (FIGUEIREDO, 2005).

Além disso, as fibras adicionadas ao concreto contribuem significativamente para o aumento da tenacidade, sendo esta a capacidade de absorver energia sem o colapso iminente e desavisado. Com isso, enquanto a matriz convencional rompe de forma brusca devido às tensões de fissuração, o concreto com fibras é capaz de suportar tensões mesmo após a matriz estar fissurada, assim, é possível manter a integridade estrutural e, ainda, maior coesão do material (ALMEIDA, 1999).

Atualmente procura-se melhorar, cada vez mais, as propriedades do concreto para pavimentos, buscando principalmente superar o seu comportamento frágil, aumentando a sua ductilidade e baixa resistência aos esforços de tração, assim, a adição de fibras de aço vem sendo uma alternativa promissora.

As fibras de aço distribuídas na matriz controlam a propagação de fissuras no concreto e, com isso, modificam o comportamento mecânico do mesmo, após a ruptura da matriz (CARNIO, 1998 apud SILVA; GUIMARÃES, 2005). Isso faz com que a capacidade de absorção de energia de deformação do concreto aumente e, assim, o concreto que é considerado um material frágil torna-se mais dúctil.

Através de estudos têm-se constatado que a adição de fibras de aço tende a melhorar o desempenho do concreto quando submetido a esforços de tração (CUCCHIARA et al., 2004 apud PASA; CAMPOS FILHO; PACHECO, 2007). Assim, os concretos com fibras são preferidos em pisos e pavimentos, pois com a correta adição de fibras à matriz cimentícia, estes apresentarão maior resistência a fissuração, impacto e desgaste, além de permitir uma redução do número de juntas e das espessuras das peças, melhorando o desempenho dos mesmos.

Entretanto, o concreto reforçado com fibras apresenta algumas limitações e desvantagens. Segundo Alvaredo (1994 apud FIGUEIREDO, 2000), o uso de fibras pode aumentar o risco de empenamento do pavimento por retração diferencial. Além disso, algumas fibras poderão ficar na superfície do concreto, conforme a figura 2.2

e, com isso, susceptíveis à corrosão provocando o surgimento de pontos de ferrugem o que, de certo modo, influencia no aspecto estético do pavimento. Dessa forma, são fundamentais os cuidados relacionados à cura e um adequado acabamento superficial do pavimento.



FIGURA 2.2 - Piso em concreto com adição de fibra de aço (CONSULTORIA E ANÁLISE, 2009).

2.5 Ensaio de flexão em placa triangular proposto por Almeida (1999)

Dentre os ensaios empregados para obter a resistência à tração do concreto e a tenacidade do mesmo, têm-se os de flexão em corpos-de-prova prismáticos (vigas), através do qual é possível ter um conhecimento prévio de como ocorrerá à fissuração dos corpos-de-prova, e os de flexão em placas quadradas, bastante utilizado para concretos projetados e que apresenta como vantagem a solicitação de uma grande seção tracionada, fazendo com que um número elevado de fibras seja mobilizado durante o teste.

Os ensaios em prismas apresentam como desvantagem resultados muitas vezes dispersos, em virtude de que a peça quando solicitada à tração origina uma pequena área fissurada e, assim, o número de fibras solicitadas durante o ensaio é reduzido. Enquanto que, em placas quadradas a desvantagem é o fato das mesmas não apresentarem uma disposição previsível das fissuras desenvolvidas durante o

ensaio e, também, os resultados originados são geralmente dispersos e difíceis de serem interpretados.

Assim, o ensaio de flexão em placas triangulares, apoiada em três pontos e carregada centralmente, proposto por Almeida (1999) surgiu devido à necessidade de obter um processo de fissuração conhecido e previsível durante o teste, fazendo com que uma grande área, solicitada a esforços de tração, fissure mobilizando um maior número de fibras durante o ensaio.

Almeida (1999) realizou esse ensaio com o intuito de proporcionar uma condição melhor definida para analisar o desempenho de tipos e formas de fibras diferenciadas e o comportamento destas dentro de matrizes de concreto.

Através da figura 2.3 constata-se que a placa triangular possui um processo de fissuração bem previsível e uma região bem definida de fissuração, sendo que, na simulação em elementos finitos é possível observar os esforços submetidos à placa, originando uma região de fissuração na área tracionada bem delimitada.

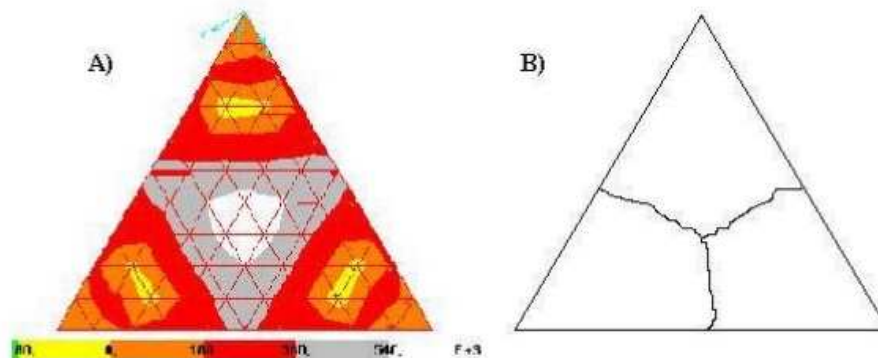


FIGURA 2.3 - Placas triangulares submetidas ao ensaio de flexão, sendo que, em (A) encontra-se a região inferior da placa, onde ocorrem as maiores tensões de tração com a possível região de ruptura demonstrada pelo estudo em elementos finitos (SAP2000) e, em (B) a exata configuração de fissuração no ensaio de flexão em placas triangulares (ALMEIDA, 1999).

O ensaio em placa triangular não possui uma norma específica para o teste e precisou ser totalmente elaborado e verificado pelo autor para que resultasse em um estudo confiável. A escolha pela geometria triangular das placas foi devido à redução no peso dos corpos-de-prova e a maior facilidade na confecção das formas. A configuração do ensaio pode ser vista na figura 2.4.



FIGURA 2.4 - Configuração do ensaio de flexão em placa triangular, utilizando polivinil expandido como apoio do dispositivo central (ALMEIDA, 1999).

No ensaio realizado por Almeida (1999) foram utilizados três extensômetros, sendo que, dois foram fixados externamente, com o objetivo de medir a deflexão na parte superior da placa e, o valor final era a média entre eles. O terceiro extensômetro, responsável pela medida de cravação que, posteriormente, era subtraída da média das medidas de deflexão, localizava-se na parte central da placa juntamente com o dispositivo aplicador de carga. Uma célula de carga com capacidade de 20 toneladas foi apoiada acima do dispositivo de apoio, localizado na parte central, para a obtenção dos valores de carga. Através de uma prensa servo-controlada foi possível aplicar a carga com velocidade de deformação ou de decida do pistão constante e, as leituras realizadas eram armazenadas em um sistema de aquisição de dados (data logger) proporcionando uma maior precisão das medidas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo é apresentada a metodologia experimental adotada nesta pesquisa e detalhadas as etapas do programa experimental, concebido com o intuito de atender os objetivos estabelecidos no capítulo 1.

3.1 Metodologia experimental

Este trabalho visa realizar uma análise do comportamento mecânico de concretos reforçados com distintos teores de fibras de aço buscando, assim, avaliar se a presença das fibras e a variação do volume das mesmas terão influencia sobre as propriedades mecânicas do concreto. Para isso, elaborou-se um programa experimental que está dividido nas seguintes etapas:

- Seleção e caracterização dos materiais a serem utilizados, bem como, a definição das misturas empregadas;
- Confeção de corpos-de-prova cilíndricos, prismáticos (vigas) e triangulares para a realização de ensaios, utilizando um tipo de fibra de aço, uma relação água/cimento e três teores distintos de fibras;
- Realização dos ensaios de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral em corpos-de-prova cilíndricos e de flexão em corpos prismáticos (vigas) e em placas triangulares.

As atividades do programa experimental foram realizadas no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa – Campus Alegrete/RS. Os testes preliminares necessários para a adequação do ensaio de flexão em placas triangulares, também, foram realizados nesse mesmo laboratório.

O programa experimental realizado para esta pesquisa pode ser observado na tabela 3.1, onde constam os ensaios realizados no desenvolvimento deste trabalho e a descrição e quantificação dos corpos-de-prova confeccionados, bem como, os diferentes teores de fibras utilizados, sendo que o nível de resistência de dosagem foi fixado em 30 MPa e utilizou-se fibras de aço do tipo solta.

TABELA 3. 1 - Determinação dos ensaios, corpos-de-prova e teores de fibras empregados no programa experimental

Ensaio	Classificação dos corpos-de-prova	Teor de fibra de aço (kg/m ³)	Nº de corpos-de-prova	Total do nº de corpos-de-prova
Resistência à compressão	Cilíndricos (10x20 cm)	0	8	32
		15	8	
		25	8	
		35	8	
Compressão diametral	Cilíndricos (10x20 cm)	0	4	16
		15	4	
		25	4	
		35	4	
Flexão	Prismas (15x15x45 cm)	0	3	12
		15	3	
		25	3	
		35	3	
	Placa triangular equilátera de 60 cm	0	3	12
		15	3	
		25	3	
		35	3	
Total				72

Com a determinação das variáveis mostradas na tabela 3.1, buscou-se analisar os concretos reforçados com fibras com o intuito de atender os objetivos da pesquisa.

