

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CURITIBA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
TECNOLOGIA EM CONCRETO**

**MICHELLE AKEMI FATIGA ONUKI
PATRYCIA ALBERTON GASPARETTO**

**COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO
FRESCO E ENDURECIDO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E DE
POLIPROPILENO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA - PR
2013**

**MICHELLE AKEMI FATIGA ONUKI
PATRYCIA ALBERTON GASPARETTO**

**COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO
FRESCO E ENDURECIDO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E DE
POLIPROPILENO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Concreto do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Curitiba-Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo. Orientador: Professor Marcelo Queiroz Varisco.

FOLHA DE APROVAÇÃO

COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO EM ESTADO FRESCO E ENDURECIDO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E DE POLIPROPILENO

Por

Michelle Akemi Fatiga Onuki
Patrycia Alberton Gasparetto

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Concreto, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 25 de junho de 2013, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Marcelo Queiroz Varisco, Esp.
UTFPR

Prof. Ricardo José Guimarães, Esp.
UTFPR

Prof. Wellington Mazer, Dr.
UTFPR

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus que iluminou o nosso caminho durante esta caminhada.

Agradecemos a Supermix Concreto que colaborou com esta pesquisa, doando os materiais e emprestando os equipamentos necessários para execução dos ensaios.

Agradecemos ao nosso orientador prof. Marcelo Queiroz Varisco, que com toda paciência e dedicação nos acompanhou nessa caminhada.

Aos professores, que ao longo dos anos de graduação nos proporcionaram conhecimento e uma formação profissional.

E não podemos deixar de agradecer também aos nossos pais, por todo amor, por sempre acreditarem em nós, por estarem sempre ao nosso lado, acompanhando os nossos passos, nos dando forças, nos mostrando o caminho correto, e por serem exemplos de caráter, perseverança, dedicação.

"Obstáculo é aquilo que você enxerga, quando tira os olhos do seu objetivo."
Henry Ford

"Se enxerguei longe, foi porque me apoiei em ombros de gigantes."
Issac Newton

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a comparação de algumas propriedades no estado fresco e endurecido dos concretos: normal (referencia), com adição de fibras de polipropileno e com fibras de aço. Recentemente foram descobertas novas possibilidades tecnológicas com os concretos com adição fibras. Algumas adições de fibras aos concretos minimizam o comportamento frágil característico do concreto, outras possuem características singulares para o combate a certas patologias que degradam as estruturas de concreto em geral. O concreto passa por algumas alterações de comportamento devido à função das características das fibras e da sua interação com o concreto. Em alguns casos o concreto com adição de fibras apresenta vantagens tecnológicas em relação ao normal. Foram cuidadosamente envolvidos para a parte experimental da pesquisa, ensaios capazes de realizar uma avaliação das características e propriedades que as fibras proporcionam, tais como: perda de abatimento pelo slump test, compressão axial, tração indireta por compressão diametral e absorção.

Palavras-chave: Concreto, comparação de traços, fibras de aço e fibra de polipropileno.

ABSTRACT

This academic document presents a study, about a comparison between some characteristics and properties, in the state fresh and the hardened of concrete: the first sample, is common concrete to be the reference, the second sample is the concrete reinforced with polypropylene fibers, and the last sample, is the concrete contains steel fibers. Some time ago, were discovered new technological possibilities with concrete added with fibers. Some fibers added to concrete, can minimize the breakable behavior of concrete, others fibers, have the singular capacity to combat certain kinds of pathology, that could degrade concrete structures in general. The concrete have different behaviors, due to the characteristics of the fibers and their interaction with mass concrete. In some cases, the concrete reinforced with fiber, has technological advantages compared to concrete without fibers. In the experimental part of this research, were involved tests able to indicate an evaluation of the characteristics and properties that fiber can provide. Was used test as "loss abatement" by slump test, axial compression, indirect tension by compression and diametrical absorption.

Keyword: Concrete, compare traits, steel fiber and polypropylene fiber.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FIBRAS DE AÇO	17
FIGURA 2 - FIBRAS DE POLIPROPILENO	17
FIGURA 3 - FIBRAS DE VIDRO	17
FIGURA 4 - FIBRAS DE CARBONO	18
FIGURA 5 - FIBRAS DE POLIPROPILENO RETORCIDAS E FIBRILADAS	21
FIGURA 6 - PROCESSO DE ARRANCAMENTO DAS FIBRAS	22
FIGURA 7 - FIBRAS DE AÇO	24
FIGURA 8 - MECANISMO DE CONTROLE DE PROPAGAÇÃO DAS FISSURAS	25
FIGURA 9 - KIT SLUMP TEST (CONE DE ABRAMS)	36
FIGURA 10 - ESQUEMA DO SLUMP TEST	37
FIGURA 11 - MISTURA DO CONCRETO FRESCO;	49
FIGURA 12 - ADIÇÃO DE FIBRA DE POLIPROPILENO;	49
FIGURA 13 - ADIÇÃO DE FIBRA DE METÁLICA;	49
FIGURA 14 - PERDA DE ABATIMENTO (SLUMP TEST);	50
FIGURA 15 - MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS;	50
FIGURA 16 - MOLDAGENS DE VÁRIAS SÉRIES	51
FIGURA 17 - CORPOS DE PROVA AGUARDANDO ROMPIMENTO	54
FIGURA 18 - PRENSA HIDRÁULICA UTILIZADA PARA ROMPIMENTO DE CORPOS DE PROVA	55
FIGURA 19 - CORPOS DE PROVA ROMPIDOS	55
FIGURA 20 - CORPOS DE PROVA ROMPIDOS	56
FIGURA 21 - PRENSA HIDRÁULICA COM ADAPTADOR PARA COMPRESSÃO DIAMETRAL	64
FIGURA 22 - CORPOS DE PROVA ROMPIDOS A COMPRESSÃO DIAMETRAL	65

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CIMENTO PORTLAND.....	27
TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS	32
TABELA 3 - RESISTÊNCIAS DE 3, 7 E 28 DIAS EM MPA	42
TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS DO CIMENTO EMPREGADO.....	43
TABELA 5 - AREIA NATURAL	44
TABELA 6 - AREIA ARTIFICIAL.....	45
TABELA 7 - BRITA 1	46
TABELA 8 - TRAÇOS DESENVOLVIDOS	47
TABELA 9 - TRAÇO UNITÁRIO	48
TABELA 10 - TEMPERATURA E UMIDADE DO AR	52
TABELA 11 - ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	53
TABELA 12 - RESULTADOS DE ROMPIMENTOS A COMPRESSÃO AXIAL.....	54
TABELA 13 - RESULTADOS ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	62
TABELA 14 - ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CORPOS DE PROVA.....	65

LISTA DE GRAFICOS

GRÁFICO 1 - CURVA GRANULOMÉTRICA.....	44
GRÁFICO 2 - CURVA GRANULOMÉTRICA.....	45
GRÁFICO 3 - CURVA GRANULOMÉTRICA.....	46
GRÁFICO 4 - RESISTÊNCIAS A/C=0,4.....	56
GRÁFICO 5 - RESISTÊNCIAS A/C=0,6.....	57
GRÁFICO 6 - RESISTÊNCIAS A/C=0,8.....	57
GRÁFICO 7 - CURVA DE ABRAMS – TRAÇO REFERÊNCIA.....	58
GRÁFICO 8 - CURVA DE ABRAMS – TRAÇOS COM FIBRAS DE POLIPROPILENO	59
GRÁFICO 9 - CURVA DE ABRAMS – TRAÇOS COM FIBRAS METÁLICAS.....	60
GRÁFICO 10 - CURVA DE ABRAMS (28 DIAS) – SOBREPOSTAS	61
GRÁFICO 11 - RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DIAMETRAL A/C=0,4	63
GRÁFICO 12 - RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DIAMETRAL A/C=0,6.....	63
GRÁFICO 13 - RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DIAMETRAL A/C=0,8.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

%	Porcentagem
a/c	Fator água por cimento
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ACI	American Concrete Institute
CP IV	Cimento Portland
CP's	Corpos de Prova
fcj	Resistência à compressão do concreto prevista para a idade de "j" dias, em MPa
fck	Resistência à compressão do concreto característica, em MPa
fc _m	Média de resistência dos corpos-de-prova
g	Gramas
GPa	Giga Pascal
kg	Quilograma
Kg/dm ³	Quilograma por decímetro cúbico
m ³	Metro Cúbico
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
N/mm ²	Newton por milímetro quadrado
NBR	Norma Brasileira Registrada
°C	Grau Celsius

ppm Partes por Milhão

Séc. Século

UTFPR Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1.1 Considerações Iniciais	11
1.2 Justificativa	12
1.3 Objetivos	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Conceito de concreto com adição de fibras	15
2.1.1 Evolução Histórica da utilização de fibras no concreto	16
2.1.2 Características a serem observadas quanto à escolha da fibra	18
2.1.3 Fibras de polipropileno	20
2.1.4 Fibras de aço	22
2.1.5 Principais aplicações de concreto com fibras de polipropileno	25
2.1.6 Principais aplicações de concreto com fibras aço	26
2.2 Materiais utilizados para fabricação do concreto com fibras	26
2.2.1 Cimento Portland	26
2.2.1.1 Composição química do cimento	28
2.2.1.2 Finura	29
2.2.2 Agregados	29
2.2.2.1 Importância dos Agregados	29
2.2.2.2 Classificação quanto à origem	30
2.2.2.3 Classificação quanto às dimensões	31
2.2.2.4 Classificação quanto ao peso	32
2.2.2.5 Classificação quanto à origem mineralógica	32
2.2.3 Água	33
2.2.4 Aditivos Químicos	33
2.3 Propriedades do concreto fresco	34
2.3.1 Consistência	35
2.3.2 Plasticidade	37
2.3.3 Poder de Retenção de Água	38
2.3.4 Trabalhabilidade	38
2.4 Propriedades do concreto endurecido	39
2.4.1 Peso específico	39
2.4.2 Deformações	39
2.4.3 Resistência à compressão	39
2.4.4 Resistência à tração	40
2.4.5 Durabilidade e Impermeabilidade	40
3 METODOLOGIA	42
3.1 Materiais e ensaios	42
3.2 Características dos Traços Desenvolvidos	47
3.3 Procedimentos para execução dos traços	48
4 RESULTADOS E ANÁLISES	52
4.1 Concretos no Estado Fresco	52
4.2 Concretos no Estado Endurecido	53
5 CONCLUSÃO	66
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	67
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICE	71

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A construção civil até os dias de hoje vem sofrendo grandes mudanças e evoluções tanto em termos dos seus componentes como na sua produção e controle tecnológico. Quando se usa o concreto, o principal objetivo é sem dúvida obter uma boa qualidade.

O concreto com adição de fibras são materiais compostos basicamente por duas fases: a matriz e as fibras. As fibras podem atuar como um reforço da matriz em função das propriedades deste e das próprias fibras (FIGUEIREDO, 2000). Tais como concreto, composto por uma fase agregado e outra fase pasta, que é a matriz, cujo comportamento consiste na combinação das propriedades dos materiais que o constituem. (FIGUEIREDO, 2000).

O concreto com adição de fibras vem sendo utilizado em várias aplicações na Construção Civil como, por exemplo, pavimentos rígidos, pisos industriais, projetados, áreas de piscina, pré-moldados, argamassas, tanques e reservatórios, entre outros.

Entre as adições utilizadas para melhorar certas características do concreto, as fibras vem tendo destaque nos últimos anos, sendo objeto de muito estudo e desenvolvimento.

As fibras são fabricadas em diversos materiais, diâmetros e comprimentos, praticamente por serem utilizadas em qualquer tipo de concreto, inclusive combinadas, para atender simultaneamente a diferentes finalidades. Assim, podemos precisar de um reforço no concreto para altas temperaturas e um aumento do módulo de deformação ao mesmo tempo.

Atualmente encontramos diversos tipos de fibras no mercado: polipropileno, aço, vidro, nylon, poliéster, carbono, sintética, celulose, amianto, sisal e fibras vegetais. No passado, as fibras para concreto eram utilizadas apenas para evitar a retração ou reforçar a resistência mecânica. Sendo que atualmente diversas aplicações foram incorporadas.

Outro avanço importante foi à redução do diâmetro, do comprimento e da flexibilidade das fibras. No passado, para se evitar a retração era usada uma fibra de polipropileno em forma de rafia, que ficava aparente na superfície do concreto,

prejudicando muito a textura e o acabamento. Nesta nova geração, após o concreto estar endurecido, não há percepção da presença das fibras.

Uma das dificuldades no passado também foi reduzir bastante à mistura das fibras no concreto, elas eram separadas manualmente e colocadas na correia transportadora dos agregados aos poucos para ficarem distribuídas homogeneamente. Com as novas dimensões e outra boa evolução (as embalagens hidrossolúveis) a mistura fica muito facilitada.

Tratando-se de fissuração por retração e reforço na estrutura do concreto as fibras também são largamente utilizadas. Isto somente é possível devido aos esforços de tração, que nesse tipo de estrutura são de pequena intensidade, possibilitando sua absorção pelas fibras. Obtidas a partir do arame trefilado, lã de aço ou ainda chapas de aço cortado, tem como característica o módulo de deformação alto o que facilita seu desempenho nestes objetivos.

As fibras conferem melhorias ao concreto, tais como: aumento da ductilidade, controle de fissuração, aumento da resistência ao impacto, aumento da resistência à fadiga entre outras. Devido à adoção de técnicas específicas, os produtos obtidos apresentam elevado controle de qualidade.

Muito deve ser estudado ainda no sentido da obtenção de uma metodologia de dosagem e controle das fibras no concreto para que seja possível um controle satisfatório da fissuração. Isto ocorre por que não existem ainda métodos de ensaio consensuais. Tal fato origina uma grande variação nos resultados e dificuldades na obtenção de correlações confiáveis com as condições práticas onde, mais uma vez, a temperatura, a área superficial, o nível de ventilação, etc., têm uma fortíssima influência e cuja parametrização nem sempre é facilitada (TANESI, 1999).

1.2 Justificativa

A construção civil ou indústria da construção é a atividade econômica que tem por objetivo a execução de obras de arquitetura ou engenharia, utilizando, principalmente produtos intermediários e produtos finais originados de outros setores da economia.

Nos tempos atuais, os fatores estimulantes do desenvolvimento da construção civil foram o aumento da população urbana, que determinou o surgimento das cidades modernas, e também o crescimento da indústria. O setor da

construção civil é um dos que mais cresce atualmente e vem passando por uma série de mudanças.

A utilização dos concretos especiais vem crescendo com a finalidade de minimizar as deficiências dos concretos convencionais ou a incorporação de propriedades não inerentes a esse tipo de material. Isto compreende desde a forma da comercialização do metro cúbico de concreto até como as construtoras se relacionam com seus clientes, fornecedores e funcionários, utilizando cada vez mais novas tecnologias ou aprimorando as já existentes.

Concretos com adição de fibras vêm sendo utilizados desde 1960, quando se adicionou fibras de asbestos¹ misturadas ao cimento. Desde então têm sido usados outros tipos de fibras como: aço, polipropileno, carbono, vidro, nylon, celulose, acrílico, polietileno, madeira, sisal, entre outras. Atualmente as mais utilizadas são as fibras de aço e as fibras de polipropileno.

Dos concretos com adição de fibras, 60% são utilizadas em lajes de concreto sobre o terreno (pisos industriais, radier, etc.), 25% são utilizados em concretos projetados e 5% em pré-moldados e outras aplicações diversificadas somam cerca de 10%.

O concreto não armado é um material frágil, quebradiço, com uma baixa resistência à tração e uma baixa capacidade de alongamento na tração, com a adição de fibras essas características são reduzidas e o mesmo passa a ter um comportamento pseudodúctil, apresentando uma capacidade de suporte pós-fissuração, permitindo uma redistribuição dos esforços no material. Este comportamento torna interessante o uso deste material nos casos de solicitações por fadiga e impacto, quando se deseja uma maior durabilidade pela redução da fissuração.

¹ é uma fibra mineral natural sedosa, tem alta resistência mecânica e às altas temperaturas, incomustibilidade, boa qualidade isolante, durabilidade, flexibilidade, indestrutibilidade, resistente ao ataque de ácidos, álcalis e bactérias, facilidade de ser tecida etc. É extraído fundamentalmente de rochas compostas de silicatos hidratados de magnésio, onde apenas de 5 a 10% se encontram em sua forma fibrosa de interesse comercial.

Se as fibras forem suficientemente resistentes, bem aderidas à matriz cimentícia, e em quantidade adequada, elas ajudarão a manter pequena a abertura das fissuras. Permitirão ao concreto com adição de fibras resistirem a tensões de tração bem elevadas, com uma grande capacidade de deformação no estágio pós-fissuração. A adição de fibras ao concreto confere a este, no estado endurecido, um ganho de desempenho no que se refere à contenção da propagação das fissuras e redistribuição de tensões. Entretanto, no estado fresco, a adição de fibras aumenta consideravelmente a coesão do concreto, uma vez que as fibras, ao possuírem grande área superficial, têm maior contato entre si e com os outros elementos constituintes do concreto, aumentando em muito o atrito interno e conseqüentemente restringindo a fluidez e mobilidade da mistura.

