

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia de Construção Civil

ISSN 0103-9830

BT/PCC/239

**FISSURAÇÃO POR RETRAÇÃO EM
CONCRETOS REFORÇADOS COM
FIBRAS DE POLIPROPILENO (CRFP)**

**Jussara Tanesi
Antonio Domingues Figueiredo**

São Paulo - 1999

**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Construção Civil
Boletim Técnico - Série BT/PCC**

Diretor: Prof. Dr. Antônio Marcos de Aguirra Massola
Vice-Diretor: Prof. Dr. Vahan Agopyan

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Alex Kenya Abiko
Suplente do Chefe do Departamento: Prof. Dr. João da Rocha Lima Junior

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alex Abiko
Prof. Dr. Francisco Cardoso
Prof. Dr. João da Rocha Lima Jr.
Prof. Dr. Orestes Marraccini Gonçalves
Prof. Dr. Antônio Domingues de Figueiredo
Prof. Dr. Cheng Liang Yee

Coordenador Técnico
Prof. Dr. Alex Abiko

O Boletim Técnico é uma publicação da Escola Politécnica da USP/Departamento de Engenharia de Construção Civil, fruto de pesquisas realizadas por docentes e pesquisadores desta Universidade.

Este texto faz parte da dissertação de mestrado, de mesmo título, que se encontra à disposição com os autores ou na biblioteca da Engenharia Civil.

FICHA CATALOGRÁFICA

Tanesi, Jussara

Fissuração por retração em concretos reforçados com fibras de polipropileno (CRFP) / J. Tanesi, A.D. Figueiredo. -- São Paulo : EPUSP, 1999.

21 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/239)

1. Fissuração por retração 2. Concreto reforçado com fibras de polipropileno I. Figueiredo, Antonio Dominges II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil III. Título IV. Série

ISSN 0103-9830

CDU 620.172.24
666.972.5

FISSURAÇÃO POR RETRAÇÃO EM CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE POLIPROPILENO

SUMÁRIO

Sumário

Resumo

Abstract

FISSURAÇÃO POR RETRAÇÃO EM CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE
POLIPROPILENO (CRFP)

1. INTRODUÇÃO	1
2. TIPOS DE REFORÇOS	4
3. RETRAÇÃO E FISSURAÇÃO DE CRFP	7
3.1 MECANISMOS DE DIMINUIÇÃO DA FISSURAÇÃO	15
3.1.1 Exsudação	15
3.1.2 Ponte de transferência de tensões	16
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

FISSURAÇÃO POR RETRAÇÃO EM CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE POLIPROPILENO (CRFP)

RESUMO

O interesse pela incorporação de fibras como reforço de matrizes de argamassa e concreto tem crescido consideravelmente nos últimos anos. O emprego de compósitos reforçados com baixos teores de fibras de polipropileno é amplamente difundido nos Estados Unidos e Europa, especialmente para controle de fissuração por retração em pavimentos industriais, onde substituem com vantagens as telas metálicas sem finalidade estrutural.

A adição de fibras de polipropileno, em baixos teores, apesar de não contribuir para o aumento de resistência mecânica propriamente, melhora o comportamento do concreto em relação a solicitações dinâmicas e, principalmente, é imputado a elas a capacidade de redução da área de fissuras associadas à retração.

Os mecanismos de diminuição da fissuração por retração devem ser analisados para a melhor compreensão do comportamento do compósito e para a avaliação do grau de contribuição das fibras na diminuição da fissuração por retração, uma vez que os resultados divergem de um pesquisador para outro, de acordo com a metodologia empregada. Apesar de falta de consenso, as fibras de polipropileno têm sido empregadas em teores fixos de 0,1% em volume, independentemente do desempenho esperado.

SHRINKAGE CRACKING IN POLYPROPYLENE FIBRE REINFORCED CONCRETE

ABSTRACT

There has been an increasing interest in the use of fibres as reinforcement for mortar and concrete matrixes. The employment of fibre reinforced composites with low polypropylene fibre content is widely spread in the USA and in Europe. In this case, the fibres are used mainly for the control of cracking due to shrinkage in slabs as substitute for wire mesh applied as non structural reinforcement.