3.2 Materiais: Seleção e Caracterização

Os materiais utilizados na pesquisa foram os comumente empregados para a confecção de concretos da região.

3.2.1 Cimento

Para realizar esta pesquisa utilizou-se o cimento Portland pozolânico, CP IV-32. As características deste cimento encontram-se na tabela 3.2.

TABELA 3. 2 - Características físicas, químicas e mecânicas do cimento CP IV-32

Características Químicas

Ensaio	Norma	Unidade	Valores obtidos	Especificação da norma NBR 5736/91
Perda ao fogo	NBR NM 18/04	%	3,62	≤ 4,5
M _g O	NBR NM 14/04	%	5,69	≤ 6,5
SO ₃	NBR NM 16/04	%	2,29	≤ 4
Resíduo insolúvel	NBR NM 15/04	%	31,66	-

Características Físicas

Ensaio	Norma	Unidade	Valores obtidos	Especificação da norma NBR 5736/91
Área específica (Blaine)	NBR NM 76/98	cm ² /g	4489	-
Massa específica	NBR NM 23/01	g/cm ³	2,74	-
Finura – Resíduo na peneira de 0,075 (≠ 200)	NBR 11579/91	%	0,4	≤ 8,0
Finura – Resíduo na peneira de 0,044 (≠ 325)	NBR 12826/93	%	2,2	-
Início de pega	NBR NM 65/03	h:min	04:01	≥ 1
Início de pega	NBR NM 65/03	h:min	05:18	≤ 12
Expansibilidade à quente	NBR 11582/91	Mm	0,00	≤ 5

Características Mecânicas

Ensaio – Resistência a compressão	Norma	Unidade	Valores obtidos	Especificação da norma NBR 5736/91
3 dias	NBR 7215/96	MPa	17,7	≥ 10,0 MPa
7 dias			22,2	≥ 20,0 MPa
28 dias			38,8	≥ 32,0 MPa

Fonte: Laboratório da companhia de cimento Portland Pinheiro Machado, Votoran, outubro, 2010.

3.2.2 Agregado

Na pesquisa foram utilizados agregados provenientes de jazidas locais.

3.2.2.1 Agregado graúdo

De acordo com o ACI (1993 apud CHODOUNSKY; VIECILI, 2007) agregados graúdos maiores do que 19 mm não são recomendados para concretos reforçados com fibras. Na tabela 3.3 encontra-se a caracterização do agregado graúdo empregado na confecção dos concretos com fibras.

TABELA 3. 3 - Caracterização do agregado graúdo

Determinações	Valores obtidos		Norma	
Composição granulométrica	Aberturas de peneiras ABNT (mm)	Porcentagem retida em massa (%)		NBR NM 248
		Individual	Acumulada	
	19	0	0	
	12,5	28,09	28,09	
	9,5	28,17	56,26	
	6,3	35,16	91,42	
	4,75	7,23	98,65	
	2,36	1,20	99,85	
	Fundo	0,15	100	
Total	100	-		
Dimensão máxima característica (mm)	12,5		NBR NM 248	
Módulo de finura	2,55		NBR NM 248	
Massa específica (g/cm ³)	2,745		NBR NM 53	
Massa unitária (g/cm ³)	1,527		NBR 7251	

3.2.2.2 Agregado miúdo

As características da areia, utilizada no trabalho, estão apresentadas na tabela 3.4.

TABELA 3. 4 - Caracterização da areia

Determinações	Valores obtidos		Norma
	Aberturas de peneiras ABNT (mm)	Porcentagem retida em massa (%)	
Composição granulométrica		Individual	Acumulada
	6,3	0	0
	4,75	0	0
	2,36	0,50	0,50
	1,18	3,38	3,88
	0,6	2,04	5,92
	0,3	39,97	45,89
	0,15	49,76	95,65
	Fundo	4,35	100
Total	100	-	
Dimensão máxima característica (mm)	2,36		NBR NM 248
Módulo de finura	1,52		
Massa específica (g/cm ³)	2,639		NBR 9776
Massa unitária (g/cm ³)	1,614		NBR 7251

3.2.3 Fibras

As fibras usadas são do tipo com ancoragem em gancho, pois apresentam uma melhor aderência e uma resistência adequada ao processo de mistura. Elas foram fornecidas em unidades separadas (soltas), conforme mostra a figura 3.1, sendo fabricadas pela Maccaferri e suas características físicas e mecânicas encontram-se tabela 3.5.

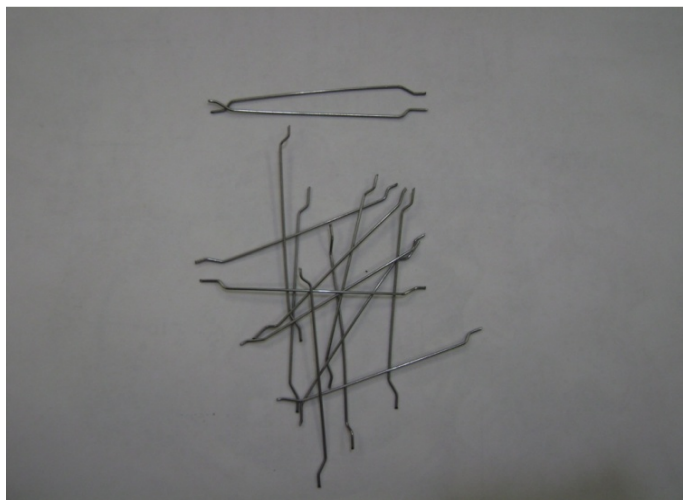


FIGURA 3.1 - Fibra de aço utilizada.

TABELA 3. 5 - Caracterização das fibras de aço solta (FF4)

Propriedades Físicas	Fibra de aço: Wirand FF4 (solta)
Relação L/d (comprimento / diâmetro)	80
Diâmetro (mm)	0,75
Comprimento (mm)	60

Propriedades Mecânicas	Fibra de aço: Wirand FF4 (solta)
Resistência à tração do aço (MPa)	>1100
Deformação na ruptura (%)	<4
Módulo elástico (MPa)	210000

Fonte: Especificações técnicas da empresa Maccaferri América Latina, março, 2011.

3.2.4 Aditivo

Os aditivos têm uma função importante no sentido de manter a trabalhabilidade do concreto, a qual acaba diminuindo com a adição de maiores volumes de fibras. Os aditivos que possuem uma adequada compatibilidade com o cimento, ocasionam concretos mais fluidos, proporcionando a utilização de baixas relações água/cimento sem a necessidade de aumentar consideravelmente a quantidade de cimento.

Para este trabalho foi empregado aditivo do tipo superplastificante, denominado de Adiment Super, da marca Vedacit, o qual apresenta em sua composição naftaleno sulfonado. As características destes aditivos podem ser observadas através da tabela 3.6.

TABELA 3. 6 - Características do aditivo

Nome	Tipo	Densidade (g/m³)	Valores recomendados (%)
Adiment Super	Superplastificante	1,10	0,50 a 1,50

Fonte: Especificações técnicas da Vedacit.

3.2.5 Água

A água utilizada para a confecção dos corpos-de-prova provém da rede de abastecimento local.

3.3 Definição dos traços

Os traços dos concretos produzidos nesta pesquisa foram obtidos de acordo com o método do IPT/EPUSP, onde o mesmo considera a relação água/cimento (a/c) o parâmetro mais relevante para o concreto estrutural, assim, definidos certos materiais, uma relação a/c e mantida uma mesma trabalhabilidade da mistura, a resistência e durabilidade se tornam únicas (HELENE; TERZIAN, 1992).

A determinação do traço deu-se através de ajustes laboratoriais em função do teor de argamassa e da trabalhabilidade, buscando por uma resistência de dosagem de 30 MPa. O valor do teor de argamassa adotado foi de 52% e utilizou-se o traço 1:3,5 (1:m) com uma relação água/cimento de 0,42, sendo que o abatimento do tronco de cone ficou estabelecido como sendo de 80mm \pm 20 mm.

Para esta pesquisa, foram confeccionadas 4 misturas diferentes nas quais foi variado o teor de fibra de aço, sendo que, uma delas foi a de referência, sem fibras, em outra utilizou-se o teor indicado pelo fabricante das fibras (25 kg/m³) e duas misturas alternativas, uma com 15 kg/m³ de fibras e outra com 35 kg/m³.

Nos traços em que foram adicionadas fibras de aço e que houve a necessidade de ajustar a trabalhabilidade, esta foi realizada com o auxílio de aditivo superplastificante. A tabela 3.7 apresenta as composições utilizadas na produção das amostras.