A dosagem da fibra sem critérios analíticos pode conduzir a resultados piores que os esperados em termos de controle de fissuras e durabilidade, ou ainda conduzir a um consumo de fibras superior ao necessário, desperdiçando recursos e maximizando os problemas relativos à aplicação.

Um estudo, com efeito comparativo entre um concreto simples, com adição de fibra de aço e outro com adição de fibra de polipropileno é válido para verificar o comportamento do concreto com relação a suas propriedades no estado fresco e endurecido e os ajustes necessários para que se obtenha um concreto com todas as suas propriedades asseguradas com qualidade.

1.3 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é realizar um comparativo entre concretos com adição de fibras de polipropileno e fibras de aço relacionando as suas propriedades no estado fresco e endurecido, utilizando como base um traço de concreto comum, para se chegar a um parâmetro de indicação para as mais variadas aplicações.

O objetivo específico desse trabalho é verificar, em cada adição quais as propriedades melhoradas, buscando os ajustes finos para o melhor desempenho de cada traço verificado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma breve definição de concreto com adição de fibras, histórico de utilização, características das fibras de polipropileno e fibras de aço, principais utilizações de concreto com fibras, vantagens na utilização de fibras de polipropileno e de aço, materiais utilizados na produção desse tipo de concreto, propriedades analisadas no estado fresco e endurecido.

2.1 Conceito de concreto com adição de fibras

O concreto é constituído basicamente por um componente cimentante, agregados e água. É o material mais utilizado na construção civil atualmente, devido a sua versatilidade de aplicações.

Com a crescente utilização desse material, a busca pela melhora de suas características também vem ocorrendo nos últimos anos. Desta forma se desenvolveu concretos tidos como especiais tais como: concreto de alta resistência, alto desempenho, leve, pesado, branco, celular, com adição de fibras.

O concreto com fibras é material compósito formado por uma matriz cimentícia e por certa quantidade de fibras dispersas que tende a melhorar as propriedades do conjunto.

O papel das fibras, distribuídas de forma aleatória, é de diminuir as fissuras que se formam no concreto, seja por mudanças de umidade do meio ambiente, de temperaturas ou por ação de cargas externas.

As fibras provocam certa ductilidade após a fissuração. Se as fibras forem resistentes, bem aderidas a matriz cimentícia e em quantidade adequada, elas ajudarão a manter pequenas as aberturas das fissuras. Permitirão ao concreto com adição de fibras resistirem a tensões de tração mais elevadas e uma maior capacidade de deformação no estágio de pós-fissuração. Embora as fibras possam melhorar algumas das propriedades do concreto, sua utilização não resultará em um concreto totalmente sem fissuras.

Neste trabalho optou-se por desenvolver o estudo com fibra de polipropileno, por ser um material com boas características viscoelásticas e fibras de aço pela boa interface fibra/matriz, pela melhora na capacidade resistiva pós-fissuração e por

possuir um módulo de elasticidade superior ao da matriz cimentícia, além de serem as fibras mais utilizadas em concreto atualmente.

2.1.1 Evolução Histórica da utilização de fibras no concreto

A história da utilização de compósitos com adição de fibras como materiais de construção tem mais de 3000 anos. Há exemplos do uso de palhas em tijolos de argila, mencionados na Bíblia no livro de Êxodo. Naquela época já se tinha conhecimento que a adição de alguns materiais a outros poderia melhorar as características do conjunto.

Contrastando com os antigos materiais naturais adicionados ao concreto, o desenvolvimento de polímeros nos últimos 100 anos foi impulsionado pelo crescimento da indústria do petróleo. Desde 1930 o petróleo tem sido a principal fonte de matéria prima para a fabricação de produtos químicos orgânicos, a partir dos quais são fabricados plásticos, fibras, borrachas e adesivos (ILLSTON,1994).

Uma grande quantidade de polímeros, com variadas propriedades e formas, tem sido desenvolvida desde 1955. Para Taylor (1994) os materiais baseados em cimento Portland são uma opção natural para a aplicação de materiais fibrosos a base de fibras poliméricas, uma vez que são baratos, mas apresentam problemas relativos à ductilidade, resistência ao impacto e capacidade de absorção de energia de deformação.

No setor da construção civil destacam-se como materiais compósitos as telhas de fibro cimento, telhas de plástico reforçadas com fibras de vidro, fibras de carbono para reforços estruturais e o concreto com adição de diversos tipos de fibras. Este por sua vez vem sendo utilizado cada vez mais devido a ganhos observados com sua utilização.

As fibras podem ser sintéticas e orgânicas (polipropileno e carbono), sintéticas e inorgânicas (aço ou vidro), naturais e orgânicas (celulose) ou naturais e inorgânicas (asbestos ou amianto).



Figura 1 - Fibras de Aço

Fonte: (site: www.oxigrantoro.com, 2012).



Figura 2 - Fibras de Polipropileno

Fonte: (site: www.portuguese.alibaba.com, 2012).



Figura 3 - Fibras de Vidro

Fonte: (site www.itambe.com.br, 2012).



Figura 4 - Fibras de Carbono

Fonte: (http://pt.made-in-china.com/co_gzguangjian, 2012).

2.1.2 Características a serem observadas quanto à escolha da fibra

Segundo Johnston (1994), as fibras em uma matriz cimentícia podem, em geral, ter dois efeitos importantes. Primeiro, elas tendem a reforçar o compósito sobre todos os modos de carregamento que induzem tensões de tração, isto é, retração restringida, tração direta ou na flexão e cisalhamento e, secundariamente, elas melhoram a ductilidade e a tenacidade de uma matriz frágil.

O desempenho dos compósitos com adição de fibras é controlado principalmente pelo teor e pelo comprimento da fibra, pelas propriedades físicas da fibra e da matriz e pela aderência entre as duas fases (HANNANT, 1994).

Johnston (1994) acrescenta o efeito da orientação e distribuição da fibra na matriz. A orientação de uma fibra relativa ao plano de ruptura, ou fissura, influencia fortemente a sua habilidade em transmitir cargas. Uma fibra que se posiciona paralela ao plano de ruptura não tem efeito, enquanto que uma perpendicular tem efeito máximo.

Taylor (1994) apresenta os principais parâmetros relacionados com o desempenho dos materiais compósitos cimentados, assumindo que as variações das propriedades descritas abaixo são atingidas independentemente:

a) Teor de fibra: Um alto teor de fibras confere maior resistência pós-fissuração e menor dimensão das fissuras, desde que as fibras possam absorver as cargas adicionais causadas pela fissura;

b) Módulo de elasticidade da fibra: Um alto valor do módulo de elasticidade causaria um efeito similar ao teor de fibra, mas, na prática, quanto maior o módulo maior a probabilidade de haver o arrancamento das fibras;

c) Aderência entre a fibra e a matriz: As características de resistência, deformação e padrões de ruptura de uma grande variedade de compósitos cimentados com adição de fibras dependem fundamentalmente da aderência fibra/matriz. Uma alta aderência entre a fibra e a matriz reduz o tamanho das fissuras e amplia sua distribuição pelo compósito.

d) Resistência da fibra: Aumentando a resistência das fibras aumenta também a ductilidade do compósito, assumindo que não ocorre o rompimento das ligações de aderência. A resistência da fibra dependerá, na prática, das características pós-fissuração desejadas, bem como do teor de fibra e das propriedades de aderência fibra-matriz;

e) Deformabilidade da fibra: A ductilidade pode ser aumentada com a utilização de fibras que apresentem alta deformação de ruptura. Isto se deve pelo fato de compósitos com fibras de elevado grau de deformabilidade consumirem energia sob a forma de alongamento da fibra;

f) Compatibilidade entre a fibra e a matriz: A compatibilidade química e física entre as fibras e a matriz é muito importante. Em curto prazo, as fibras que absorvem água podem causar excessiva perda de trabalhabilidade do concreto. Além disso, essas fibras sofrem variação de volume e a aderência fibra/matriz é comprometida. Em longo prazo, alguns tipos de fibras poliméricas não possuem estabilidade química frente à presença de álcalis, como ocorre nos materiais a base de cimento Portland. Nestes casos, a deterioração com rápida perda das propriedades da fibra e do compósito pode ser significativa.

g) Comprimento da fibra: Quanto menor for o comprimento das fibras, maior será a possibilidade delas serem arrancadas. Para uma dada tensão de cisalhamento superficial aplicada à fibra, esta será mais bem utilizada se o seu comprimento for suficientemente capaz de permitir que a tensão cisalhante desenvolva uma tensão de tração igual a sua resistência à tração.

Na verdade não basta analisar somente o comprimento da fibra, deve-se levar em consideração também o seu diâmetro, pois depende também dele a capacidade da fibra desenvolver as resistências ao cisalhamento e à tração.

A relação l/d é proporcional ao quociente entre a resistência à tração da fibra e a resistência de aderência fibra/matriz, na ruptura. Em grande parte, a tecnologia dos materiais compósitos depende desta simples equação: se a fibra tem uma alta resistência à tração, por exemplo, como o aço, então ou a resistência de aderência necessária deverá ser alta para impedir o arrancamento antes que a resistência à tração seja totalmente mobilizada ou fibras de alta relação l/d deverão ser utilizadas (TAYLOR, 1994).

Também é importante observar a compatibilidade dimensional da fibra metálica com agregados graúdos; a relação entre o comprimento da fibra e o comprimento característico dos agregados deve ser $L_{\text{fibra}} > 2 L_{\text{do agregado}}$. Essa compatibilidade é determinada uma vez que com as referidas dimensões proporcionamos ganhos significativos na intercepção das fissuras, que geralmente ocorrem na interface entre argamassa e o agregado.

2.1.3 Fibras de polipropileno

São compostas por filamentos extremamente finos, de um tipo de material polimérico que pode ser moldado usando apenas aquecimento, ou seja, é um termoplástico. Possuem grande flexibilidade e tenacidade em função de sua constituição.

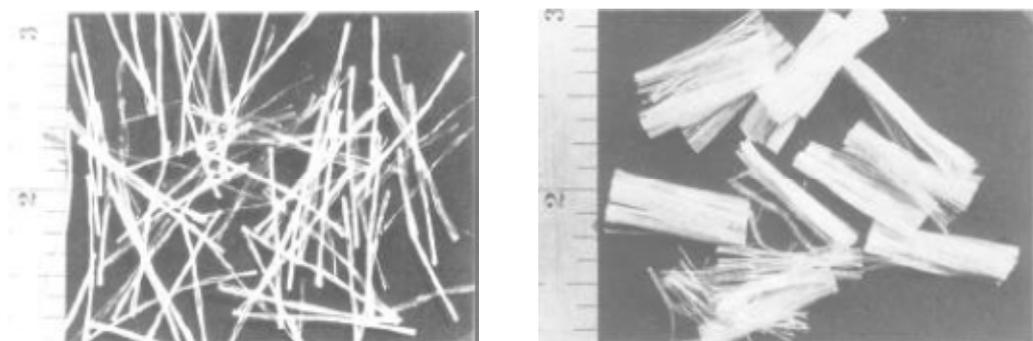
Produzidas em grande variedade de formas, possuem baixo módulo de elasticidade variando em torno de 8 GPa. As fibras de polipropileno possuem resistência a tração de aproximadamente 400 MPa e elevada resistência ao ataque de substâncias químicas e álcalis.

Suas desvantagens são a baixa resistência ao fogo, sensibilidade à luz solar e aderência limitada a matriz. Essas desvantagens são minimizadas, pois as mesmas atuam juntamente com a matriz cimentícia. Essas fibras auxiliam no controle de micro-fissuração durante o endurecimento do concreto e por esse motivo é indicado seu uso em estruturas onde existem grandes superfícies, como em pavimentos e pisos industriais.

Com relação à dosagem, Zollo (1984) afirma que até uma fração volumétrica de 0,1% a adição de fibras de polipropileno não afeta quaisquer propriedades do concreto endurecido. Já uma fração volumétrica superior a 0,5% gera redução de 5 a 10% na resistência a compressão, devido principalmente a dificuldade de homogeneização dessas misturas.

A adição de fibras de polipropileno aumenta consideravelmente a ductilidade da matriz após a fissuração. Essas observações sugerem que a modificação na curva tensão-deformação da matriz depende de vários fatores, entre eles a fração volumétrica e o tipo de fibra utilizada.

Um efeito importante da utilização desse tipo de fibra é aumentar à capacidade de absorção de energia a tração (HASABA, et al., 1984). Isso possibilita ao conjunto um melhor resultado quanto à flexão, principalmente na etapa de pós-fissuração na qual as fibras sofrem o processo de arrancamento da matriz. Esse processo permite que o material ainda resista devido aos mecanismos de transferência de tensões fibra/matriz, a determinados níveis de tensão enquanto ocorre o deslizamento friccional. Como esse processo envolve liberação de energia, esperam-se mudanças no comportamento dinâmico do material, conforme ilustra a figura abaixo:



**Figura 5 - Fibras de Polipropileno retorcidas e fibriladas
(NAAMAN, 1991)**

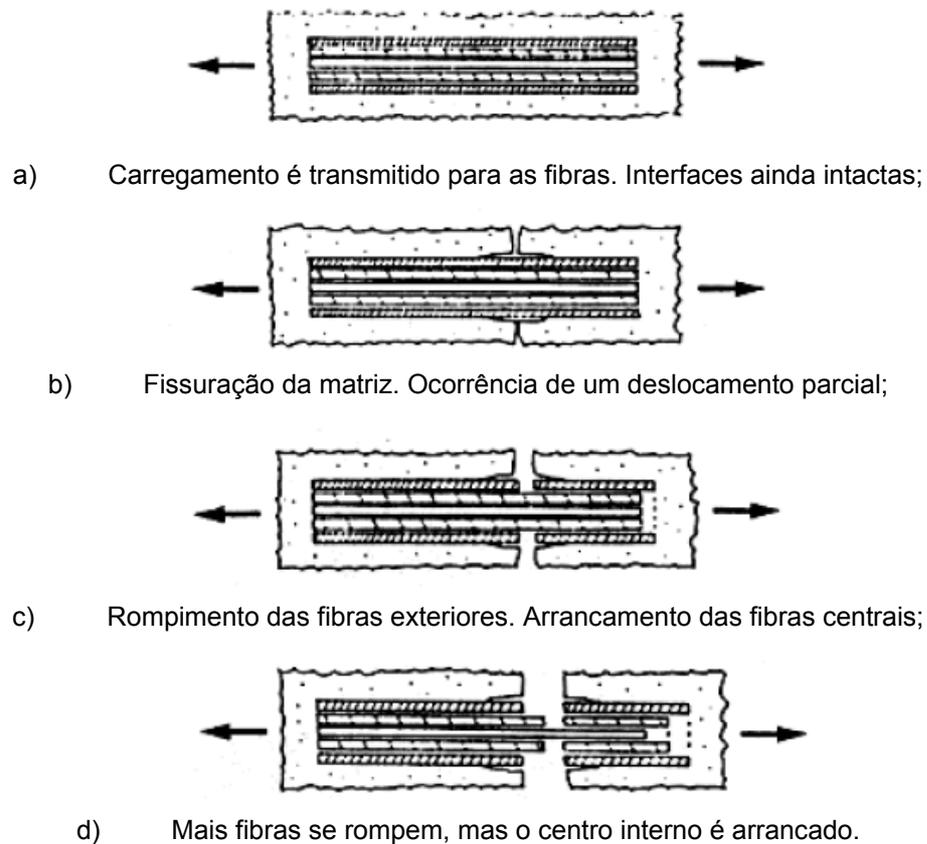


Figura 6 - Processo de arrancamento das fibras
(BARTOS,1987).

2.1.4 Fibras de aço

As fibras metálicas, principalmente as de aço, são as mais utilizadas em reforços de concreto por serem, segundo Bauer (1987), as mais eficazes e econômicas, e de fácil mistura à matriz. Seu formato pode ser bastante variável, com o objetivo de aumentar aderência com a matriz cimentante.

A resistência a tração da fibra metálica é da ordem de 1,1 GPa e o módulo de elasticidade é igual a 200 GPa (VENDRUSCOLO, 2003) .

As fibras de aço são usadas principalmente para controle da fissuração, substituindo a armadura secundária utilizada em lajes de edifícios, pavimentos e túneis, como também em recuperações de estruturas.

As fibras de aço podem ser obtidas por diversos processos, sendo o mais comum sua fabricação por corte de arame trefilado, de aço de baixo teor de carbono.