Although the addition of polypropylene fibres in low content does not contribute to the strength increase, it does improve the concrete's behaviour under dynamic loading and particularly reduces the cracking area related to shrinkage.

In order to obtain a deeper comprehension of the composite behaviour and to evaluate the fibres contribution towards the reduction of shrinkage cracking, one should consider the mechanisms which induce this reduction, once such results may vary from one to another researcher as a consequence of the test procedure used. Despite the fact that a consensus in this issue has not been attained, the volume amount of fibres adopted is 0,1 %, whichever performance is expected.

FISSURAÇÃO POR RETRAÇÃO EM CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE POLIPROPILENO (CRFP)

1. INTRODUÇÃO

O uso de fibras como reforço de materiais de construção tem seu primeiro registro a aproximadamente 3200 anos¹ (ÊXODO 5:7). As primeiras fibras empregadas na construção civil, sem caráter artesanal, foram as de amianto², no princípio do século. Nesta área, os compósitos³ reforçados com fibras são constituídos por uma matriz frágil, que pode ser pasta, argamassa ou concreto de cimento Portland ou outro aglomerante (cal ou gesso).

O início do estudo científico sobre o comportamento destes compósitos deu-se apenas na década de 50 com a entrada das fibras de aço e vidro (BENTUR; MINDESS, 1990). No caso das fibras poliméricas, a primeira tentativa de emprego é de GOLDFEIN, em 1965. As fibras poliméricas de maior emprego atualmente são as fibras de polipropileno, no entanto, outros tipos de fibras, podem ser citados, tais como: *nylon*, poliéster, polietileno, celulose e *kevlar*.

Em 1966, a *Shell* desenvolveu e patenteou o processo de produção de fibras de polipropileno em forma de filmes fibrilados picotados, bem como concretos contendo estas fibras. O material obtido foi denominado de "*Caricrete*" e a adição máxima possível de fibras com esta tecnologia foi de 1%, em volume (ZONSVELD, 1983).

Sabe-se que a qualidade⁴ dos componentes de matrizes cimentíceas não é mais caracterizada apenas pela resistência que apresentam (MEHTA, 1994), mas devem refletir outras propriedades que influenciam o desempenho global do material (ISO 7164), tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, tais como a trabalhabilidade e a durabilidade. As matrizes de cimento sem reforço apresentam características de fragilidade, baixas deformações quando submetidas à tração e praticamente não apresentam deformações plásticas.

¹ Os hebreus no Egito utilizavam palha para fazer tijolos.

² O cimento-amianto foi principalmente utilizado para a produção de componentes de pequena espessura, tais como painéis, telhas e placas. O cimento-amianto é produzido através do processo *Hatshek* desenvolvido em 1900, a partir dos princípios de produção do papel.

³ Denominam-se *compósitos* os materiais polifásicos - tais como o concreto, composto por uma fase agregado e outra fase pasta (matriz) - cujo comportamento consiste na combinação das propriedades dos materiais constituintes (MEHTA; MONTEIRO, 1994; CALLISTER Jr., 1994).

⁴ A qualidade pode ser definida como "...a totalidade das propriedades e características de um produto ou serviço que lhe conferem capacidade de satisfazer necessidades explícitas ou implícitas" (ISO 8401).

O reforço de fibras de polipropileno tem entre as suas funções a de controlar a fissuração causada por mudanças de volume em matrizes de concreto, problema muito habitual em países de clima quente (ABDULL-WAHAB *et al*, 1992; AL-TAYYIB *et al*, 1988). Este controle pode ser traduzido tanto pela diminuição da retração como também pelo controle dos seus efeitos (SWAMY, 1975).

No concreto, principalmente no estado fresco, existe um deslocamento de água para fora da peça provocando uma retração. Esta mudança de volume normalmente é devida à evaporação da água da superfície ou à sucção da água por uma superfície de contato com o concreto. Além disto, existem as mudanças de volume da pasta durante o processo de hidratação do cimento decorrentes da redução do volume do sistema cimento-água (NEVILLE, 1997).