TABELA 3. 7 - Misturas do traço 1:3,5 (1:1,3:2,2)

Materiais	M0	M15	M25	M35
Fibras (kg/m ³)	0	15	25	35
Cimento (kg/m ³)	491,80	491,80	491,80	491,80
Areia (kg/m ³)	639,34	639,34	639,34	639,34
Brita (kg/m ³)	1081,97	1081,97	1081,97	1081,97
Água (l/m ³)	206,56	206,56	206,56	206,56
Superplastificante (l/m ³)	-	-	-	2,46

Onde: M0 – Concreto referência (sem adição de fibra)

M15 – Concreto com 15 kg/m³ de fibra de aço

M25 – Concreto com 25 kg/m³ de fibra de aço

M35 – Concreto com 35 kg/m³ de fibra de aço

3.4 Confeção e moldagem dos corpos-de-prova

De acordo com os estudos realizados é de grande relevância na confecção dos concretos reforçados o modo como ocorre à adição das fibras, pois estas podem sofrer empelotamento mesmo antes da sua colocação na mistura, podendo prejudicar a homogeneidade da mesma.

Assim, as misturas dos concretos foram realizadas mecanicamente, com o auxílio de uma betoneira intermitente de queda livre, com eixo inclinado e capacidade para 420 l, em virtude do problema de empelotamento das fibras. A imprimação da betoneira foi realizada com uma argamassa de cimento e areia, na proporção 1:3 e com uma relação água/cimento similar ao traço empregado.

Os materiais foram dosados em massa e a ordem de colocação na betoneira permaneceu a mesma desde o início dos trabalhos, seguindo a seguinte seqüência:

- 100% do agregado graúdo;
- 65% da água de amassamento;
- 100% do cimento;
- 65% do agregado miúdo;
- 35% da água de amassamento;
- 35% do agregado miúdo.

Na mistura M35 que foi necessário a adição de aditivo superplastificante, o mesmo foi utilizado em conjunto com os 35% restantes da água de amassamento. Logo depois de observada a completa homogeneidade da mistura, as fibras eram adicionadas manualmente de forma pausada, com a betoneira em funcionamento, para obter uma distribuição uniforme por toda massa.

Para a realização dos ensaios de compressão axial e compressão diametral foram realizadas 4 misturas em um mesmo dia para a confecção, por betonada, de 12 corpos-de-prova cilíndricos de 10x20cm . Os mesmos foram moldados em

moldes metálicos, conforme figura 3.2, e adensados por meio de processo manual, seguindo a norma NBR 5738 (2003), realizado em duas camadas de 20 golpes cada.



FIGURA 3.2 - Corpos-de-prova cilíndricos.

Já para realizar os ensaios de flexão em corpos-de-prova prismáticos (vigas) e em placas triangulares foram elaboradas 4 misturas realizadas em dias distintos, sendo realizada uma betonada, por dia, para a produção de 3 corpos-de-prova prismáticos de 15x15x45cm (figura 3.3) e 3 placas de formato triangular com 60cm de lado e 10cm de altura (figura 3.4), estes corpos-de-prova, também, foram adensados manualmente.



FIGURA 3.3 - Forma utilizada na confecção dos corpos-de-prova prismáticos (vigas).



FIGURA 3.4 - Forma utilizada na confecção das placas triangulares.

Após a mistura, para cada betonada, foi determinada a trabalhabilidade do concreto através do teste de abatimento do tronco de cone (figura 3.5), de acordo com a norma NBR NM 67 (1998), procurando respeitar o valor de $80 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$, os valores de abatimento encontram-se na tabela 3.8.



FIGURA 3.5 - Abatimento do tronco de cone.

TABELA 3. 8 - Consistência dos concretos para as diferentes misturas produzidas

Corpo-de-prova	Abatimentos (mm)			
	M0	M15	M25	M35
Cilíndrico	95	80	70	73
Viga/Placa	100	87	79	84

Após a moldagem, esperou-se 24 horas para a desforma. Imediatamente após a desforma os corpos-de-prova foram colocados em cura submersa de água rica em cal. Os corpos-de-prova só eram retirados da cura imediatamente antes de serem ensaiados.

3.5 Descrição dos ensaios

A seguir, serão descritos os ensaios realizados na pesquisa, os quais foram executados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa.

3.5.1 Ensaio de resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial em corpos-de-prova cilíndricos, com e sem adição de fibras, permite verificar a perda ou ganho desta propriedade onde a ruptura do corpo-de-prova de concreto comprimido é devido ao colapso interno das ligações, com isso, às vezes, não ocorre ruptura externa, mas em virtude da deformação interna o concreto não suporta o aumento de sollicitação (JACINTHO; GIONGO, 2005).

Foram ensaiados 32 corpos-de-prova de acordo com a NBR 5739 (1994), sendo 8 para cada mistura empregada no programa experimental e destes 4 foram ensaiados aos 7 dias e 4 aos 28 dias de idade.

O ensaio foi realizado em uma prensa hidráulica, conforme figura 3.6, e os corpos-de-prova foram regularizados, através de uma serra circular, com o objetivo de solucionar problema de concentração de tensões.



FIGURA 3.6 - Execução do ensaio de compressão axial.

3.5.2 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de resistência à compressão diametral é realizado em corpos-de-prova cilíndricos onde estes são submetidos a forças de compressão linearmente distribuídas e diametralmente opostas, com isso, originam-se tensões de tração perpendiculares ao plano de ação da força.

Para este ensaio, utilizou-se 16 corpos-de-prova (4 para cada mistura) que foram ensaiados, aos 28 dias de cura, de acordo com a NBR 7222 (1994). O ensaio foi executado na mesma prensa hidráulica, na qual foram acoplados dispositivos específicos (figura 3.7) para este tipo de ensaio.



FIGURA 3.7 - Dispositivos específicos acoplados à prensa para realização do ensaio de compressão diametral.

3.5.3 Ensaio de flexão em corpos prismáticos (vigas)

No ensaio de resistência à tração na flexão em corpos prismáticos, além da resistência é possível, a partir dos dados obtidos, relacionar a tensão aplicada com a deformação do corpo-de-prova submetido às tensões em questão.

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 12142 (1991), onde foram ensaiados aos 28 dias, 12 corpos-de-prova (3 para cada mistura) com dimensões de 15x15x45 cm.

Assim, as vigas foram apoiadas na parte inferior através de dois cutelos e na parte superior foi aplicada a carga, por meio de outros dois cutelos, na região central do prisma, precisamente em cada terço da sua dimensão, promovendo assim uma flexão em quatro pontos, como mostra a figura 3.8.



FIGURA 3.8 - Ensaio de flexão em vigas.

Para a medição das deformações, utilizou-se um relógio comparador posicionado em uma cantoneira metálica, localizada no centro do corpo-de-prova, fixada ao concreto com cola plástica. Este relógio estava acoplado a uma base magnética conectada na prensa, como mostra a figura 3.9.



FIGURA 3.9 - Relógio comparador acoplado em uma base magnética.

Pelo fato de não haver disponível dispositivos eletrônicos para a aquisição e armazenamento dos dados das leituras de deformação, estas foram realizadas visualmente.

3.5.4 Ensaio de flexão em placas triangulares

O ensaio de flexão em placas triangulares realizado nesta pesquisa foi baseado no ensaio proposto por Almeida (1999). As placas triangulares eqüiláteras de 60 cm de lado e 10 cm de altura foram ensaiadas aos 28 dias de idade, sendo submetidas ao teste 3 placas para cada diferente tipo de mistura.

Com o objetivo de evitar o esmagamento do corpo-de-prova junto aos apoios, foram fixadas ao concreto, com cola plástica, chapas metálicas quadradas posicionadas a 5 cm das extremidades do triângulo (figura 3.10) e no centro de aplicação de carga (figura 3.11). Além disso, foi colada uma chapa metálica retangular no centro da placa (figura 3.10) para a realização das leituras de deformação.



FIGURA 3.10 - Chapas metálicas quadradas posicionadas nas extremidades do triângulo e retangular posicionada no centro da placa.



FIGURA 3.11 - Chapa metálica quadrada fixada no centro de aplicação de carga na placa.

Em função do laboratório da universidade ainda não dispor de laje de reação e pórtico de carga, usou-se o artifício de usar a estrutura do prédio da universidade como estrutura de reação à aplicação do carregamento. A placa triangular foi posicionada entre dois pilares do prédio da Unipampa – Campus Alegrete, sendo que,

foram utilizados trilhos metálicos na parte superior e inferior da placa como forma de apoio para a mesma. A carga foi aplicada no centro da placa triangular através de um conjunto hidráulico com capacidade para 10 toneladas. As leituras de deformação foram realizadas no centro do corpo-de-prova através de um relógio comparador, o qual tinha sua extremidade posicionada não diretamente na superfície do concreto, mas em uma chapa metálica retangular fixada na parte central da placa. O relógio foi acoplado em uma base magnética conecta no perfil metálico inferior utilizado de apoio para a placa triangular, conforme pode ser observado na figura 3.12.



FIGURA 3.12 - Configuração do ensaio de flexão em placa triangular.

Assim, como no ensaio de flexão em prisma as medidas de carga e deformação foram realizadas visualmente, devido à indisponibilidade de dispositivos eletrônicos para a aquisição e armazenamento de dados, sendo assim, somente foi possível obter os valores máximos de carga e deformação das placas.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados oriundos dos ensaios realizados nos concretos reforçados com fibras e suas respectivas análises.

Como evidenciado no Capítulo três, os concretos reforçados com fibras de aço foram confeccionados para a obtenção da resistência à compressão axial, à tração por compressão diametral e ensaios de flexão em corpos prismáticos (vigas) e placas triangulares.