Quase todas as fibras de aço são produzidas, segundo Bauer (1987), com aço carbono ordinárias, porém as feitas de ligas metálicas são mais resistentes à corrosão, em aplicações refratárias e em estruturas marítimas. Também são produzidas fibras especiais de aço inoxidável, para concretos refratários que são submetidos a temperaturas elevadas, cujas resistências variam de 2000 a 2500 N/mm². As fibras de aço de seção transversal circular são produzidas cortando-se o arame, e possuem, em geral, diâmetros da ordem de 0,25 mm a 0,76 mm, e comprimentos na faixa de 10 mm a 75 mm. As fibras de aço achatadas têm, em geral, seção transversal variando entre 0,15 mm a 0,41 mm de espessura, por 0,25 mm a 0,90 mm de largura, e são produzidas tosquiando-se folhas de arame. As fibras de aço onduladas e deformadas são disponíveis tanto onduladas em todo o comprimento, quanto somente nas extremidades. As fibras podem ser coladas umas nas outras com colas solúveis em água, formando feixes de 10 a 30 fibras, para facilitar seu manuseio e mistura.

“A dispersão uniforme e a orientação aleatória das fibras por toda a massa de concreto produzem uniformidade nas propriedades de resistência e elasticidade do compósito, em todos os seus pontos e em qualquer direção, o que não ocorre com o concreto armado convencional” (BAUER, 1987, p.8). Para se obter esta dispersão uniforme, deve-se evitar a tendência natural das fibras de formarem feixes e interfechamento, produzindo bolas. Segundo Tezuka (1989), isto pode ser evitado durante a introdução das fibras na betoneira, manualmente, por meio de dispersores, telas vibratórias etc., ou durante a mistura, controlando-se a geometria e o volume das fibras e o tamanho do agregado graúdo. Quanto maior o seu tamanho, maiores são os problemas de interferência agregado-fibra. Em geral, são consideradas satisfatórias relações de aspecto de 80 a 120, para atender os requisitos de homogeneidade, trabalhabilidade e resistência.

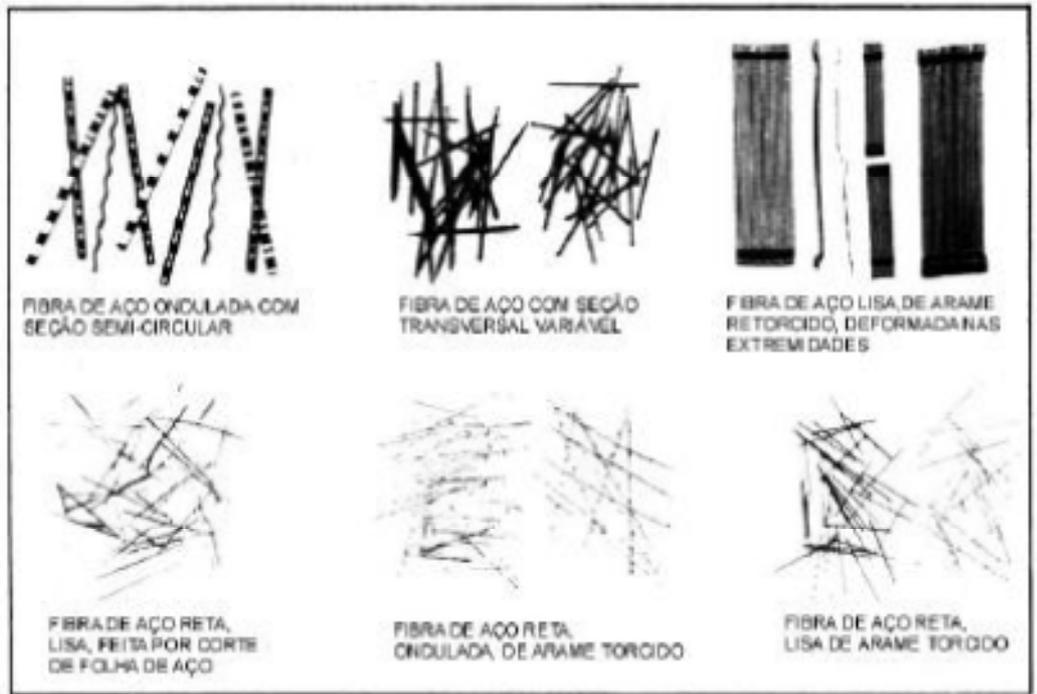


Figura 7 - Fibras de Aço

Fonte: (ACI 544.1R-82, 1987)

O principal papel das fibras no concreto com adição de fibras de aço é agir como ponte de transferência de tensões através de fissuras (BENTUR E MINDESS, 1990). Após a ruptura da matriz de concreto, as fibras, enquanto atuam como pontes sofrem um processo de arrancamento que demanda uma quantidade extra de energia para deformação e ruptura do compósito, proporcionando uma maior tenacidade. Entretanto, a eficiência da fibra de aço para o aumento da tenacidade do compósito depende de sua interação com a matriz, que garante a transferência de tensões da matriz para as fibras e vice-versa.

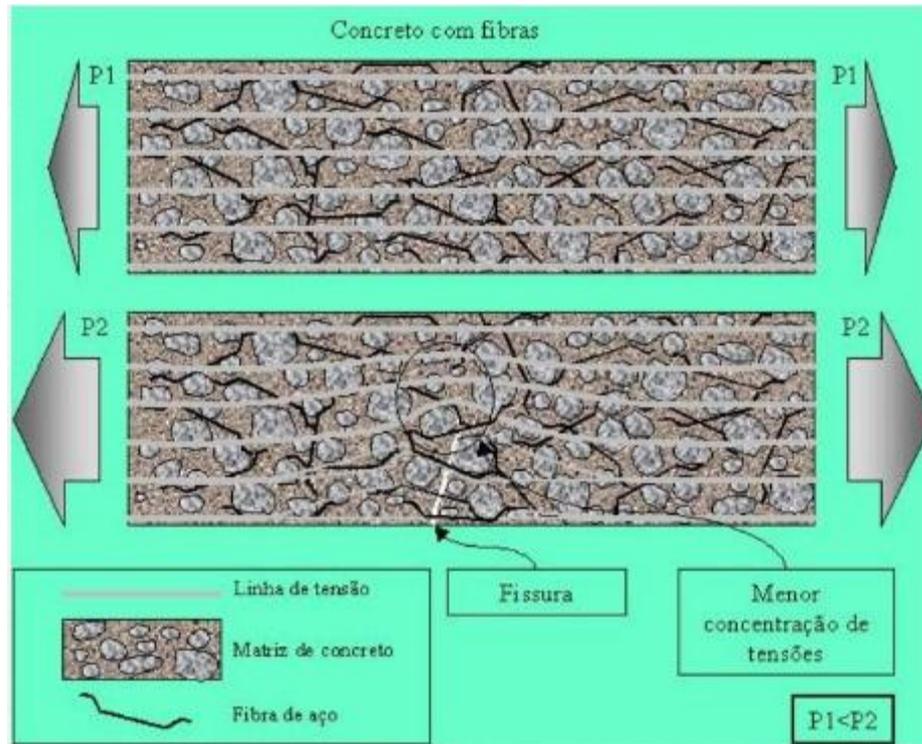


Figura 8 - Mecanismo de controle de propagação das fissuras

Fonte:

2.1.5 Principais aplicações de concreto com fibras de polipropileno

- lajes apoiadas no solo;
- pisos industriais;
- estruturas hidráulicas;
- taludes e maciços estabilizados;
- estruturas pré-moldadas;
- tubos de concreto para esgotos e águas pluviais;
- casca de parede fina, e;
- tanques e piscinas.

2.1.6 Principais aplicações de concreto com fibras aço

- lajes apoiadas no solo;
- pisos industriais;
- pistas de aeroportos e rodovias;
- estruturas hidráulicas;
- taludes e maciços estabilizados;
- estruturas resistentes a ações sísmicas;
- estruturas de concreto refratário;
- estruturas pré-moldadas;
- estrutura com reforço secundário de armaduras a flexão;
- estruturas como substituição parcial da armadura de cisalhamento;
- tubos de concreto para esgotos e águas pluviais;
- superestrutura ferroviária (dormentes);
- casca de parede fina;
- tanques e piscinas;
- bases de máquinas, e;
- reparos de estruturas.

2.2 Materiais utilizados para fabricação do concreto com fibras

Para a fabricação do concreto com adição de fibras são utilizados os mesmos insumos dos concretos convencionais, tais como:

Aglomerante, agregado miúdo e graúdo, água e em quase todos os concretos, aditivos químicos.

2.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico, obtido através da moagem do clínquer, resultante da calcinação até fusão incipiente de materiais calcários e argilosos, com gesso. Permite-se a adição de outros materiais, tipo: escória de alto-forno, pozolana e material carbonático.

Portanto, os componentes básicos do cimento portland são o calcário e a argila que, após analisados e definidos as respectivas proporções, são triturados e

aquecidos em fornos cilíndricos rotativos a temperaturas elevadas (em torno de 1500° C) dando origem ao clínquer portland. Os clínqueres são módulos de 5 a 25 mm de diâmetro obtido a partir da sinterização de uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada (MEHTA e MONTEIRO, 1994). O clínquer pulverizado em conjunto com o gesso, com a finalidade de controlar as reações iniciais de pega e endurecimento, resulta no cimento portland.

O cimento é, sem dúvida, o principal componente do concreto visto que é o único elemento ativo do mesmo, com exceção de alguns tipos de rocha consideradas potencialmente reativas que, por questões óbvias, são indesejáveis no preparo do mesmo.

No Brasil são fabricados vários tipos de cimento portland e são regidos por normas da ABNT e os principais estão designados na Tabela 1. Além destes tipos, existe no mercado nacional o cimento portland branco, o cimento portland de baixo calor de hidratação e o cimento para poços petrolíferos.

Tabela 1 - Cimento Portland

Denominação	Sigla	Classe	Norma ABNT
Cimento Portland Comum	CP I	25, 32, 40	NBR 5732:1991
Cimento Portland Comum com adição	CP I-S	25, 32, 40	
Cimento Portland Composto com Escória	CP II-E	25, 32, 40	NBR 11578:1991
Cimento Portland Composto com Pozolana	CP II-Z	25, 32, 40	
Cimento Portland Composto com Filer	CP II-F	25, 32, 40	
Cimento Portland de Alto-forno	CP III	25, 32, 40	NBR 5735:1991
Cimento Portland Pozolânico	CP IV	25, 32	NBR 5736:1991
Cimento Portland de Alta Resistência inicial	CP IV-ARI		NBR 5733:1991
	CP I RS		
	CP I-S RS		
	CP II-E RS		
	CP II-Z RS		
Cimento Portland Resistente a Sulfato	CP II-F RS	25, 32, 40	NBR 5737:1992
	CP III RS		
	CP IV RS		
	CP V-ARI		
	RS		

Fonte: Fabricante

2.2.1.1 Composição química do cimento

Cimento, em sentido amplo, é qualquer material que, misturado com pedra e areia, endurece, tornando o todo um bloco compacto e resistente. Foi definido, no séc. XIII, por Roger Bacon, como qualquer substância capaz de unir materiais não aglutináveis, incluindo, portanto, os betumes. Cientificamente, cimento são produtos que resultam de reações químicas dos materiais mais diversos, tendo a propriedade de endurecer quando tratados pela água.

No interior do forno de produção do cimento, a sílica, a alumina, o óxido de ferro e o óxido de cálcio presentes nas matérias-primas, reagem dando origem ao clínquer, cujos compostos principais são os seguintes:

- 1) silicato tricálcico: $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S);
- 2) silicato dicálcico: $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S);
- 3) aluminato tricálcico: $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A), e;
- 4) ferro aluminato tetracálcico: $4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF).

Esses compostos se formam no interior do forno quando a temperatura se eleva a ponto de transformar a "mistura crua" num líquido pastoso que, ao resfriar-se, dá origem a substâncias cristalinas, como ocorre com os três primeiros produtos citados acima, a um material intersticial amorfo, o C_4AF , e a outros óxidos, compostos alcalinos e sulfatos. Todos esses compostos têm a propriedade de reagir em presença de água, por hidrólise, dando origem então a compostos hidratados (AÏTCIN, 2000b).

A seguir serão descritas brevemente as características dos principais compostos do cimento portland:

1) C_3S - é o principal composto do cimento portland. Reage em poucas horas em contato com a água, liberando grande quantidade de calor na hidratação. Os cimentos de alta resistência inicial, em geral, são ricos em C_3S ;

2) C_2S - tem pega lenta e desenvolve pouca resistência até os 28 dias, que então aumenta rapidamente chegando a equivaler com a do C_3S no primeiro ano. Este composto desenvolve baixo calor de hidratação;

3) C_3A - tem pega instantânea desenvolvendo altíssimo calor de hidratação. Tem baixa resistência e não resiste à ação de águas sulfatadas. Sua quantidade, normalmente, é pequena devido aos inconvenientes citados. No entanto, a presença da alumina é importante na fase de produção do cimento, pois ela age como

fundente, facilitando, desta forma, a formação do clínquer a temperaturas mais baixas;

4) C_4AF - tem pega rápida, porém não instantânea como o C_3A . Tem baixa resistência, mas possui a vantagem do Fe_2O_3 trabalhar como fundente e também fixar parte da alumina melhorando o desempenho do cimento ao ataque de águas sulfatadas como, por exemplo, a água do mar.

Em geral, pode-se dizer que as reações de hidratação dos aluminatos 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 e MONTEIRO, 1994).

2.2.1.2 Finura

Além da composição, a finura do cimento também influencia grandemente a sua reação com a água. Uma vez que a hidratação se inicia na superfície das partículas, é a área total da superfície do cimento que representa o material disponível para hidratação. Conseqüentemente, quanto maior a finura do cimento maior a velocidade de hidratação e mais rápida a evolução da resistência, sem, no entanto, alterar a resistência a idades mais avançadas (NEVILLE, 1997).

2.2.2 Agregados

Os agregados para concreto e argamassa podem ser definidos como materiais de forma granular, de origem natural ou artificial, relativamente inertes, classificados em função das dimensões de suas partículas e que, ao serem misturados com cimento Portland, em presença de água, adquirem um aspecto compacto.

2.2.2.1 Importância dos Agregados

O volume de agregados existente no concreto varia de 70% a 80% do volume total, portanto é inegável a sua importância e influência nas propriedades e características do mesmo.

Abaixo algumas das propriedades do concreto influenciadas pelos agregados:

- . Trabalhabilidade;
- . Resistência mecânica;
- . Módulo de deformação;
- . Massa específica;
- . Características térmicas;
- . Variações volumétricas;
- . Exsudação, e;
- . Durabilidade.

Também existem algumas características negativas dos agregados, que devem ser evitadas quando do emprego em concreto:

- . Excesso ou deficiência de partículas finas;
- . Grãos de formato lamelar;
- . Excesso de impurezas orgânicas;
- . Excesso de torrões de argila;
- . Agregados potencialmente reativos;
- . Agregados em decomposição, e;
- . Baixa resistência mecânica dos grãos.

2.2.2.2 Classificação quanto à origem

- Agregados Naturais:

São todos aqueles provenientes da exploração de jazidas naturais, tais como: depósitos fluviais de areia, cascalho e seixos, areia de mina, pedreiras com rochas de diversos tipos: gnaisse, granito, calcário, basalto, etc., sendo utilizados em sua forma e dimensões originais ou sofrendo apenas trituração mecânica e classificação através de instalações de britagem. Alguns autores, ainda, consideram a pedra britada como sendo artificial por terem sofrido modificações em suas dimensões através da britagem.

- Agregados Artificiais:

Obtidos através de produtos ou processos industriais de obtenção e transformação tais como: argila expandida, escórias de alto-forno, vermiculita, esferas de aço, limalhas, pérolas ou flocos de isopor, etc.

2.2.2.3 Classificação quanto às dimensões

O modo mais comum de se classificar os agregados quanto as suas dimensões baseia-se na composição granulométrica, que consiste em separar os grãos em diferentes peneiras, cujas aberturas estão definidas na NBR NM 248:2003 Agregados - Determinação da Composição Granulométrica.

A NBR 7211:2005 - Agregados para concreto - Especificações classifica os agregados da seguinte forma:

- Agregados Miúdos

Areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira 0,075 mm.

O material resultante do britamento de rochas é denominado "pó de pedra". Quando lavado, para a retirada do excesso de finos, passa a ser classificado como "areia artificial".

Atualmente, com o esgotamento progressivo das jazidas de areia natural e a contaminação dos rios que cortam as grandes cidades, está ficando cada vez mais difícil obter-se areia natural de boa qualidade.

Para amenizar o problema e ao mesmo tempo aumentar a lucratividade, visto que a produção de pó de pedra alcançava níveis de até 18% da pedra extraída, as pedreiras instalaram equipamentos de lavagem e separação do pó, reduzindo assim os níveis de perda para valores próximos a 3% e oferecendo aos Construtores mais uma opção: Areia Artificial.

A substituição total da areia natural pela artificial pode prejudicar a trabalhabilidade do concreto, em decorrência da areia artificial possuir grãos angulosos, arestas vivas, aumentando o atrito, causando menor fluidez no concreto, e a necessidade do aumento de cimento. O ideal é compor os dois materiais em proporções convenientes para corrigir a curva granulométrica do agregado miúdo utilizado no concreto.