4.1 Ensaio de resistência à compressão axial

O estudo da resistência à compressão tem como objetivo mostrar a influência das fibras no incremento de resistência da matriz com o passar do tempo, pois no meio científico existem contradições em relação à perda ou ganho nesta propriedade, sendo que, alguns pesquisadores encontraram um ganho na resistência enquanto outros obtiveram resultados contrários, designando este baixo desempenho a problemas na mistura. Assim, os ensaios de resistência à compressão foram realizados aos 7 e 28 dias após a desforma.

Encontram-se na figura 4.1 os valores médios obtidos nas referidas idades para os concretos sem a adição de fibras, denominados de referência, e para os concretos com a adição das fibras, além dos seus respectivos teores.

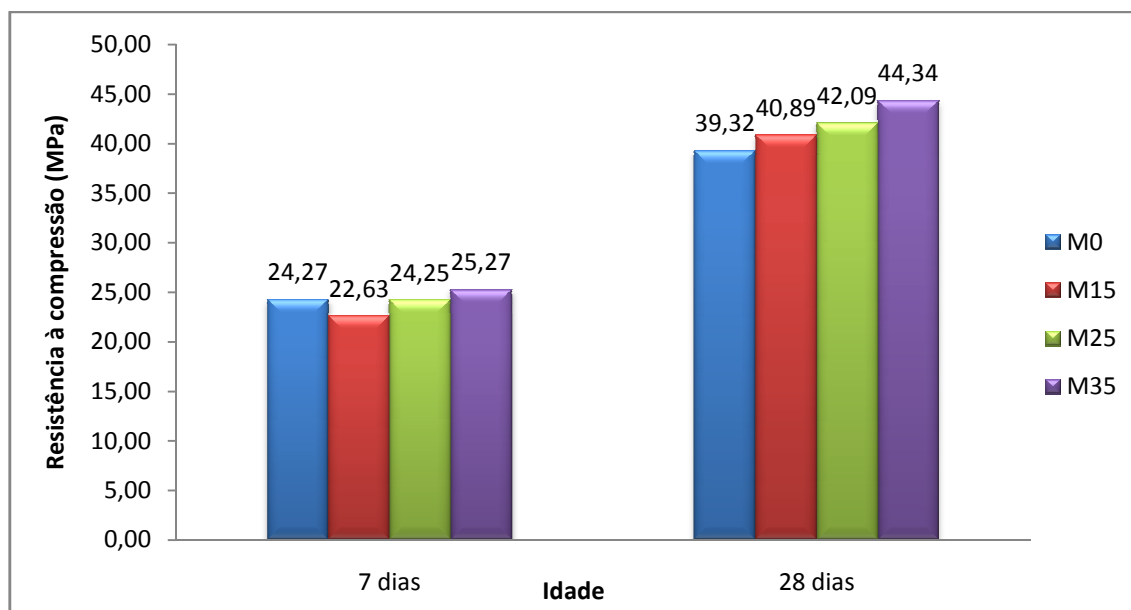


FIGURA 4.1 - Resistência à compressão axial do concreto sem e com adição de fibras de aço, nos teores indicados e nas idades de estudo.

Através dos resultados apresentados na figura 4.1, constata-se que, aos 7 dias, o concreto referência possui uma resistência pouco maior do que a dos concretos reforçados com fibras de aço, havendo uma exceção para o concreto com 35 kg/m³ de fibra que apresentou um ganho de resistência de 4,11% em relação ao traço referência. Contudo, estas diferenças são pouco significativas e pode-se concluir que aos 7 dias a presença de fibras pouco influenciou na resistência à compressão. Por outro lado, aos 28 dias, os concretos reforçados com fibras apresentaram resistências maiores que o concreto de referência, sendo que quanto maior o teor de fibras empregado maior foi a resistência obtida, assim, ocorreu um ganho médio de resistência de 7,95% dos concretos com fibra de aço em relação ao referência, sendo que o menor ganho foi de 4,01% correspondente ao concreto de menor proporção de fibra de aço por metro cúbico (15 kg/m³), conforme figura 4.2.

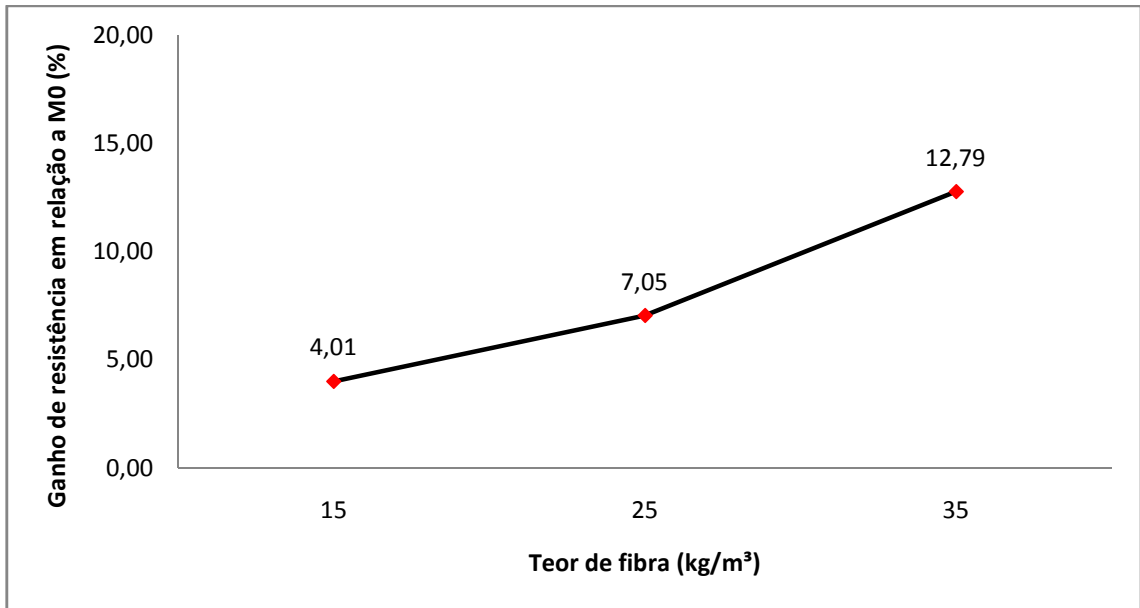


FIGURA 4.2 - Ganho de resistência, aos 28 dias, na compressão axial para os diferentes teores de fibras empregados em relação ao concreto de referência.

Assim, aos 28 dias de idade pode-se observar, pela tabela 4.1, que o concreto com adição de 35 kg/m³ de fibras de aço apresentou um ganho de resistência à compressão axial da ordem de 5,35% em relação ao concreto com 25 kg/m³.

TABELA 4. 1 - Acréscimo de resistência x Teor de fibras de aço

Teores de fibra de aço (kg/m ³)	Acréscimo de resistência na compressão axial (%)
25 - 15	2,93
35 - 25	5,35

Além disso, a utilização das fibras não comprometeu o comportamento tradicional do concreto, pois com o passar do tempo ocorreu um aumento de resistência. Com isso, a figura 4.3 apresenta o acréscimo de resistência adquirido aos 28 dias idade dos concretos em relação aos 7 dias.

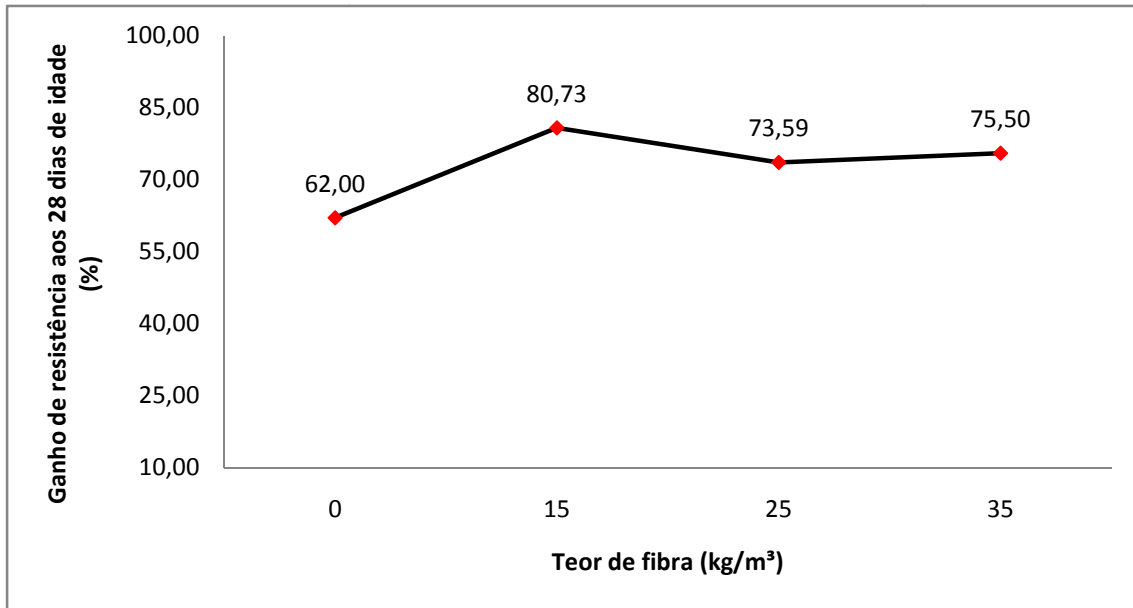


FIGURA 4.3 - Ganho de resistência, na compressão axial, dos concretos aos 28 dias de idade em relação aos 7 dias.

4.2 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Os resultados dos ensaios de tração por compressão diametral realizados aos 28 dias estão demonstrados na figura 4.4.

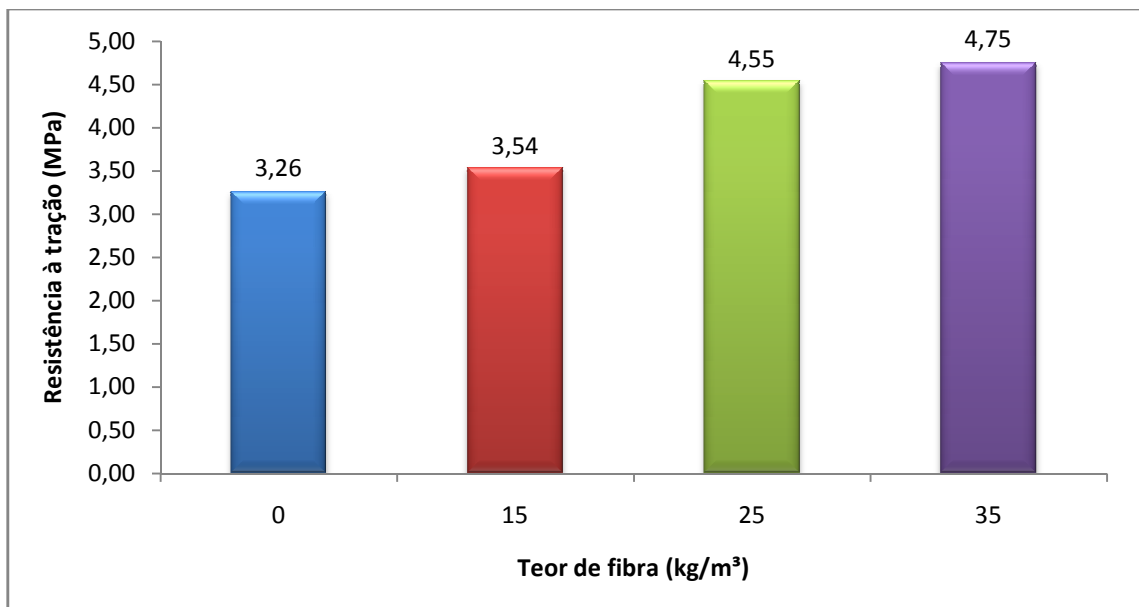


FIGURA 4.4 - Resistência à tração por compressão diametral do concreto sem e com adição de fibras de aço.

Ao analisar os dados de resistência à tração por compressão diametral apresentados na figura 4.4 nota-se que há um acréscimo de resistência em função do aumento do teor de fibra de aço, sendo que nos traços com adição ocorreu um ganho médio de resistência de 31,30% em relação ao concreto sem fibra.

Os ganhos de resistência em função dos teores de fibras de aço empregados no concreto podem ser vistos na figura 4.5 e na tabela 4.2.

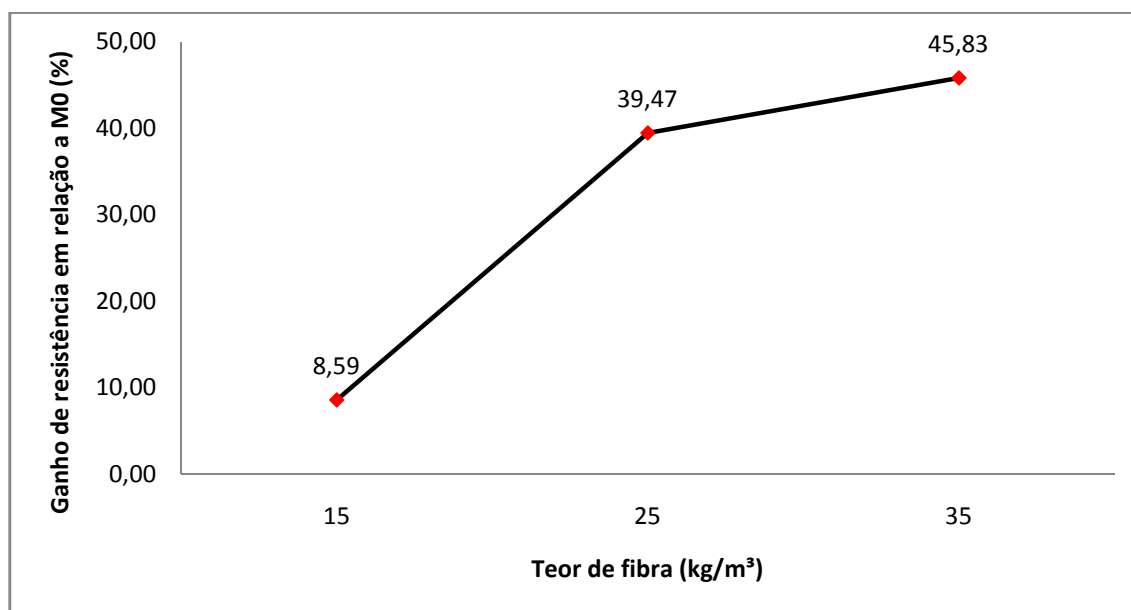


FIGURA 4.5 - Ganho de resistência à tração por compressão diametral para os diferentes teores de fibras empregados.

TABELA 4. 2 - Acréscimo de resistência x Teor de fibras de aço

Teores de fibra de aço (kg/m³)	Acréscimo de resistência à tração por compressão diametral (%)
25 - 15	28,44
35 - 25	4,56

Assim, fica evidenciado que o concreto com o teor de 25 kg/m³ (indicado pelo fabricante) foi o que demonstrou o melhor desempenho no ensaio de compressão diametral, pois apresentou um ganho de resistência de 28,44% em relação ao teor de 15 kg/m³.

Além disso, os concretos reforçados com fibras de aço apresentaram uma mudança no comportamento de ruptura, pois enquanto os corpos-de-prova de referência romperam bruscamente, os com adição de fibras demonstraram uma

ruptura dúctil, fissurando, mas não rompendo, como pode ser observado na figura 4.6.



(a)



(b)

FIGURA 4. 6 - Corpos-de-prova sem adição de fibra de aço (a) e com adição de fibra (b) submetidos ao ensaio de compressão diametral.

4.3 Ensaio de flexão em corpos prismáticos (vigas)

Os ensaios de flexão em corpos prismáticos (vigas) foram realizados com o objetivo de obter a resistência à tração na flexão do concreto, com diferentes teores de fibra de aço, e a deformação apresentada pelo mesmo. Os resultados das resistências médias obtidas nos ensaios para as diferentes misturas empregadas encontram-se na figura 4.7.

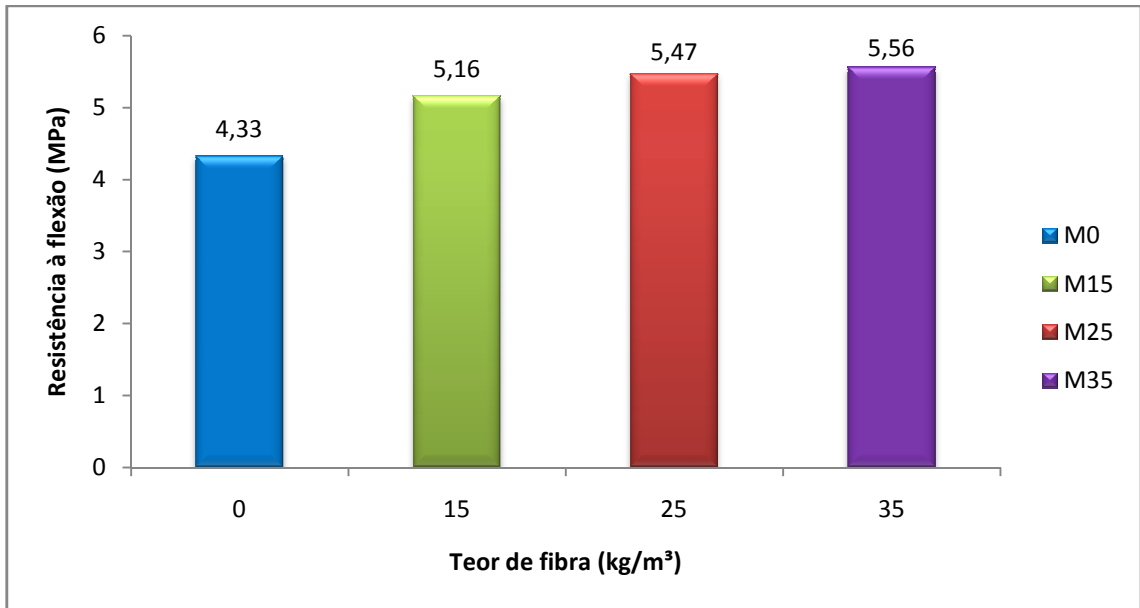


FIGURA 4.7 - Resistência à tração na flexão em prismas para as diferentes misturas empregadas.