- Agregado Graúdo

Pedregulho ou a brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm.

Comercialmente podemos classificar o agregado graúdo (pedra britada) segundo sua bitola em: brita n.º 0, brita n.º 1, brita n.º 2 e brita n.º 3.

2.2.2.4 Classificação quanto ao peso

A relação entre a massa de um determinado agregado e o volume ocupado pelos seus grãos, incluindo-se os vazios, é denominada "massa unitária". Através da massa unitária podemos classificar os agregados em: leves, normais e pesados.

Tabela 2 - Classificação dos agregados

Classificação	Massa por volume ocupado
Leves	Massa Unitária: $< 1,00 \text{ t} / \text{m}^3$ (Vermiculita, argila expandida, escória, isopor, etc.)
Normais	Massa Unitária: $1,00 \text{ t} / \text{m}^3 \leq \text{M.U.} \leq 1,70 \text{ t} / \text{m}^3$ (Areia quartzosa, seixo, cascalho, pedra britada, etc.)
Pesados	Massa unitária: $> 1,70 \text{ t} / \text{m}^3$ (Hematita, magnetita, barita, limonita, etc.)

Fonte: Os autores

2.2.2.5 Classificação quanto à origem mineralógica

Essa classificação é ligada a aspectos ligados a natureza geológica e a composição mineralógica dos agregados.

Devido à solidificação do magma se formaram as rochas originais denominadas magmáticas ou ígneas.

As rochas sedimentares são formadas por grãos e fragmentos de rochas magmáticas, metamórficas ou outras sedimentares. Seu processo de formação ocorre de duas maneiras, a saber: por decomposição e desintegração das rochas mencionadas que sofreram um processo de erosão, transporte, deposição e consolidação ou através da precipitação e deposição química. Os agentes que contribuem para o transporte e deposição dos grãos são: água, gelo e ventos.

As rochas metamórficas são aquelas que sofreram transformações através da ação de temperatura, pressão, gases e vapor de água, produzindo isoladamente ou conjuntamente uma recristalização parcial ou total, formando-se novos minerais e novas texturas sem ocorrer à fusão da rocha.

2.2.3 Água

Para Neville (1997), a água desempenha um papel de fundamental importância na resistência do concreto, não apenas em função de sua quantidade, mas também devido a sua qualidade.

Impurezas contidas na água podem influenciar negativamente a resistência do concreto ou causar manchas na sua superfície ou, ainda, resultar em corrosão da armadura.

De acordo com Recena (2002), a água de mistura não deve conter matérias orgânicas indesejáveis nem substâncias inorgânicas em teores excessivos. Em muitas especificações de obras, a qualidade da água é coberta por uma cláusula dizendo que a água deve ser potável, uma vez que esta raramente contém altos teores de sólidos inorgânicos dissolvidos. Por outro lado, algumas águas não adequadas para beber podem ser satisfatoriamente usadas para o preparo de concreto mesmo apresentando cor escura ou cheiro desagradável, pois não significam, necessariamente, que estão presentes substâncias deletérios.

2.2.4 Aditivos Químicos

A NBR 11768:1992 define os aditivos como “produtos que, adicionados em pequena quantidade ao concreto de cimento portland, modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições”.

Os aditivos podem ser orgânicos ou inorgânicos, mas a natureza química é sua principal característica. A classificação é feita com base na sua principal função no concreto, pois, algumas vezes, os aditivos apresentam mais de uma função.

A NBR 11768:1992 classifica os aditivos para concreto e argamassa da seguinte forma:

- 1) P – plastificante;
- 2) R – retardador;

- 3) A – acelerador;
- 4) PR – plastificante retardador;
- 5) PA – plastificante acelerador;
- 6) IAR – incorporador de ar;
- 7) SP – superplastificante;
- 8) SPR – superplastificante retardador, e;
- 9) SPA – superplastificante acelerador.

A norma brasileira diferencia os aditivos plastificantes e superplastificante por meio da redução possibilitada de água de amassamento para se atingir determinado abatimento, sendo de, no mínimo, 6% no primeiro caso e, no mínimo, 12% no segundo caso.

2.3 Propriedades do concreto fresco

Conhecer o comportamento do concreto no estado plástico é muito importante para obterem-se concretos endurecidos de boa qualidade. É necessário que ele seja tratado cuidadosamente na fase plástica, uma vez que as deficiências geradas nesta fase resultarão em prejuízos para o resto da vida da peça fabricada, comprometendo a sua durabilidade.

Muitas vezes o controle tecnológico se restringe aos ensaios de resistência à compressão simples (concreto endurecido), como se este parâmetro, isoladamente, pudesse garantir a qualidade do concreto.

O concreto e mesmo a sua comercialização, ao ser regido exclusivamente pela resistência característica (f_{ck}) pode não apresentar propriedades tais que o levem a um bom desempenho e a uma durabilidade satisfatória. Dessa forma, outros aspectos devem ser levados em consideração quando se deseja obter concretos de qualidade; entre eles o controle das propriedades do concreto fresco, pois estes são fundamentais à execução das estruturas e às propriedades da estrutura de concreto endurecido.

O controle do concreto no estado fresco também não pode depender exclusivamente do Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone (Slump Test), pois esta metodologia avalia um parâmetro da mistura que é a sua consistência. Outras características igualmente responsáveis pela qualidade final do concreto devem ser verificadas no material antes de seu processo de endurecimento, dentre as quais se

podem citar a trabalhabilidade, a coesão, a segregação, a exsudação e o ar incorporado como sendo as mais importantes.

A qualidade das estruturas acabadas está intimamente ligada à sua qualidade no estado fresco, determinando ou não, a presença de falhas na concretagem, segregação, exsudação e vazios no concreto.

Alguns dos principais parâmetros que devem ser verificados em um concreto fresco, resultados isolados de resistência a compressão, ou mesmo de slump, não são suficientes para garantir um bom desempenho do concreto, devendo ser também verificados outros fatores que vão desde a dosagem adequada do concreto até a sua cura.

Para o concreto fresco, as propriedades desejáveis são as que asseguram a obtenção de uma mistura fácil de transportar, lançar e adensar, sem segregação. As principais propriedades do concreto, quando fresco, são:

- consistência
- plasticidade
- poder de retenção de água
- trabalhabilidade

2.3.1 Consistência

É a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado com determinada facilidade sem perda de sua homogeneidade, é a propriedade relacionada com o estado de fluidez da mistura.

Segundo Araujo, Rodrigues e Freitas a consistência é o grau de fluidez da mistura do concreto fresco, estando, portanto, diretamente relacionado com a mobilidade da pasta (mistura de cimento e água). Pode-se considerar como o principal fator influente na consistência, o teor de água/materiais secos. Quanto mais plástica for à consistência do concreto, maior é a facilidade de moldagem e deslize do concreto entre a armadura, sem que ocorra a separação dos seus componentes. A baixa ou alta consistência é definida baseando-se no espaçamento entre as paredes das formas, natureza da obra e a distribuição da armadura no seu interior.

A consistência do concreto é geralmente medida no ensaio de abatimento / slump test. O Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone (Cone de Abrams) mede a consistência e a fluidez do material, permitindo que se controle a uniformidade do

concreto. A consistência e a trabalhabilidade dependem da composição do concreto, e, em particular, da quantidade de água, da granulometria do agregado, da presença de aditivos, etc. Misturas ricas, como as comumente utilizadas nos concretos para a construção civil, podem ser aferidas satisfatoriamente com este ensaio.

Neville (1997) indica correlações entre o ensaio de abatimento e trabalhabilidade. Considerando-se as especificações dos concretos utilizados na construção civil, embora o ensaio apresente limitações, devido à facilidade de sua realização, torna-se muito útil para o controle da qualidade do concreto no estado fresco. No entanto, deve-se ter a garantia que o concreto foi dosado adequadamente e verificada a trabalhabilidade durante o seu preparo.



Figura 9 - Kit Slump Test (cone de Abrams)

Fonte: (site: www.protefix.com.br, 2012).

Na elaboração do ensaio, o cone deve ser molhado internamente e colocado sobre uma chapa metálica, também molhada. Uma vez assentado firmemente sobre a chapa, enche-se o cone com concreto em três camadas de igual altura. “Cada uma dessas camadas é “socada” com 25 golpes, com uma barra de ferro de 5/8” (16 mm).

Terminada a operação, retira-se o cone verticalmente e mede-se o abatimento da amostra conforme ilustrado na Figura 10.

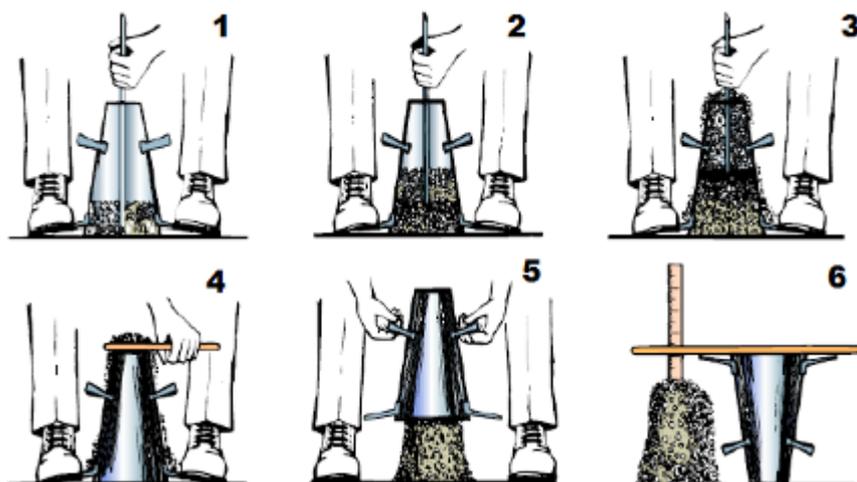


Figura 10 - Esquema do Slump Test
 Fonte: (site: www.ebah.com.br, 2012).

2.3.2 Plasticidade

Segundo Araujo, Rodrigues e Freitas (2000) plasticidade é a propriedade do concreto fresco identificada pela facilidade com que este é moldado sem se romper. Depende fundamentalmente da consistência e do grau de coesão entre os componentes do concreto. Quando não há coesão os elementos se separam, isto é, ocorre a segregação.

Segregação é a separação dos grãos do agregado da pasta de cimento. Pode ocorrer durante o transporte, durante o lançamento, em consequência de movimentos bruscos, durante o adensamento, por vibração excessiva, ou pela ação da gravidade, quando os grãos graúdos, mais pesada do que os demais, tendem a assentar no fundo das formas.

À medida que as paredes das formas vão-se aproximando e a armadura se torna mais densa, maior deve ser o grau de plasticidade da mistura, a fim de evitar o perigo de que apareçam vazios na peça depois de concretada. Neste caso seria altamente desfavorável obter a consistência desejada aumentando-se simplesmente a quantidade de água, pois essa prática diminuiria significativamente a resistência do concreto, a qual para ser compensada exigiria o emprego de mais cimento.

Misturas contendo quantidades excessivas de agregados graúdos resultam em massas de concreto fresco com baixa coesão e mobilidade, exigindo grande esforço no seu lançamento e adensamento.

2.3.3 Poder de Retenção de Água

Segundo Araujo, Rodrigues e Freitas (2000), o poder de retenção de água é o oposto à exsudação. Exsudação é o fenômeno que ocorre em certos concretos quando a água se separa da massa e sobe à superfície da peça concretada. A água, ao subir à superfície, pode carregar partículas finas de cimento, formando uma pasta, que impede a ligação de novas camadas de material e deve ser removida cuidadosamente. Esse fenômeno acontece quando no processo de lançamento do concreto nas formas a parte sólida não é capaz de reter a água de amassamento. Ocorre geralmente em concretos com pequena porcentagem de finos.

Para minorar a exsudação é necessário alterar a dosagem do concreto, aumentando-se a proporção de finos e o teor de cimento. A exsudação também pode ser controlada pela adequada confecção de um concreto trabalhável, evitando-se o emprego de água além do limite necessário.

2.3.4 Trabalhabilidade

Conceito que identifica a menor ou maior aptidão do concreto ser empregado sem perda de homogeneidade é uma propriedade do concreto recém-misturado que determina a facilidade com a qual o material pode ser misturado, lançado, adensado e acabado.

As propriedades de um concreto não podem ser consideradas isoladamente. A consistência afeta diretamente a trabalhabilidade, a qual, por sua vez, não só é afetada pela plasticidade como garante a constância da relação água/cimento.

Nem sempre o acréscimo de água na mistura leva a uma maior trabalhabilidade, podendo, muitas vezes, levar à exsudação, à segregação, ou simplesmente, a um aumento do abatimento. A trabalhabilidade depende de uma seleção e proporção adequada dos materiais e muitas vezes do uso de adições e aditivos. Os teores de pasta, de argamassa e de agregados, em função da trabalhabilidade desejada, devem ser compatibilizados. Isto se consegue mediante o conhecimento das características de cada componente e da sua proporção correta na mistura. Segundo Neville (1997) não existe um ensaio aceitável que determine diretamente a trabalhabilidade do concreto. No entanto, inúmeras tentativas têm sido

feitas para correlacionar a trabalhabilidade com alguma grandeza física fácil de ser determinada. Dentre os ensaios que indicam indiretamente a trabalhabilidade dos concretos convencionais e bombeados pode-se citar o Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone.

Adições de água em demasia ou abatimentos superiores aos especificados podem trazer grandes prejuízos à trabalhabilidade, bem como às propriedades do concreto endurecido.

2.4 Propriedades do concreto endurecido

2.4.1 Peso específico

O peso específico do concreto endurecido depende de muitos fatores, principalmente da natureza dos agregados, da sua granulométrica e do método de compactação empregado. Será tanto maior quanto maior for o peso específico dos agregados usados e tanto maior quanto mais quantidade de agregado gráudo contiver.

2.4.2 Deformações

As deformações do concreto podem ser de duas naturezas:

- Deformações causadas por variação das condições ambientes: retração e deformações provocadas por variações de umidade e temperatura ambiente;
- Deformações causadas pela ação de cargas externas: deformação imediata, deformação lenta, deformação lenta recuperável e fluência.

2.4.3 Resistência à compressão

A resistência à compressão simples é a característica mais importante de um concreto. É determinada em corpos de prova padronizados para possibilitar que resultados de diferentes concretos possam ser comparados. Observa-se que resultados da tensão ruptura (f_{cj}) obtidas no ensaio de diversos corpos de prova são mais ou menos dispersos em torno da resistência média (f_{cm}), conforme o rigor com que se confeccione o concreto.

A resistência do concreto à compressão, para um mesmo cimento, sofre influência de alguns fatores, como:

- fator água/cimento;
- idade do concreto;
- forma e dimensão do corpo de prova e qualidade dos materiais;
- Fator água / cimento;
- Idade do concreto;
- Forma e dimensão do corpo de prova;
- Qualidade dos materiais.

2.4.4 Resistência à tração

A resistência à tração depende de vários fatores, principalmente da aderência dos grãos dos agregados com a argamassa.

De acordo com o método de ensaio obtém-s diferentes valores para a resistência à tração axial, resistência à tração na flexão e resistência à tração por compressão diametral.

2.4.5 Durabilidade e Impermeabilidade

A durabilidade pode ser definida como sendo a capacidade que o concreto possui de resistir à ação do tempo, aos ataques químicos, à abrasão ou a qualquer outra ação de deterioração. A durabilidade depende, entretanto, do tipo de ataque, físico ou químico, que o concreto, depois de endurecido, será submetido, devendo ser analisado criteriosamente antes da escolha dos materiais e da dosagem. No que diz respeito à abrasão ou a erosão, a durabilidade está diretamente ligada a resistência do concreto.

A impermeabilidade do concreto está relacionada com a durabilidade. Um concreto impermeável impede o acesso de agentes agressivos. Vários são os fatores que podem influir na durabilidade e na impermeabilidade dos concretos, entre eles:

- Porosidade da pasta: A impermeabilidade está diretamente relacionada com a porosidade da pasta. Quanto menos porosa mais impermeável será a pasta e, conseqüentemente, o concreto.

A porosidade depende de dois fatores principais: da relação água/cimento e do grau de hidratação da pasta. A relação água/cimento, neste caso, define a estrutura da pasta. Quanto menor essa relação, mais próxima uns dos outros estará os grãos de cimento e menor, portanto, será a porosidade da pasta.

Como os produtos da hidratação ocupam um volume maior do que o cimento na pasta, a porosidade diminui à medida que a hidratação evolui.

Pode-se concluir, dessa forma, que a impermeabilidade do concreto aumenta, também, com a redução da relação água/cimento e com a evolução da hidratação, ou seja, com a idade do concreto.