Da mesma forma que na resistência à compressão diametral, os resultados de flexão a quatro pontos apontam que a presença de fibras aumenta a resistência à tração do concreto com relação à mistura de referência.

Através da figura 4.8 e da tabela 4.3, pode-se notar o acréscimo de resistência das misturas com fibras em relação à mistura referência.

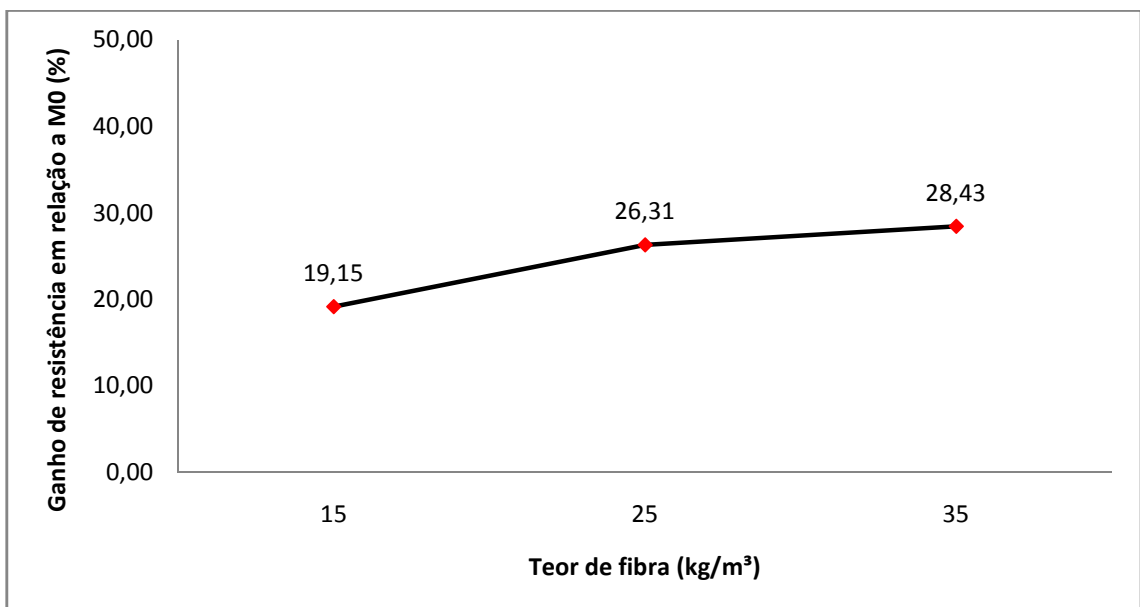


FIGURA 4.8 - Ganho de resistência à tração na flexão em prismas para os diferentes teores de fibras empregados.

TABELA 4. 3 - Acréscimo de resistência x Teor de fibras de aço

Teores de fibra de aço (kg/m ³)	Acréscimo de resistência à tração na flexão em prismas (%)
25 -15	6,01
35 - 25	1,68

Como pode ser visto na figura 4.8 e na tabela 4.3, nos ensaios de tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos o maior ganho de resistência, em relação ao teor de fibra adicionado, ocorreu na mistura com 25 kg/m³ de fibras, sendo que o acréscimo foi de 6,01% em relação à mistura M15.

Na figura 4.9 é possível observar a correlação entre os valores encontrados para a resistência à flexão e a deformação dos concretos com fibras.

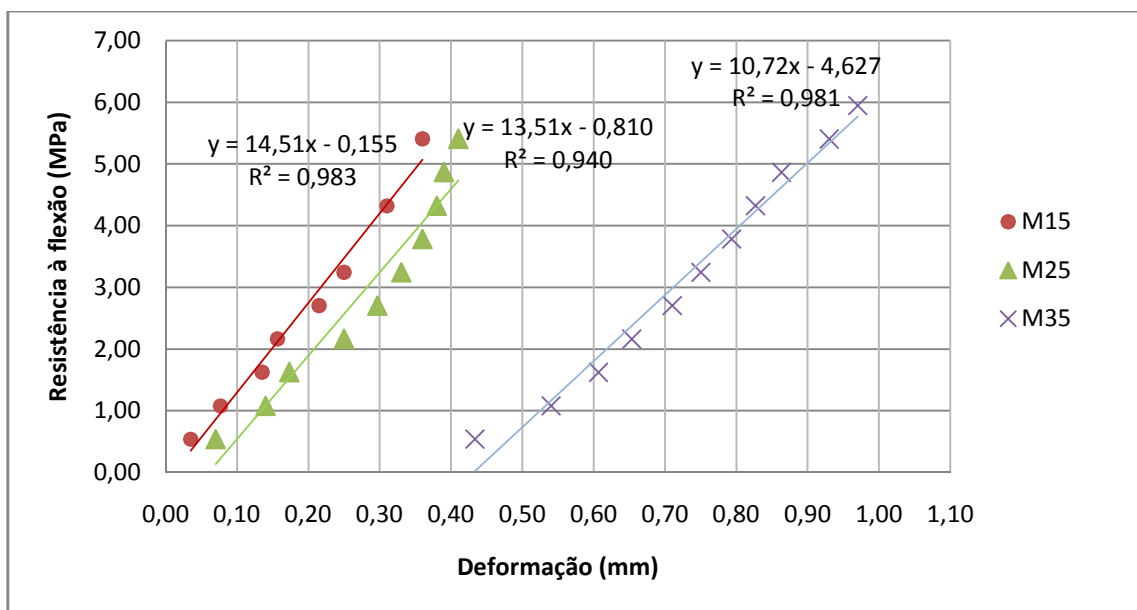


FIGURA 4.9 - Relação entre os resultados de resistência à tração na flexão e a deformação das vigas.

Através dos valores demonstrados acima, pode-se constatar que quanto maior o teor de fibra empregado no concreto maior será sua resistência à tração na flexão e conseqüentemente sua deformação, obtendo todos coeficientes de correlação, R^2 , maiores que 0,94.

Como evidenciado nos ensaios de compressão diametral, pode-se constatar, também, no ensaio de flexão que as vigas com adição de fibras de aço demonstraram um comportamento mais “suave” durante os ensaios (figura 4.10),

enquanto que, os corpos-de-prova sem fibras romperam bruscamente (figura 4.11). Mesmo após o aparecimento das primeiras fissuras, o corpo-de-prova dos concretos com fibra seguia aceitando acréscimos de carga. Isso ocorre porque as fissuras são “costuradas” pelas fibras de tal forma que os mecanismos de transferência de tensões entre as faces da fissura proporcionam ao compósito a capacidade de suportar cargas em níveis de deslocamento superiores àqueles onde a fissuração da matriz é verificada (FIGUEIREDO, 2006).



FIGURA 4.10 - Ruptura à flexão de viga com adição de fibra de aço.



FIGURA 4.11 - Ruptura à flexão de viga sem adição de fibra de aço.

4.4 Ensaio de flexão em placas triangulares

O ensaio de flexão em placas triangulares tem como objetivo verificar a carga máxima resistida por concretos reforçados com distintos teores de fibras de aço, além, de sua deformação. A escolha por esta configuração de placa deve-se ao fato de que o processo de fissuração ocorrido durante o teste é conhecido e previsível, além disso, o volume da mesma é bem menor do que o de uma placa quadrada, usualmente utilizada em ensaios de flexão.

De acordo com a descrição deste ensaio no item 3.5.4 os valores obtidos das cargas e deformações máximas para as 3 amostras das diferentes misturas de concreto encontram-se na figura 4.12.

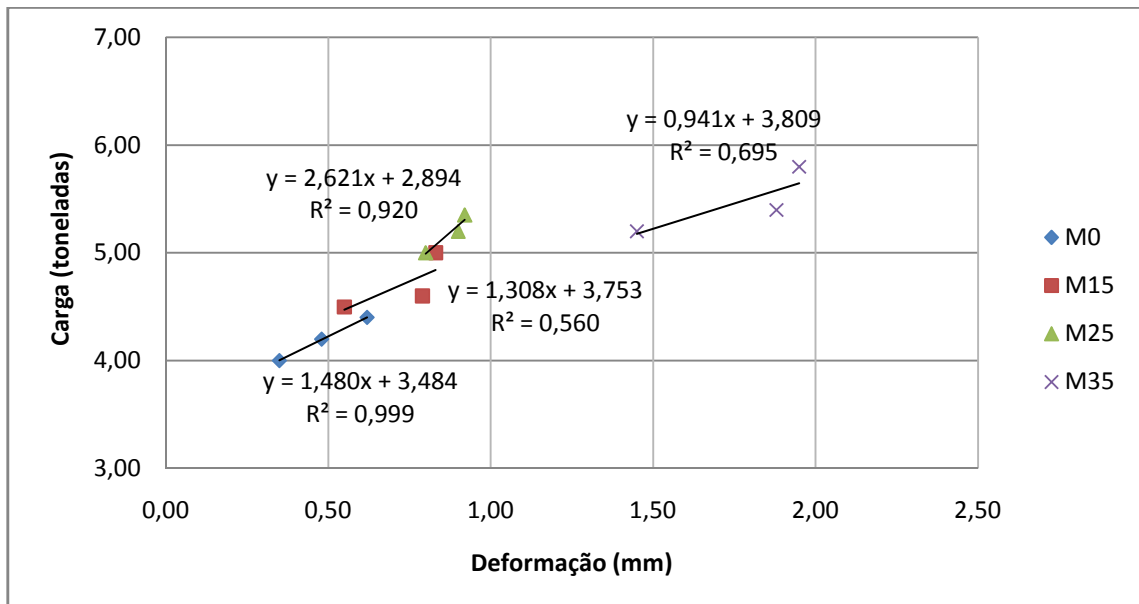


FIGURA 4.12 - Valores obtidos no ensaio de flexão em placas triangulares.

A figura 4.12 mostra dois comportamentos já apontados nos resultados anteriores, primeiro, que a adição de fibras é efetiva em aumentar a resistência à tração do concreto e, segundo, que estas tornam o concreto mais deformável, ou seja, conferem-lhe um comportamento mais dúctil. A figura 4.12 apresenta para cada mistura o resultado de três corpos-de-prova iguais. Em função da dificuldade de execução do ensaio, a variação entre as amostras de uma mesma mistura foi maior do que a esperada. Esse fato é observado nos coeficientes de correlação R^2 , com

um mínimo de 0,56 para a mistura M15. Contudo, a figura 4.12 é suficiente para tomar as observações citadas.

A figura 4.13 apresenta as cargas médias para os três corpos-de-prova de cada uma das misturas.

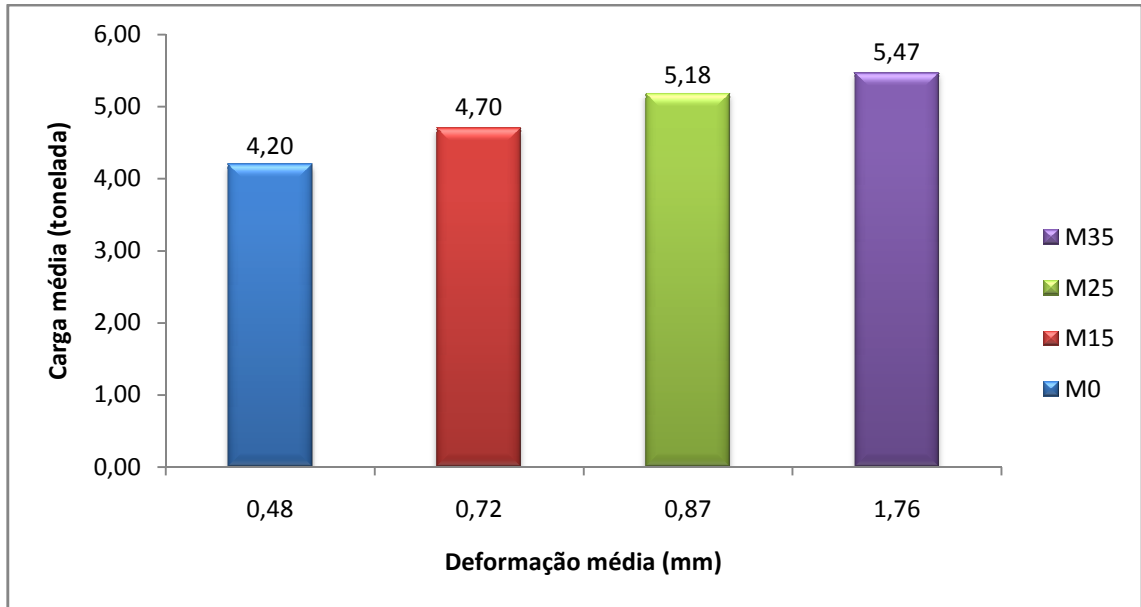


FIGURA 4.13 - Valores médios de carga e deformação obtidos nos ensaios de flexão em placas.

Na figura 4.14 e na tabela 4.4 é possível observar o acréscimo de resistência com o teor de fibra no ensaio de flexão em placas triangulares.

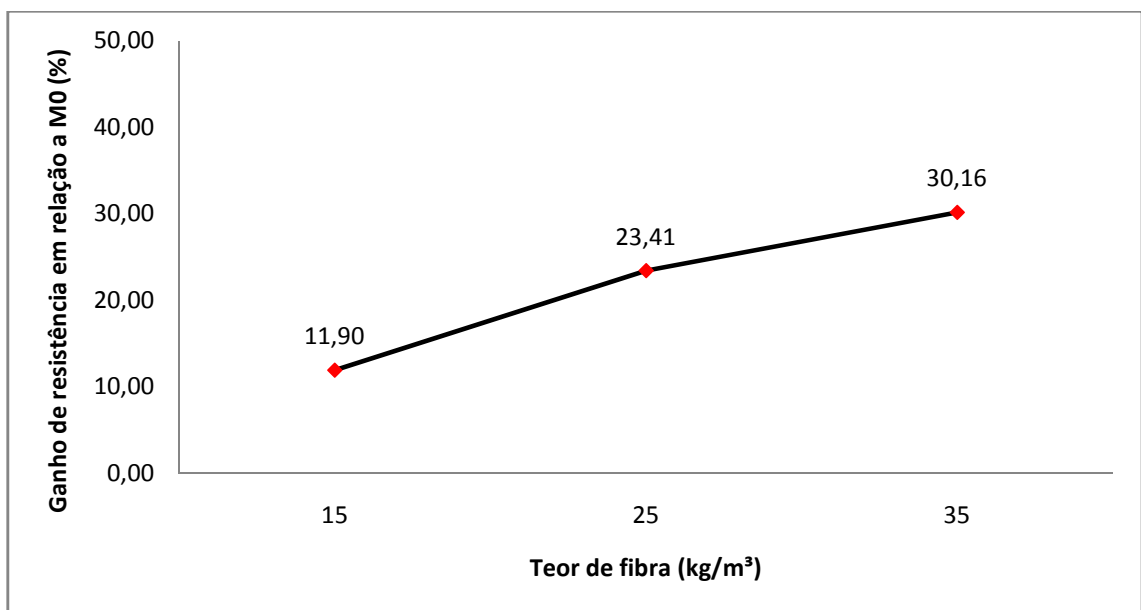


FIGURA 4.14 - Ganho de resistência à flexão em placas triangulares para os diferentes teores de fibras empregados.

TABELA 4. 4 - Acréscimo de resistência x Teor de fibras de aço

Teores de fibra de aço (kg/m ³)	Acréscimo de resistência à flexão em placas triangulares (%)
25 -15	10,28
35 - 25	5,47

A partir dos resultados mostrados na figura 4.14, verifica-se que as placas com fibras de aço apresentaram um ganho médio de carga aplicada de 21,82% em relação às placas sem fibras. Além disso, pela tabela 4.4 pode-se observar que os concretos elaborados com a mistura M25 foram os que obtiveram o maior ganho de resistência, atingindo patamares de 10,28% em relação à mistura M15.

Já em relação à deformação das amostras, constata-se que as placas triangulares que apresentavam fibras em sua mistura demonstraram um acréscimo médio de deformação de 131,50% em relação às placas sem fibras, sendo que, as amostras com 35 kg/m³ de fibras foram as que apresentaram maior acréscimo de deformação, atingindo 101,53% a mais que a amostra com 25 kg/m³, conforme mostra a figura 4.15 e a tabela 4.5.

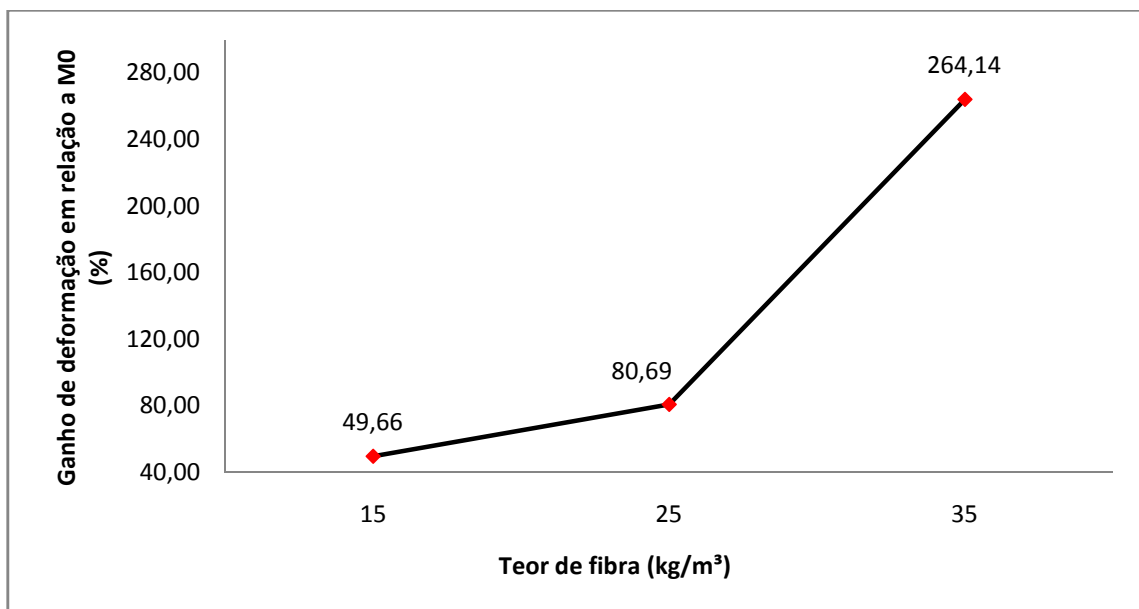


FIGURA 4.15 - Ganho de deformação na flexão em placas triangulares para os diferentes teores de fibras empregados.