- Agressão química - Principalmente de sulfatos, que reagindo com o hidróxido de cálcio livre e o aluminato de cálcio hidratado presentes no cimento, aumentam o volume dos sólidos causando expansão que, por sua vez, provocam fissuração, que poderão resultar na total deterioração da peça endurecida. Esses efeitos podem ser atenuados se a relação água/cimento não ultrapassar 0,40 para peças delgadas, com menos de 2,5 cm de recobrimento de armadura, e 0,45 para outras estruturas. No caso de se utilizar cimentos resistentes a sulfatos, o fator água/cimento deverá ser de 0,45 e 0,50, respectivamente, conforme recomenda o ACI - American Concrete Institute.

3 METODOLOGIA

O início das atividades se deu com a definição do tema e com a pesquisa de fontes bibliográficas, através de livros, artigos, normas técnicas e internet, referentes ao assunto objeto de estudo. Após a conclusão de pesquisa e da proposta apresentada e aceita, foi elaborado um cronograma com definição de datas para realização de ensaios e análises propostos para conclusão do estudo.

Os insumos utilizados no estudo são os mesmos empregados por diversas concreteiras locais.

Depois de coletados os agregados miúdos e graúdos, foram ensaiados para determinação de suas características de acordo com os procedimentos prescritos nas normas técnicas.

3.1 Materiais e ensaios

O processo de caracterização dos materiais foi executado no laboratório de SUPERMIX CONCRETO S.A, onde pudemos conhecer as características dos agregados que seriam utilizados no concreto de estudo.

a) Cimento:

O cimento utilizado para produção do concreto foi do tipo CP IV, classe de resistência utilizada 32 MPa.

O ensaio realizado foi o prescrito na NBR 7215:1996 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.

Tabela 3 - Resistências de 3, 7 e 28 dias em MPa

Idade	Resistência (MPa)	
3 dias	22,66	21,90
7 dias	30,04	30,35
28 dias	38,70	39,10

Fonte: Supermix Concreto S.A

Tabela 4 - Características do cimento empregado

ENSAIO QUÍMICO - RX - MÉTODO DE ENSAIO NBR 14656/01	NORMA N°	UNID.	MÉDIA	Máximo	Minímo	ESPECIF. NORMA
Perda de Fogo - PF	NM18/04	%	3,62	3,93	3,39	<ou=4,5
Oxido de Magnésio - MgO	NM14/04	%	5,84	6,05	5,47	<ou=6,5
Anidrido Sulfúrico - SO ₃	NM16/04	%	3,12	3,33	2,63	<ou=4,5
Anidrido Carbônico - CO ₂	NM20/04	%	2,47	2,59	2,33	<ou=3,0
Residuo Insulúvel - RI	NM22/05	%	12,5	14,05	10,07	não aplicável
Equivalente Alcalino em Na ₂ O - (0,658 x K ₂ O% + Na ₂ O%)		%	0,74			não aplicável
ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS						
ENSAIO	NORMA N°	UNID.	MÉDIA	Máximo	Minímo	ESPECIF. NORMA
Área Específica (Blaine)	NM76/98	m ² /kg	511	530	486	>ou=300
Massa Específica	NM23/01	g/cm ³	3,02	-	-	não aplicável
Finura - Resíduo na Peneira de 0,075 mm (#200)	NBR 11579/91	%	0,2	0,2	0,1	<ou=5,0
Finura - Resíduo na Peneira de 0,044 mm (#325)	NBR 12826/93	%	1,8	2,4	1,3	não aplicável
Água da Pasta de Consistência Normal	NM43/02	%	29,0	29,8	28,4	não aplicável
Início de Pega	NM65/03	min	190	215	180	>ou=60min
Fim de Pega	NM65/03	min	266	290	245	>ou=480min
Expansibilidade de Le Chatelier - a Quente	NBR 11582/91	mm	0,63	1,00	0,5	<ou=5,0
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (Mpa)				ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 7215/69		
Idade (Dias)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio		
1	22,1	24,7	23,3	0,7	>ou=11	
3	31,4	34,1	32,7	0,5	>ou=24	
7	36,3	38,8	37,3	0,6	>ou=34	

Fonte: Fabricante

b) agregado miúdo (areia natural e artificial) e grúdo (brita 1)

Com relação aos agregados os ensaios de caracterização realizados foram:

(colocar quais são as normas corretas)

- determinação da composição granulométrica;
- determinação do modulo de finura;
- determinação material pulverulento;
- massa unitária real, e;
- diâmetro máximo do agregado.

Conforme mostram tabelas abaixo de cada material:

Tabela 5 - Areia Natural

GRANULOMETRIA			
PENEIRA (mm)	PESO RETIDO	PORCENTAGEM	
		RETIDA	ACUMUL.
76		- %	%
64		- %	%
50		- %	%
38		- %	%
32		- %	%
25		- %	%
19		- %	%
12,5		- %	%
9,5		- %	%
6,3		- %	%
4,8	4,0	0,40 %	0,40 %
2,4	20,0	2,00 %	2,40 %
1,2	76,0	7,60 %	10,00 %
0,6	196,0	19,60 %	29,60 %
0,3	406,0	40,60 %	70,20 %
0,15	222,0	22,20 %	92,40 %
FUNDO	76,0	7,60 %	100%
TOTAL	1000	100 %	

ENSAIOS	
DESCRIÇÃO	RESULTADOS
DIÂMETRO MÁXIMO NBR NM 248	2,4 mm
MASSA ESPECÍFICA NBR 9776	2,632 kg/dm ³
IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR 7220	< 300 ppm
MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 248	3,40 %
MÓDULO DE FINURA NBR NM 248	2,050

CLASSIFICAÇÃO: Areia fina

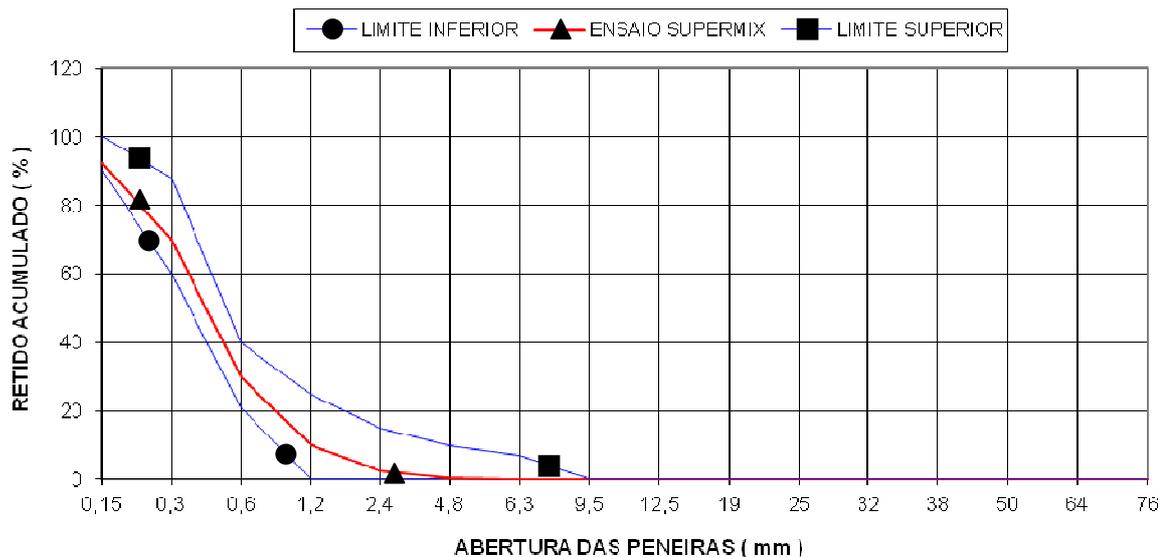


Gráfico 1 - Curva Granulométrica

Tabela 6 - Areia Artificial

PENEIRA (mm)	PESO RETIDO	PORCENTAGEM	
		RETIDA	ACUMUL.
76		-	%
64		-	%
50		-	%
38		-	%
32		-	%
25		-	%
19		-	%
12,5		-	%
9,5		-	%
6,3		-	%
4,8		-	%
2,4	86,0	8,60 %	8,60 %
1,2	300,0	30,00 %	38,60 %
0,6	180,0	18,00 %	56,60 %
0,3	156,0	15,60 %	72,20 %
0,15	130,0	13,00 %	85,20 %
FUNDO	148,0	14,80 %	100%
TOTAL	1000	100 %	

DESCRIÇÃO	RESULTADOS
DIÂMETRO MÁXIMO NBR NM 248	4,8 mm
MASSA ESPECÍFICA NBR 9776	2,778 kg/dm ³
IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR 7220	<300 ppm
MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 248	15,20 %
MÓDULO DE FINURA NBR NM 248	2,612

CLASSIFICAÇÃO: Areia média

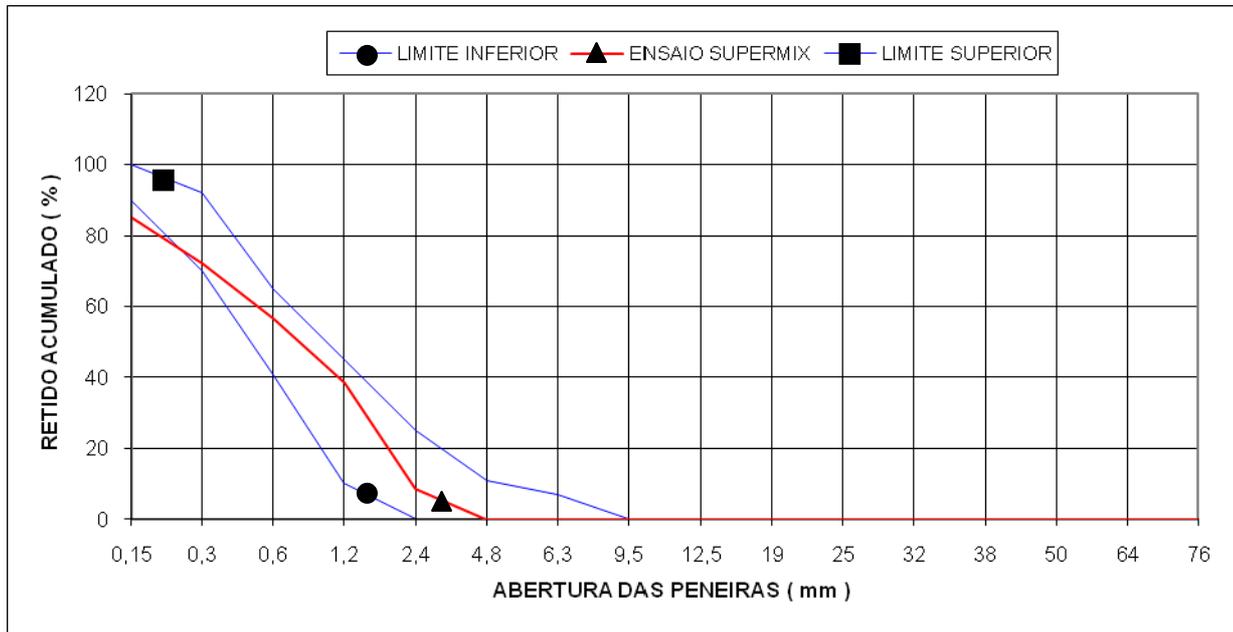


Tabela 7 - Brita 1

GRANULOMETRIA			
PENEIRA (mm)	PESO RETIDO	PORCENTAGEM	
		RETIDA	ACUMUL.
76			
64			
50			
38			
32		-	%
25		-	%
19	3046	30,5	% 30,5 %
12,5	6040	60,4	% 90,9 %
9,5	372	3,7	% 94,6 %
6,3	484	4,8	% 99,4 %
4,8			% 99,42 %
2,4			% 99,42 %
1,2			% 99,42 %
0,6			% 99,42 %
0,3			% 99,42 %
0,15			% 99,42 %
FUNDO	58,0	0,58	% 100%
TOTAL	10000	100	%

DESCRIÇÃO	RESULTADOS
DIÂMETRO MÁXIMO NBR NM 248	19,0 mm
MASSA ESPECÍFICA NBR 9776	2,747 kg/dm ³
IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR 7220	< 300 ppm
MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 248	0,6 %
MÓDULO DE FINURA NBR NM 248	7,216

CLASSIFICAÇÃO: Brita 1

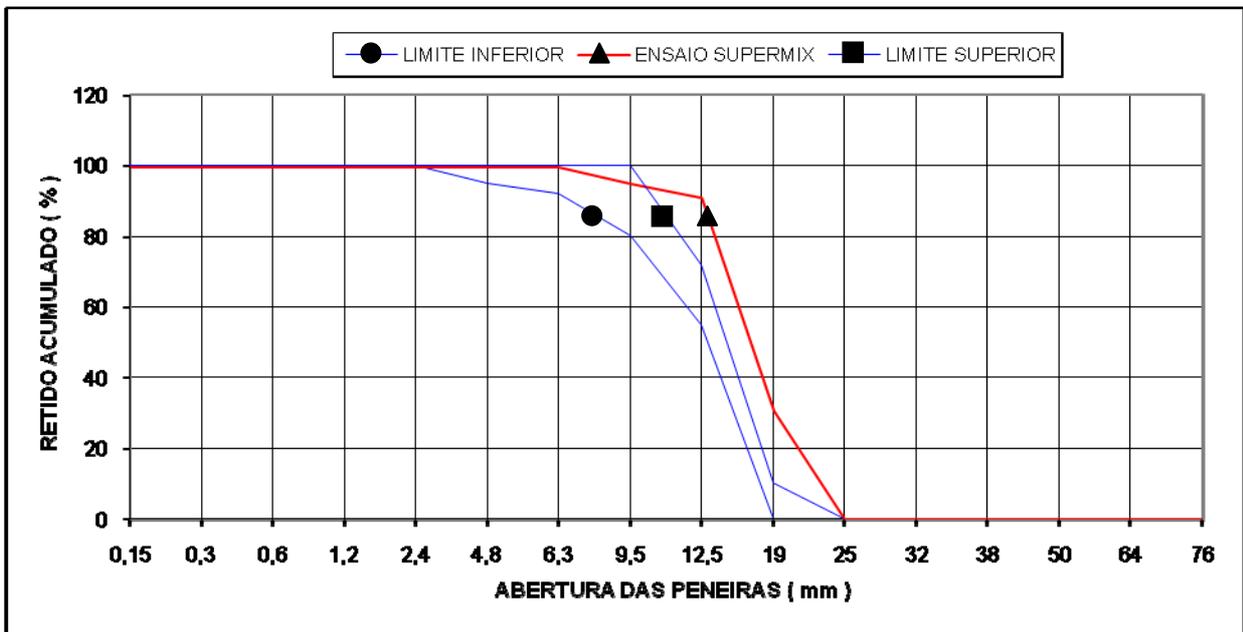


Gráfico 3 - Curva Granulométrica

3.2 Características dos Traços Desenvolvidos

Foram realizados nove traços, variando entre os a/c's 0,4; 0,6 e 0,8, determinados por uma curva de Abrams previamente desenvolvida com os materiais empregados, traço normal (referencia), com adição de fibra de polipropileno e fibra metálica, com adição de fibras na dosagem inicial recomendada por cada fornecedor.

Cada traço foi executado com um volume de 50 litros de material, partindo de um slump inicial de 14 ± 2 .

Tabela 8 - Traços desenvolvidos

Tipo de traço	A/c	Cim (kg)	A. nat (kg)	A. art (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	Aditivo (g)	Fibras (g)
Referência	0,400	13,786	10,082	10,082	29,836	5,514	65,070	-
Fibra polipropileno	0,400	13,786	10,082	10,082	29,836	5,514	65,070	15 *
Fibra metálica	0,400	13,786	10,082	10,082	29,836	5,514	65,070	1000 **
Referência	0,600	8,480	11,909	11,909	26,191	5,088	40,025	-
Fibra polipropileno	0,600	8,480	11,909	11,909	26,191	5,088	40,025	15 *
Fibra metálica	0,600	8,480	11,909	11,909	26,191	5,088	40,025	1000 **
Referência	0,800	6,124	12,823	12,823	24,353	4,899	28,903	-
Fibra polipropileno	0,800	6,124	12,823	12,823	24,353	4,899	28,903	15 *
Fibra metálica	0,800	6,124	12,823	12,823	24,353	4,899	28,903	1000 **

- * dosagem recomendada pelo fornecedor de 600 gramas por m³.
- ** dosagem recomendada pelo fornecedor de 25 quilos por m³.

Tabela 9 - traço unitário

Tipo de traço	Cim	A. nat	A. art	Brita 1	Água	Aditivo (%)	Fibras (%)
Referência	1	0,731	0,731	2,164	0,4	0,472	-
Fibra polipropileno	1	0,731	0,731	2,164	0,4	0,472	0,11
Fibra metálica	1	0,731	0,731	2,164	0,4	0,472	7,25
Referência	1	1,404	1,404	3,089	0,6	0,472	-
Fibra polipropileno	1	1,404	1,404	3,089	0,6	0,472	0,18
Fibra metálica	1	1,404	1,404	3,089	0,6	0,472	11,79
Referência	1	2,094	2,094	3,977	0,8	0,472	-
Fibra polipropileno	1	2,094	2,094	3,977	0,8	0,472	0,245
Fibra metálica	1	2,094	2,094	3,977	0,8	0,472	16,33

Fonte: os autores

3.3 Procedimentos para execução dos traços

Cada traço de concreto foi executado da seguinte maneira:

- primeiramente a betoneira foi molhada para evitar que o material grudasse no equipamento
- os materiais foram pesados individualmente e colocados dentro da betoneira na seguinte ordem: brita – areias – cimento – água (+- 85%) – restante da água com o aditivo diluído. O material mistura dentro da betoneira por 3 minutos cronometrados, após esse tempo a betoneira é desligada e é verificado se não ficou nada de material grudado nas pás da betoneira, caso tenha ficado, o material é desgrudado, e continuamos a misturar os materiais por mais 15 minutos, para simular a perda de abatimento no transporte entre a central de concreto e o local de aplicação. Quando o traço possui adição de fibras é nesse momento que realizamos o procedimento de adição.

Após os 15 minutos de mistura, executamos o ensaio de slump test, para verificar a perda de abatimento, também podemos verificar a coesão entre os materiais e se está ocorrendo perda de água no traço (o que pode indicar pouco material fino na composição). Feitas as verificações, moldamos os corpos de prova para idades de 3, 7 e 28 dias.



Figura 11 – Mistura do concreto fresco;



Figura 12 - Adição de fibra de polipropileno;



Figura 13 - Adição de fibra de metálica;



Figura 14 - Perda de abatimento (slump test);



Figura 15 - Moldagem de corpos de prova cilíndricos;



Figura 16 - Moldagens de várias séries.

4 RESULTADOS E ANALISES

Neste capítulo serão apresentados os resultados de todos os ensaios realizados com os concretos com adição de fibras de polipropileno e metálica desenvolvidos para essa monografia.

4.1 Concretos no Estado Fresco

Antes da realização de cada traço foi verificada a temperatura ambiente e o percentual de umidade do ar.

Tabela 10 - Temperatura e umidade do ar

	Traço	Temperatura °C	umidade ar %
A/C 0,4	Referência	14,1	87,0
	F. polipropileno	14,0	87,0
	F. metálica	13,7	87,0
A/C 0,6	Referência	13,4	88,0
	F. polipropileno	13,6	88,0
	F. metálica	14,1	87,0
A/C 0,8	Referência	13,3	87,0
	F. polipropileno	13,3	88,0
	F. metálica	13,2	89,0

Fonte: os autores

O ensaio realizado com os concretos em estado fresco foi à determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (NBR/NM 67:1998)

Tabela 11 - Abatimento do Tronco de Cone

	Traço	Abatimento (cm)
A/C 0,4	Referência	16,0
	F. polipropileno	12,5
	F. metálica	11,0
A/C 0,6	Referência	16,5
	F. polipropileno	11,0
	F. metálica	10,0
A/C 0,8	Referência	16,0
	F. polipropileno	8,5
	F. metálica	7,5

Fonte: os autores

4.2 Concretos no Estado Endurecido

Foram realizados os ensaios de resistência à compressão nas idades de 3, 7 e 28 dias (NBR 5739:1994), resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222:1994) e absorção de água (NBR 9778:2005).

Todos os corpos de prova permaneceram em processo de cura, em tanque de cura com temperatura controlada até a data dos ensaios em questão.

- Determinação da resistência à compressão (NBR 5739:1994)

Para o ensaio de resistência a compressão (NBR 5739:1994), obtivemos os seguintes resultados:

Tabela 12 - Resultados de rompimentos a compressão axial

Traço		3 dias (MPa)	Média 3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	Média 7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	Média 28 dias (MPa)
A/C 0,4	Referência	30,4	30,2	45,0	44,0	55,8	55,7
		29,9		43,0		55,6	
	F. polipropileno	34,4	32,2	45,4	45,2	60,5	59,9
		30,0		44,9		59,2	
	F. metálica	30,4	29,3	45,0	44,5	55,7	55,4
		28,2		43,9		55,0	
A/C 0,6	Referência	16,4	16,6	28,5	28,5	38,3	37,6
		16,7		28,5		36,8	
	F. polipropileno	18,3	18,4	29,2	29,1	40,9	41,1
		18,5		29,0		41,3	
	F. metálica	17,9	17,5	29,7	28,7	39,9	39,2
		17,0		27,6		38,4	
A/C 0,8	Referência	11,3	11,3	18,8	17,9	23,4	24,0
		11,2		16,9		24,6	
	F. polipropileno	11,0	11,0	18,0	17,8	25,3	25,0
		10,9		17,5		24,6	
	F. metálica	10,9	10,8	17,3	17,4	26,3	24,9
		10,6		17,5		23,4	

Fonte: os autores



Figura 17 - Corpos de Prova aguardando rompimento

Fonte: os autores



Figura 18 - Prensa hidráulica utilizada para rompimento de corpos de prova
Fonte: os autores



Figura 19 - Corpos de Prova rompidos
Fonte: os autores



Figura 20 - Corpos de Prova rompidos

Fonte: os autores

Nos gráficos a seguir podemos visualizar as resistências em MPa para cada relação água/ cimento estudado.

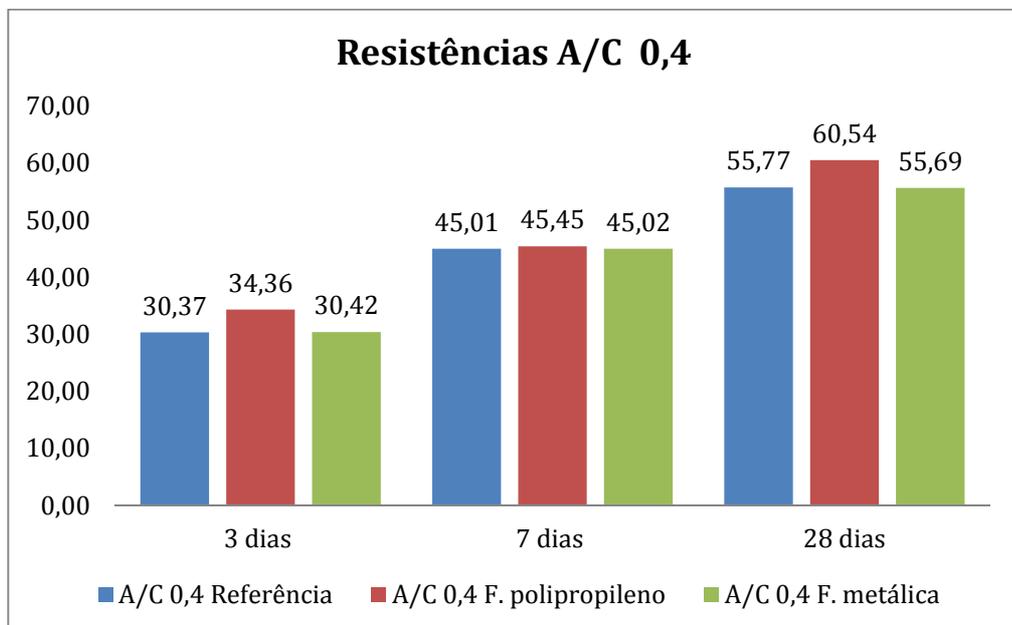


Gráfico 4 - Resistências a/c=0,4

Fonte: os autores

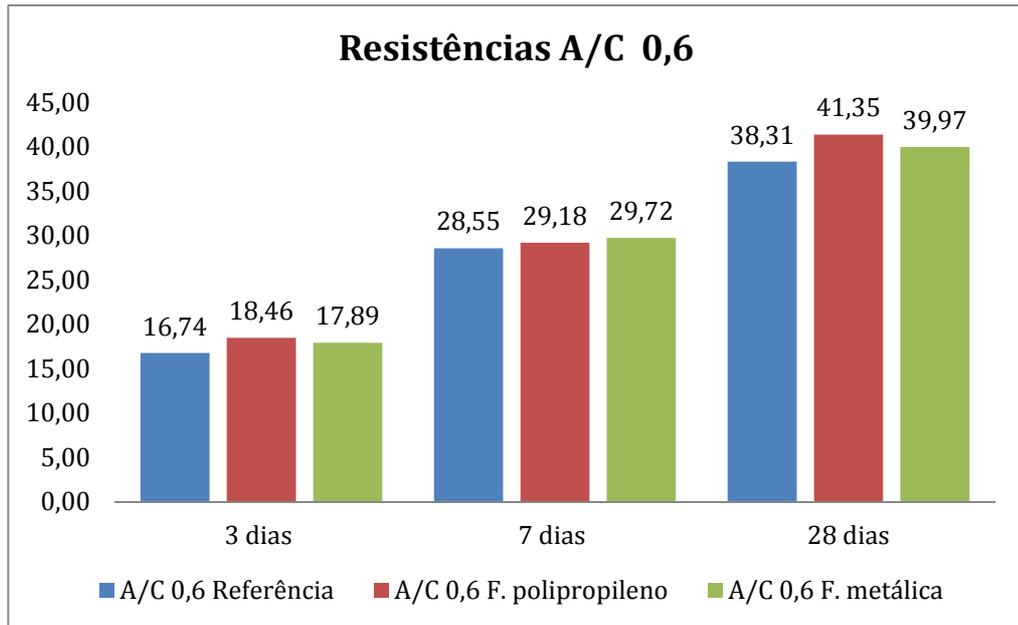


Gráfico 5 - Resistências a/c=0,6

Fonte: os autores

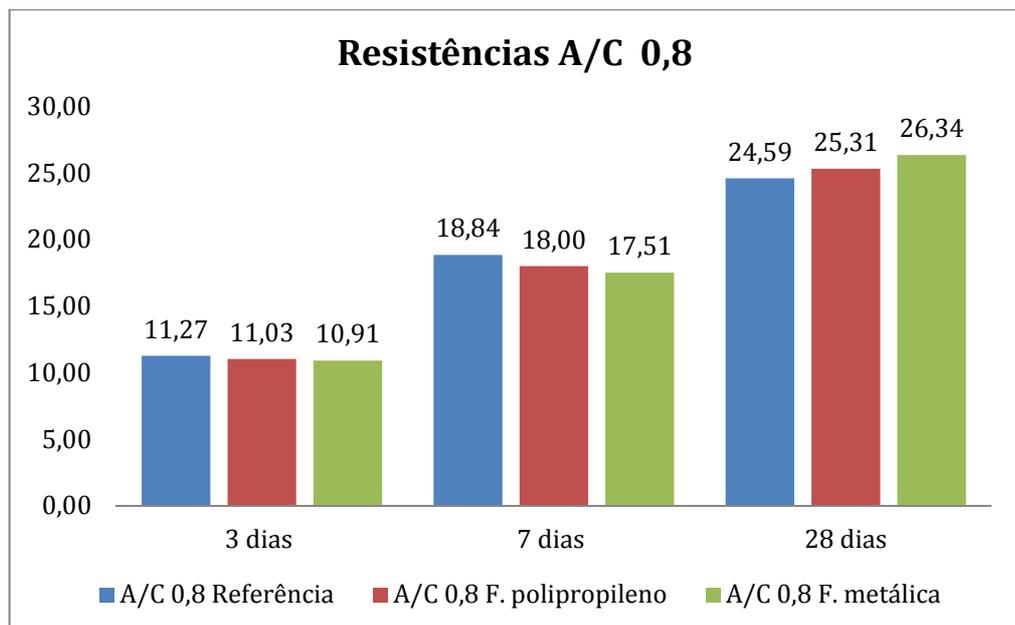


Gráfico 6 - Resistências a/c=0,8

Fonte: os autores

Outra forma de análise do desempenho dos traços desenvolvidos é através da Curva de Abrams que foi realizada a partir dos resultados de 3, 7 e 28 dias com seus respectivos fatores A/C, conforme os gráficos 7, 8 e 9:

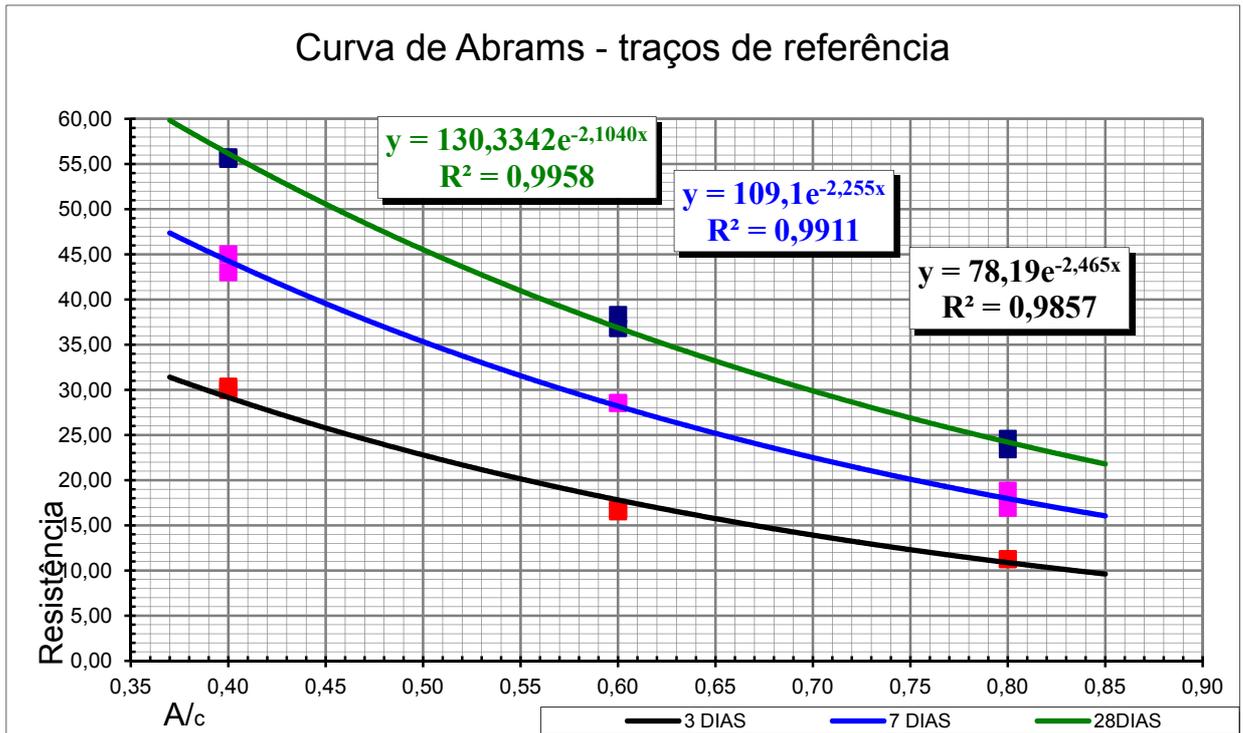
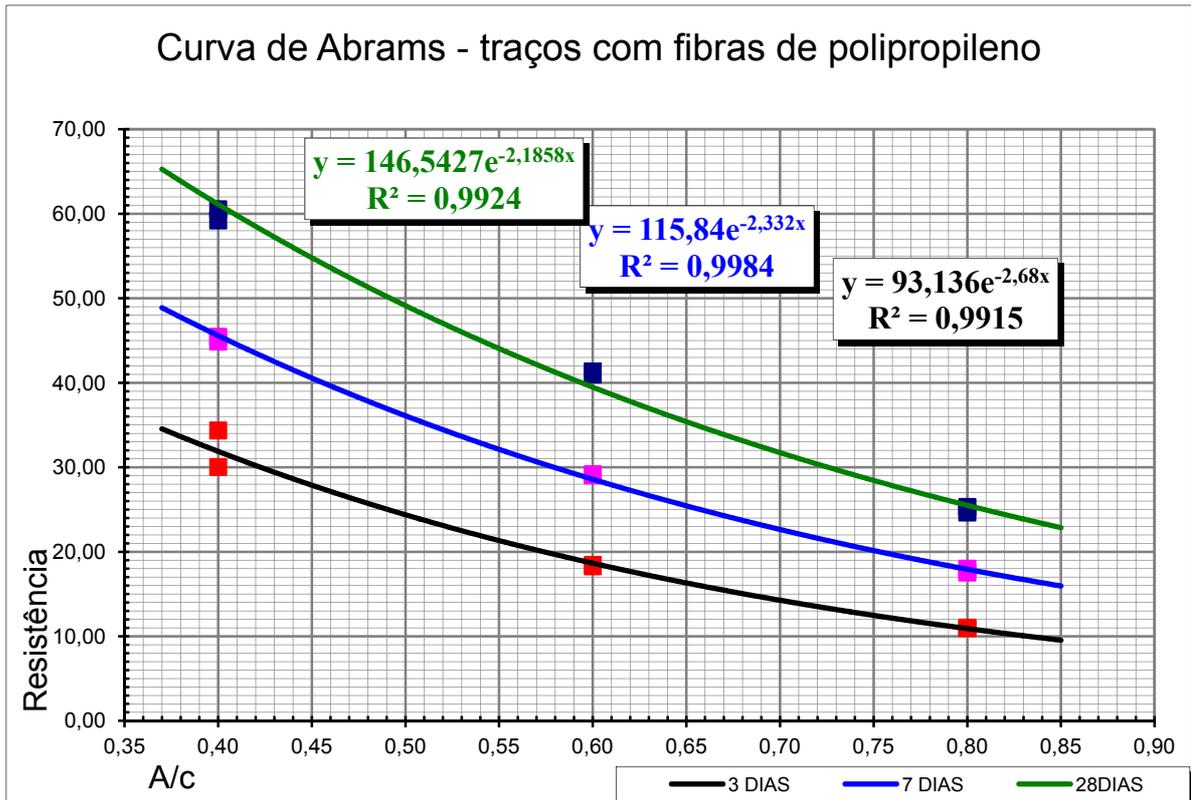


Gráfico 7 - Curva de Abrams – traço referência

Fonte: os autores

Analisando a curva de Abrams dos traços normais podemos expor:

- média de crescimento de 3 para 7 dias de 56,0 %,
- média de crescimento de 7 para 28 dias de 30,0 %.