TABELA 4. 5 - Acréscimo de deformação x Teor de fibras de aço

Teores de fibra de aço (kg/m ³)	Acréscimo de deformação em placas triangulares (%)
25 -15	20,74
35 - 25	101,53

Outro aspecto, já apontado por Almeida (1999), nas placas triangulares sem fibras de aço (figura 4.16), bem como, nas placas com presença de fibras na sua matriz (figura 4.17), é que a fissuração apresenta-se com conformação previsível durante o teste.



FIGURA 4.16 - Ruptura de placa triangular sem fibra de aço.



FIGURA 4.17 – Ruptura de placa triangular com fibra de aço.

Como pode ser visto, nas figuras 4.16 e 4.17, as placas triangulares de referência, sem fibras de aço, romperam bruscamente dividindo-se em três partes, já as amostras com fibras apresentaram um comportamento de ruptura mais ameno, apenas com o aparecimento das fissuras previsíveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões sobre o comportamento de concretos reforçados com fibras de aço, extraídas a partir do programa experimental conduzido.

Além disso, serão apresentadas sugestões que poderão embasar o desenvolvimento de outras pesquisas utilizando os concretos reforçados com fibras.

5.1 Conclusões

Com o crescimento do tráfego nas rodovias brasileiras nos últimos anos é notório a intensa busca por novas tecnologias dos materiais empregados para pavimentação, visando melhorias e desenvolvimento nesta área. Assim, através de estudos para a criação de novos métodos e aprimorando de procedimentos utilizados busca-se otimizar os processos e diminuir os custos envolvidos no emprego desses materiais, visando maior desempenho e durabilidade dos pavimentos, levando em consideração questões sócio-ambientais.

Neste trabalho, procurou-se realizar um estudo do desempenho de concretos reforçados com fibras de aço, empregado em pavimentos, visando entender melhor o seu comportamento mecânico em relação ao concreto convencional, ou seja, sem a presença de fibras em sua matriz.

No decorrer deste estudo observou-se que as fibras de aço adicionadas ao concreto, proporcionaram o surgimento de um novo material, com propriedades diferentes das dos concretos convencionais. Isso se deve à boa resistência mecânica à tração e ao elevado módulo de elasticidade que a fibra possui.

Através dos resultados do ensaio de compressão axial, pode-se observar que os concretos com fibras de aço presentes em sua matriz apresentaram, aos 28 dias de idade, maiores valores de resistência à compressão axial em comparação ao concreto sem fibras. Já para a idade de 7 dias, a presença de fibras pouco influenciou a resistência à compressão.

Nos ensaios realizados para obter a resistência à tração do concreto com e sem fibras de aço, observou-se que a presença das fibras na matriz do concreto influenciou no aumento da resistência à tração e reduziram a propagação das

fissuras proporcionando um comportamento dúctil após o início de fissuração, enquanto que, os concretos sem fibras demonstraram um comportamento frágil com ruptura brusca. Conforme afirma Figueiredo (2000), o concreto com adição de fibra transforma-se em um material pseudo-dúctil, pois continua apresentando uma resistência residual a esforços nele aplicados mesmo após sua fissuração. Além disso, os prismas e as placas triangulares que continham fibras de aço na matriz de concreto apresentaram maiores deformações que os corpos-de-prova sem fibras evidenciando essa capacidade das fibras de dar ductilidade ao concreto.

Pode-se constatar, também, que os distintos teores de fibras empregados nas misturas influenciaram as propriedades mecânicas do concreto com fibras. Sendo que, os concretos com teor de 25 kg/m^3 , teor indicado pelo fabricante, apresentaram em relação ao concreto de referência, acréscimos mais significativos de resistência à tração por compressão diametral e na flexão, tanto nos prismas como nas placas. Porém, ao analisar os valores obtidos de resistência à compressão axial e deformação dos prismas e das placas triangulares o teor de fibra que originou resultados mais elevados tanto de resistência quanto de deformação foi de 35 kg/m^3 de fibra de aço. Cabe destacar, que sendo as misturas todas iguais enquanto proporção de materiais, variando entre elas apenas o teor de fibras e a presença ou não de superplastificante, a mistura M25 acaba por ser mais econômica que a M35, assim, entende-se ela como ideal, pois proporciona ganhos de resistência à tração significativos, além de ductilidade, confirmando o apontado pelo fabricante do produto.

Além disso, constatou-se que a adição de fibras de aço ao concreto, além de melhorar suas propriedades mecânicas, causaram o efeito de “costura” das fissuras proporcionando um ganho de ductilidade ao concreto, assim, o material torna-se menos frágil, pois a primeira fissura não consegue levar o compósito à ruína.

Por fim, entende-se que este trabalho proporcionou um maior conhecimento a respeito do comportamento do concreto com fibras visando o seu emprego em pavimentos, onde a resistência a esforços de tração e a ductilidade são características importantes.

5.2 Sugestão para trabalhos futuros

Para dar continuidade ao estudo dos concretos reforçados com fibras sugere-se:

- Estudar o módulo de elasticidade de concreto com fibras;
- Estudar a capacidade das fibras de prevenir a retração ou verificar se elas causam retração diferencial;
- Realizar a medição da curva de carga por deformação no ensaio de compressão axial;
- Comparar o comportamento de concretos com fibras de aço utilizando diferentes traços;
- Realizar estudos para melhoria nas condições de trabalhabilidade para teores de fibras crescentes.

REFERÊNCIAS

ADIMENT SUPER. **Especificações técnicas de superplastificante para concreto da Vedacit.** Disponível em: <
<http://www.vedacit.com.br/component/content/article/84-aditivos-para-concreto/5-adiment-super?directory=247>>. Acesso em 06 jan. 2011.

ALMEIDA, Marconi Oliveira de. **Estudo da tenacidade e proposta de nova configuração do ensaio de flexão em placas para os concretos reforçados com fibras de aço.** 1999. 212 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5738:** Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739:** Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 7222:** Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 7251:** Agregados em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

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

_____. **NBR 12142:** Concreto: determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

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

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

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos viários e pisos industriais de concreto.** In: ISAIA, Geraldo C. (Ed). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. cap. 42.

CHODOUNSKY, Marcel Aranha; VIECILI, Fábio André. **Pisos industriais de concreto:** aspectos teóricos e executivos. São Paulo: Reggenza, 2007. 373 p.

CONSULTORIA E ANÁLISE. **Piso em concreto com adição de fibra de aço**. 2009. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://consultoriaeanalise.blogspot.com/2009/08/piso-em-concreto-com-adicao-de-fibra-de.html>>. Acesso em: 31 out. 2010.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.allquimica.com.br/arquivos/websites/artigos/A-000222006526153128.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2010.

_____. **Concreto com fibras**. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. cap. 39.

FIGUEIREDO, Marcelo Porto de. **Aplicação do método dos elementos discretos na análise estática e dinâmica de estruturas de concreto reforçado com fibras de aço**. 2006. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HELENE, Paulo R. L.; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

_____. **Dosagem dos concretos de cimento portland**. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. cap. 15.

JACINTHO, Ana Elisabete Paganelli Guimarães de Avila; GIONGO, José Samuel. **Resistência mecânica do concreto**. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. cap. 20.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

PASA, Vanessa Fátima; CAMPOS FILHO, Américo; PACHECO, Alexandre Rodrigues. **Análise do comportamento de estruturas de concreto reforçado com fibras de aço via método dos elementos finitos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49. Bento Gonçalves: IBRACON, 1-5, set. 2007. **Anais...**

RODRIGUES, Públio Penna Firme; BOTACINI, Silvia Maria; GASPARETTO, Wagner Edson. **Manual Gerdau de pisos industriais**. São Paulo: Pini, 2006. 109 p.

SANTANA, Ederley Nunes de. **Pavimento de concreto: a evolução das rodovias brasileiras**. 2008. 58 p. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2008.

SARZALEJO, Antonio Gallovich et al. **Fibras como elemento estrutural para reforço de concreto**: manual técnico. 2007. Disponível em: <<http://www.maccaferri.com.br/download/fibras.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2010.

SCOARIS, Mario Rogerio. **Concretos reforçados com fibras**: avaliação das propriedades mecânicas através do método da maturidade. 2005. 260 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2005.

SILVA, R. B.; GUIMARÃES, G. N. **Análise de placas de pavimento rígido com e sem adição de fibras de aço**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47. Recife: IBRACON, 2-7, set. 2005. **Anais...**

VIZZONI, Ronaldo. **O pavimento de concreto é uma realidade nacional. Por que?**. 2009. Disponível em:<http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2010/08/01_Pav_Concreto_Realidade_Nacional_Vizzoni_CD.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2010.

WINRAND. **Fibras para reforços de concreto**: características técnicas. Disponível em:< <http://www.maccaferri.com.br/>>. Acesso em: 18 mar. 2011.