Analisando a curva de Abrams dos traços com fibras de polipropileno podemos expor:

- média de crescimento de 3 para 7 dias de 50,0 %,
- média de crescimento de 7 para 28 dias de 37,0 %.

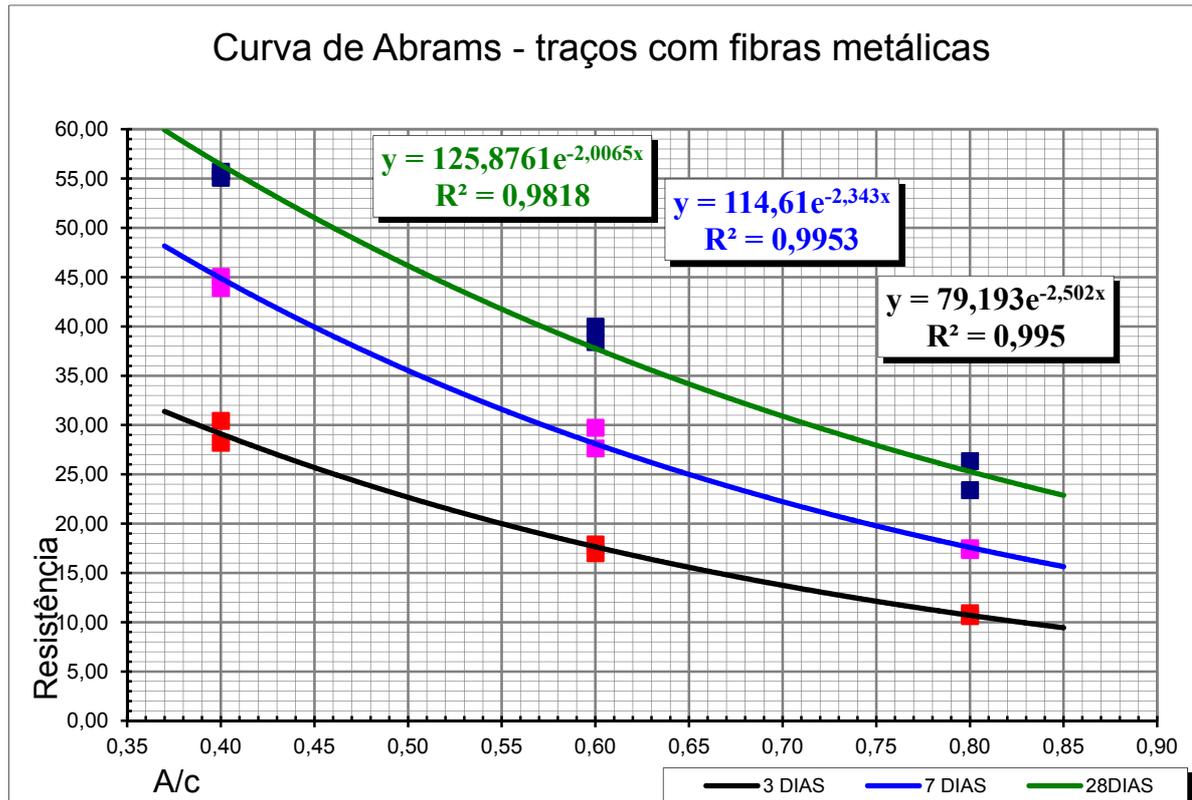


Gráfico 9 - Curva de Abrams – traços com fibras metálicas

Fonte: os autores

Analisando a curva de Abrams dos traços com fibras de metálica podemos expor:

- média de crescimento de 3 para 7 dias de 52,0 %,
- média de crescimento de 7 para 28 dias de 29,0 %.

Sobrepondo as curvas de 28 dias, com os traços normais, fibra de polipropileno e fibra metálica temos:

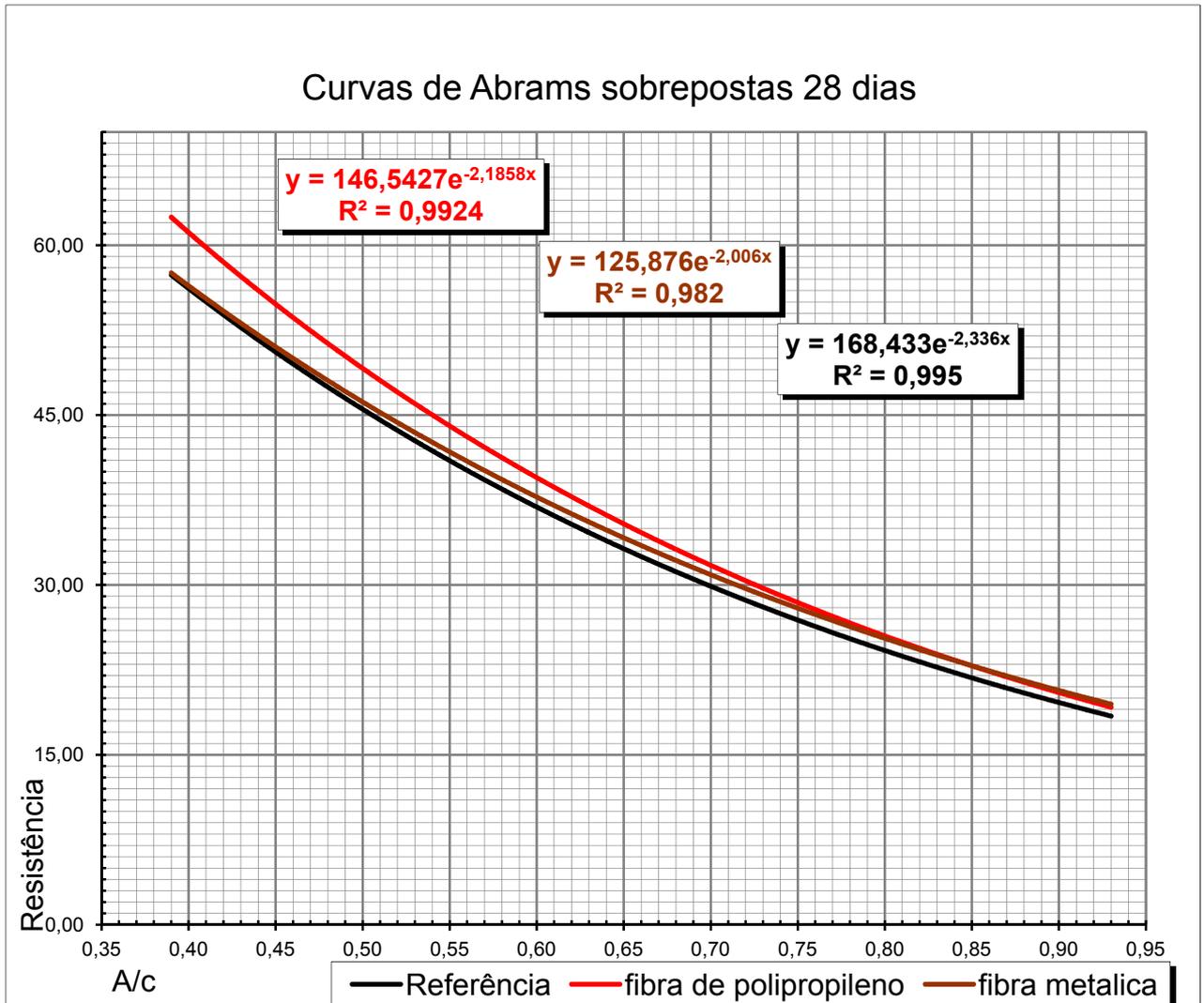


Gráfico 10 - Curva de Abrams (28 dias) – Sobrepostas

Fonte: os autores

Analisando as curvas de Abrams sobrepostas conclui-se que a curva que apresenta melhor desempenho é a curva com adição de fibra de polipropileno, nos a/c's menores que 0,8; a partir desse a curva passa a ser coincidente com a curva de fibra metálica.

- Determinação da resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222:1994)

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral, realizado com as amostras com idade de 28 dias, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, obtivemos os seguintes resultados:

Tabela 13 - Resultados ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Traço	Resistência MPa			Média (MPa)	Mediana (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coef. de variação (%)	
	CP1	CP2	CP3					
A/C 0,4	Referência	4,4	4,5	4,8	4,6	4,5	0,196	4,26
	F. polipropileno	4,6	5,2	4,6	4,8	4,6	0,335	7,03
	F. metálica	5,2	4,7	4,4	4,8	4,7	0,389	8,12
A/C 0,6	Referência	2,6	3,7	4,2	3,5	3,7	0,862	24,42
	F. polipropileno	3,9	3,4	3,6	3,6	3,6	0,297	8,15
	F. metálica	3,9	3,7	3,7	3,8	3,8	0,084	2,22
A/C 0,8	Referência	2,2	2,7	2,6	2,5	2,6	0,298	11,94
	F. polipropileno	2,9	2,7	2,7	2,8	2,8	0,093	3,33
	F. metálica	2,3	2,1	2,8	2,4	2,3	0,375	15,71

Fonte: os autores

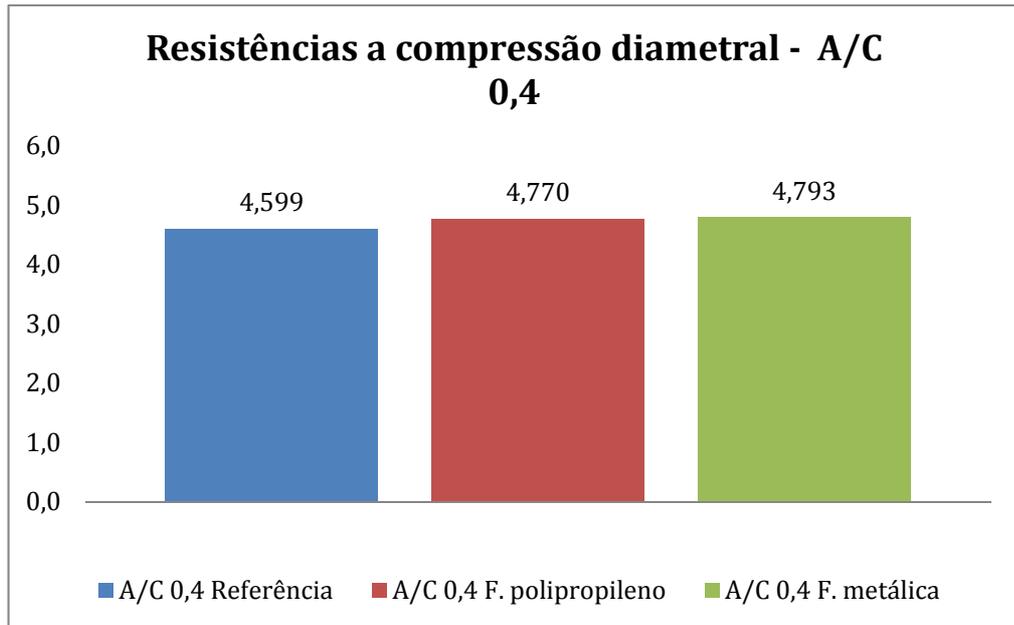


Gráfico 11 - Resistências à compressão diametral $a/c=0,4$

Fonte: os autores

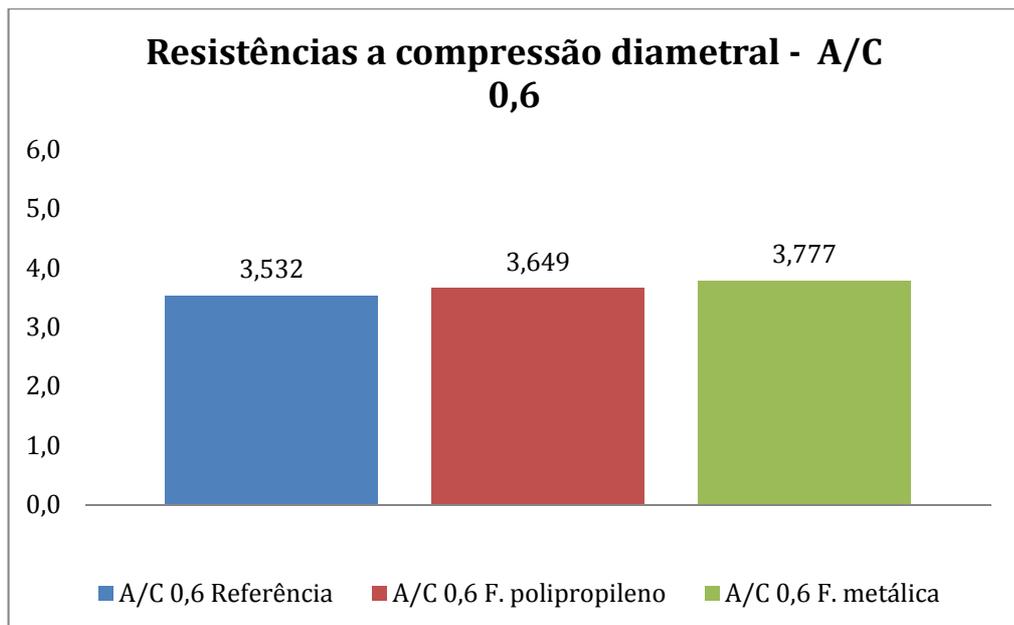


Gráfico 12 - Resistências à compressão diametral $a/c=0,6$

Fonte: os autores

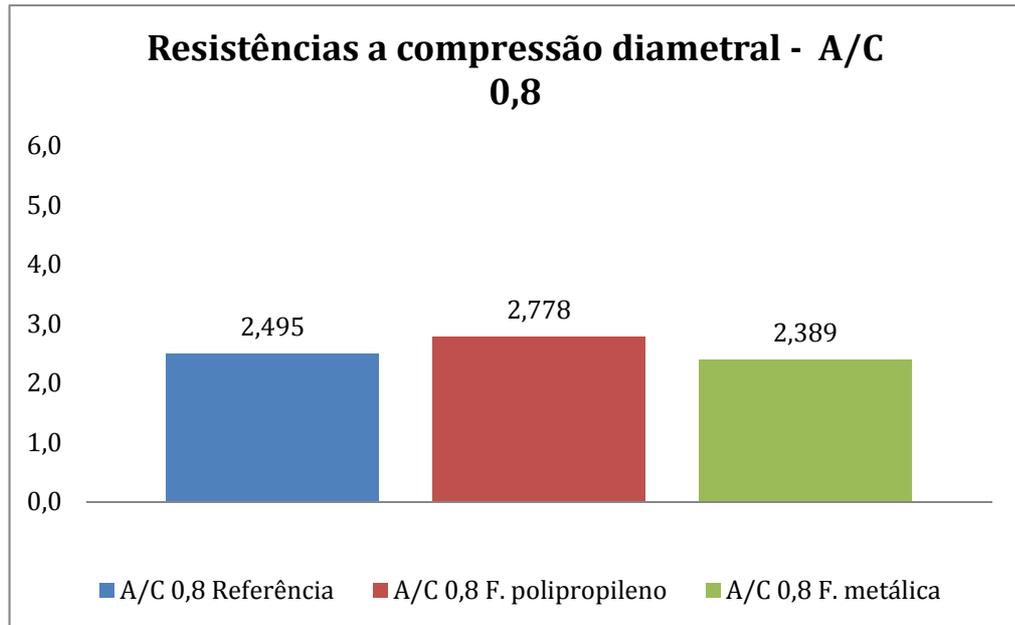


Gráfico 13 - Resistências à compressão diametral $a/c=0,8$

Fonte: os autores



Figura 21 - Prensa hidráulica com adaptador para compressão diametral

Fonte: os autores



Figura 22 - Corpos de prova rompidos a compressão diametral

Fonte: os autores

- Determinação de Absorção de água em concretos endurecidos

Este ensaio foi feito através da relação entre a massa seca após a permanência na estufa e saturada da amostra, dividido pela massa seca vezes 100%, conforme a NBR 9778:2005 - Argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água por imersão - índice de vazios e massa específica.

Foram ensaiados dois corpos-de-prova para cada traço desenvolvido na idade de 28 dias.

Tabela 14 - Absorção de água em corpos de prova

	Traço	% absorção
A/C 0,4	Referência	5,290
	F. polipropileno	5,307
	F. metálica	5,356
A/C 0,6	Referência	5,622
	F. polipropileno	5,646
	F. metálica	5,681
A/C 0,8	Referência	5,977
	F. polipropileno	6,019
	F. metálica	6,033

Fonte: os autores

5 CONCLUSÃO

Durante a produção das misturas dos concretos, pode-se observar que com adição de fibra de polipropileno e fibra metálica que houve uma redução na trabalhabilidade dos concretos. Essa perda de trabalhabilidade é proporcional ao aumento da relação água/cimento dos traços.

Foi constatado que com relação à resistência à compressão axial, a adição da fibra de polipropileno proporcionou ao concreto um desempenho melhor com os a/c 's 0,4 e 0,6, em comparação ao concreto normal e com adição de fibra de metálica. Já no $a/c = 0,8$ todos os concretos rodados tiveram resultados próximos.

Na resistência à compressão diametral, a adição de fibra metálica e de polipropileno para os a/c 's 0,4 e 0,6 proporcionou ao concreto um desempenho melhor, em comparação ao traço normal. Para o $a/c 0,8$ a fibra de polipropileno teve o melhor desempenho.

O aumento da relação a/c influenciou negativamente tanto na resistência a compressão axial quanto na resistência a compressão diametral para todos os traços ensaiados.

O ensaio de determinação de absorção apenas veio confirmar o que se tem estudado, que quanto maior for a relação a/c maior a taxa de absorção. Observa-se também que a adição de fibras nos traços fez com que a taxa de absorção fosse ainda maior.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Sugerem-se como temas para novas pesquisas, a fim de complementar o estudo desenvolvido, os seguintes assuntos:

- Fazer um comparativo de custos e analisar as vantagens e desvantagens na utilização de fibras no concreto;
- Fazer um comparativo entre os diversos tipos de fibras e fornecedores disponíveis no mercado atualmente;
- Trabalhos com percentuais diferenciados do teor de fibras do que o recomendado pelos fornecedores, para verificação de possíveis problemas ou viabilidade da utilização;
- Trabalhos com correção da perda de abatimento para verificação da perda de resistência e também corrigindo o a/c dos traços para verificação de custo real.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 33: concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1998b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251: agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578: cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991e.

ASTM C29/C29M, "Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate," American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1996.

EUROPEAN FEDERATION OF SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). Specification and guidelines for self – compacting concrete. In EFNARC. Fevereiro, 2003.

AÏTCIN, P. Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow. Cement and Concrete research, v. 30, n. 9, p. 1349-59, sep. 2000.

ARAUJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E G A.; Materiais de Construções – Construções Rurais – Serotopédica, Rio de Janeiro, 2000, v1 203p.

BENTUR, A.; MINDESS, S. Fibre reinforced cementitious composites. United Kingdom. Barking, Elsevier. 1990.

ENCICLOPÉDIA Mirador Internacional. São Paulo – Rio de Janeiro: Encyclopedia Britannica do Brasil, 1995.p. 2790-2793. 20 v.

FIGUEIREDO D., Antonio. Concreto com Fibras de Aço. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

HANNANT, D. L. Polymer fibre reinforced cement and concrete. In D.M. Roy 1980, pp. 171-180.

ILLSTON, J. M. Construction Materials; their nature and behaviour. : J. M. Illston/E & FN Spon, 2ed., 1994. p. 359-403, London.

JOHNSTON, C. D. Fibre-reinforced cement and concrete. In: V. M. Malhorta. Advances in concrete technology. 2ed. : V. M. Malhotra, 1994. p.603-673. Ottawa

MEHTA, P. K. MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994. 573p

MONTARDO P., Julio; RODRIGUES F., Públio. A Influência da Adição de Fibras de Polipropileno nas Propriedades dos Concretos para Pisos e Pavimentos,2002.

NAAMAN, A.E.;NAJM, H. Bond-Slip Mechanisms of Steel fibers in Concrete. ACI Materiala Journal, V88, No2, march- april, p 135 – 145.

OKAMURA, H. Self – compacting higt performance concrete. Concrete International,V.19, n.7, p.50-54, july 1997.

PETTERSEN, Ö. Preliminary mix-desing. In Brite EuRam Program: Rational improved working euvironment through using self compacting concrete. Tash 2, p.1-56, 1999.

SILVA, E.L. MENEZES, E.M. Metodologia da Pesquisa Elaboração de Dissertação. Disponível em:
<<http://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia%20da%20Pesquisa%203a%20edicao.pdf>> Acesso em: 10 out. 2009.

TANESI, J. A influência das fibras de polipropileno no controle da fissuração por retração. Dissertação apresentada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

TAYLOR, G. D. Materials in Construction. Longman Scientific & Technical, 2ed, 1994. 284p. London.

TEZUKA, Y. Concreto armado com fibras. São Paulo, ABCP, 1989. 24p.

VENDRUSCOLO, M. A. Estudo do Comportamento de Materiais Compósitos Fibrosos para Aplicação como Reforço de Base de Fundações Superficiais. Tese de D. Sc., PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 224 pp, 2003.

APÊNDICE I

APÊNDICE II



RheoSet



Microfibra de polipropileno - antiretração

DESCRIÇÃO

RHEOFIBRA é uma nova geração de microfibra de polipropileno para reforço de concreto. A Saint Gobain, um dos líderes mundiais na fabricação de materiais de construção, desenvolveu a tecnologia que possibilita aliar o diâmetro ultrafino da fibra com elevada resistência. Devido a dezenas de milhões de filamentos existentes em um quilo de RHEOFIBRA, um entrelaçamento tridimensional extremamente denso ocorre no interior do concreto. Esse entrelaçamento feito por filamentos de elevada resistência e elevado módulo eliminam a ocorrência de fissuras a nível microscópico. A habilidade da RHEOFIBRA em reduzir a fissuração nas primeiras 24 horas após o lançamento do concreto e argamassa é tão significativa, que a dosagem recomendada é muito inferior quando comparada às outras fibras de polipropileno que vem sendo utilizadas no mercado. Conseqüentemente a relação eficiência x dosagem é a melhor observada técnica e economicamente.

APLICAÇÕES

Concretagem de pavimentos e lajes (especialmente de estacionamentos e quadras esportivas)
Estuques
Piscinas
Capeamentos de lajes pré-fabricadas
Pré-fabricados de concreto
Argamassas de revestimento e de reparos
Concretos projetados

PROPRIEDADES

Distribuição uniforme na massa de concreto e argamassa devido a um revestimento especial existente nas micro-fibras
Excelente compatibilidade com todos os tipos de concreto e argamassas
Mínima incorporação de ar
Não afeta a trabalhabilidade
Virtualmente invisível no concreto e na argamassa
Excelente acabamento
100% álcali resistente
Compatível com todos os aditivos para concreto e argamassas

BENEFÍCIOS

Reduz a segregação e a exsudação
Reduz a retração plástica
Reduz a reflexão em concretos projetados
Aumenta a resistência ao impacto
Aumenta a durabilidade ao gelo e degelo
Reduz a permeabilidade dos concretos e argamassas

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Matéria prima: 100% polipropileno
Forma: Fibra monofilamento
Diâmetro: 12 microns (+/- 1 micron)
Massa específica: 0,91
Cor: branca
Umidade: < 2%
Superfície específica: 370 m²/Kg

Rev 02

RheoFibra

RheoSet



Microfibra de polipropileno - antiretração

Ponto de fusão: 160° C
 Ponto de ignição: 399° C
 Condutividade térmica: Baixa
 Condutividade elétrica: Baixa
 Resistência a ácidos: Excelente
 Resistência aos álcalis: 100%
 Módulo de elasticidade: 5,5 GPa
 Tenacidade: 765 Mpa
 Lubrificante: < 0,15%
 Película de revestimento: < 0,5% para uma excelente dispersão e aderência ao concreto e argamassa
 Comprimento: 18 mm
 Quantidade de fibras: 550 milhões de fibras / kg de produto

MODO DE USAR

Adicione a embalagem hidrossolúvel que contém a fibra a qualquer momento antes do lançamento final do concreto e da argamassa (central de concreto ou no local da obra). Observe um intervalo de tempo entre o lançamento das embalagens para evitar a formação de aglomerados de fibra.

Após a adição de RHEOFIBRA na betoneira, misture normalmente por, no mínimo, de 3 a 5 minutos, ou pelo tempo necessário para garantir a homogeneização da mistura.

Siga rigorosamente os detalhes de projeto quanto ao espaçamento de juntas de dilatação e armação das lajes e pavimentos

EMBALAGEM

RHEOFIBRA vem acondicionada em embalagens hidrossolúveis contendo 300g de fibra por unidade.

ARMAZENAGEM

RHEOFIBRA deve ser armazenado em local abrigado, ventilado e seco, nas embalagens originais e intactas.

O produto deve ser mantido fora do alcance de fontes de ignição ou calor.

Sua validade é ilimitada enquanto o produto for mantido dentro das condições indicadas de estocagem.

INSTRUÇÕES DE SEGURANÇA

RHEOFIBRA é um produto toxicologicamente inerte e de manuseio seguro.

Mantenha longe de fontes de ignição ou calor.

Comparação de desempenho com outros tipos de fibra

Tipos de fibras	RHEOFIBRA (18mm)	Fibra de celulose	Fibra de Polipropileno	Fibra de nylon
Quantidade de fibras	550 milhões/Kg	80 milhões/Kg	50 milhões/Kg	34 milhões/Kg
Dosagem mínima	300 g/m ³	600 g/m ³	600 g/m ³	450 g/m ³
Redução de fissuras	+/- 80%	+/- 80%	+/- 80%	+/- 80%

Pelo observado na tabela acima, um desempenho similar com outras fibras pode ser obtido com uma quantidade de RHEOFIBRA significativamente menor.

Rev 02

Wirand®

- Histórico
- O que é Wirand®?
- Principais Campos de Aplicação
- Perguntas mais Frequentes

Histórico

Desde 1879 tanto em seus projetos como em suas realizações, a Maccaferri tem sempre valorizado a busca por soluções inovadoras. Até mesmo em obras mais tradicionais, a empresa tem oferecido alternativas originais para colocar em prática técnicas específicas e inovadoras. É o caso, por exemplo, das fibras de arame trefilado utilizadas para reforçar o concreto em obras, como os pisos e pavimentos industriais, aeroportos, estradas, elementos pré-fabricados ou túneis. São, apenas alguns dos exemplos, entre muitos outros possíveis, oferecidos pelas pesquisas da Maccaferri e desenvolvidos para atender as atuais exigências e necessidades do mercado da engenharia estrutural.

O que é Wirand®?

Consiste em fibras de aço de baixo teor de carbono, trefilado a frio, produzida de acordo com as mais exigentes normas técnicas.

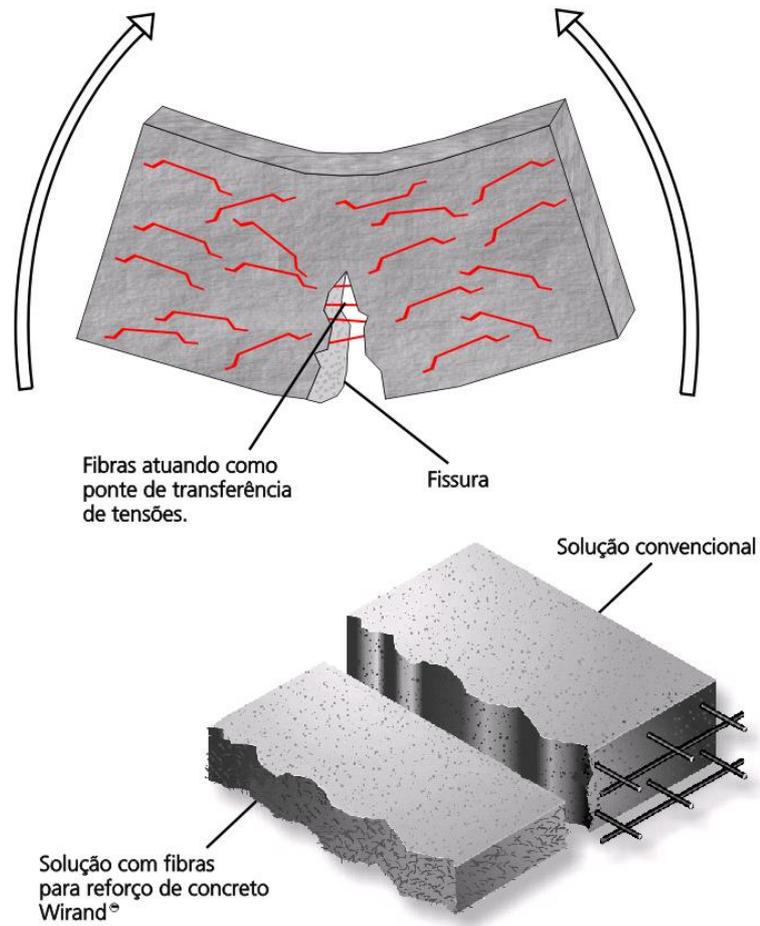
As fibras Wirand® quando adicionadas ao concreto, atuam como uma armadura tridimensional que redistribui as tensões aplicadas sobre o elemento estrutural aumentando a resistência.

As fibras de aço Wirand para reforço de concreto, são produzidas a partir de fios de aço de baixo teor de carbono, que quando adicionadas ao concreto, atuam como uma armadura tridimensional, restringindo a propagação de fissuras e aumentando a resistência pós-fissuração do elemento estrutural.

O uso das fibras de aço Wirand no concreto proporciona um melhor comportamento dos elementos estruturais, devido a redução da formação de fissuras, resultando em melhor qualidade e maior durabilidade da obra.

Outras vantagens em relação ao seu uso é que substitui, em algumas situações, a armadura convencional, e elimina ou diminui custos com mão-de-obra para armação e praticamente não gera desperdício de material, não exige grandes investimentos para transporte e estocagem e seu manuseio e aplicação são simples.

COMO AS FIBRAS DE AÇO WIRAND® REFORÇAM O CONCRETO



[Topo ▲](#)

Principais Campos de Aplicação
- Pisos, Rádiers e Pavimentos;



- Túneis e Galerias;



- Elementos pré-fabricados;



- Recuperação Estrutural;



[Topo ▲](#)

Perguntas mais Frequentes

1 - As fibras de aço podem substituir as armaduras tradicionais em elementos pré-fabricados?

A Maccaferri vem conduzindo uma série de pesquisas em parceria com Universidades e Centros de Pesquisa, para avaliar essa possibilidade. Portanto, enquanto não tivermos os resultados definitivos, recomendamos que as fibras sejam especificadas para atuar em conjunto com a armadura tradicional.

A solução ideal é uma armadura mista: armadura tradicional + fibras.

Os estudos sobre as aduelas pré-fabricadas do Metrô de Barcelona, demonstraram a possibilidade de

reduzir a quantidade em peso da armadura de aproximadamente 50%.

2 - Qual é o máximo comprimento da fibra para aplicações de concreto projetado? O comprimento máximo da fibra não deve ser superior a 60% do diâmetro do mangote (saída da mangueira para a projeção do concreto)

3 - Quais são as recomendações para uma correta mistura de um concreto reforçado com fibras?

As recomendações são:

- Teor de argamassa > 50%;
- Fator água/cimento < 0,55;
- Abatimento de tronco de cone de 100 + - 20 mm;
- Ajustar o 'slump' do concreto para no mínimo 12 cm;
- Adicionar as fibras na velocidade de 20 a 22 kg por minuto (1 saco);
- No caminhão betoneira, após adicionar a fibra, deve continuar misturando em alta velocidade durante 5 minutos;
- Nunca adicionar a fibra como primeiro componente;

Algumas outras características também devem ser respeitadas como:

- Dimensão Máxima dos agregados - 0,50 do comprimento (L) da fibra;
- Espessura mínima do elemento estrutural: $S_{mín} - 1,5$ do comprimento (L) da fibra;
- Dimensão máxima dos agregados - $1/3$ de $S_{mín}$;
- Dosagem mínima recomendada - 25 kg/m^3 .

4 - Para se construir um piso é necessário a utilização de algum tipo de equipamento especial?

Não, o processo é até mais simples que os convencionais pois, dispensam o tempo de mão de obra

para corte, dobras e posicionamento das armaduras e os demais processos são iguais aos realizados para os outros tipos de sistemas estruturais.

5 - Quais são os benefícios técnicos de um concreto com fibras

As vantagens de um concreto fibro-reforçado são:

- Aquisição de um comportamento dúctil;
- Prevenção de fissuras por retração;
- Maior resistência ao impacto;
- Maior resistência as solicitações térmicas;
- Melhor comportamento a Fadiga;
- Menor Permeabilidade.