A principal causa do aparecimento de fissuras por retração plástica, ou nas primeiras horas, é a rápida saída de água da superfície do concreto, excedendo a taxa de exsudação (WITTMANN, 1976) e conseqüentemente provocando a secagem da superfície da peça. No caso de pavimentos, as operações de acabamento da superfície (SOROUSHMAN *et al.*, 1993; NANNI *et al.*, 1993) e a grande área exposta à evaporação facilitam o surgimento destas fissuras, as quais podem atingir toda espessura do pavimento. A sedimentação pode ser outra causa importante da formação de fissuras, pois leva à abertura de canais de água e por conseqüência o surgimento de tensões de tração na superfície do concreto (SOROUSHIAN *et al.*, 1993).

Quando as mudanças de volume são restringidas pela presença de agregado, armadura e contato com outra superfície, a retração gera tensões internas na massa de concreto que ao superarem a sua resistência induzem à fissuração. O surgimento destas fissuras é mais pronunciado nas primeiras horas, pois a resistência do concreto ainda é muito baixa. As pequenas fissuras plásticas com a aplicação de cargas e efeitos ambientais se tomam pontos de início de uma fissuração mais pronunciada e facilitam a propagação das mesmas. As fibras de polipropileno dispersas aleatoriamente na massa de concreto estabilizam a abertura das fissuras nas primeiras horas (BENTUR; MINDESS, 1990; SOROUSHIAN *et al*, 1993). As fissuras não só comprometem a peça esteticamente, mas também afetam a sua resistência à flexão e durabilidade, ou seja, o seu desempenho.

O controle da abertura das fissuras é de fundamental importância, principalmente em

elementos de concreto armado, uma vez que existe uma relação entre este parâmetro e a durabilidade do subsistema. Desta forma, o estado limite último de utilização recomenda que a abertura de fissuras seja inferior a 0,1-0,3 mm (NBR 6118/80). Além disto, foi observado (STANG, 1992) que quanto maior a abertura da fissura, maior a concentração de tensões nas suas extremidades. A concentração de tensões promove a continuidade do processo de aumento da abertura de fissuras.

Apesar de existirem normas americanas e japonesas, além de recomendações da RILEM, os compósitos reforçados com fibras ainda não possuem métodos de ensaio mundialmente aceitos para o seu controle (MORGAN *et al*, 1995). Não existe consenso para a avaliação da sua capacidade portante pós-fissuração ou tenacidade, tão pouco para a avaliar a fissuração por retração restringida. Outra grande limitação consiste no fato de não haver uma metodologia de dosagem das fibras. As de fibras de polipropileno, quando utilizadas para a diminuição da fissuração por retração, adota-se o consumo empírico de 0,9 kg/m³ (0,1% em volume) (VULKAN, s.d). Este teor não é alterado em função da compatibilização da abertura máxima de fissuras que pode ser obtida em relação à abertura máxima permitida em determinado tipo de construção.

No caso específico das fibras de polipropileno, nos últimos anos foram propostas inúmeras metodologias para a avaliação do seu potencial de controle de fissuração causada por retração (COUTINHO, 1954; KRAAI, 1985; SHAELES; HOVER, 1988; GRZYBOWSHI; SHAH, 1990). No entanto, esses procedimentos partem de princípios distintos, evidenciando a ausência de consenso entre os pesquisadores que dedicam-se a este tema.

Nos Estados Unidos e Europa é comum o emprego de compósitos reforçados com fibras de polipropileno (SCHUPACK; STANLEY, 1992; SOROUSHIAN; MIRZA; ALHHOZAIMY, 1995 (a); TROTTIER *et al*, 1997), principalmente em pavimentos industriais, onde estas fibras, adicionadas em baixos teores (0,1% em volume), substituem as telas metálicas, destinadas apenas ao controle da fissuração por retração. A substituição de telas metálicas é justificada pelo ganho de produtividade, uma vez que é eliminado o tempo para a disposição e fixação de telas, além do seu custo ser compensado pelo custo global das telas.

Um exemplo desta economia foi a utilização de fibras de polipropileno fibrilado em substituição a telas metálicas em placas pré-moldadas para revestimento dos pavimentos

no World Vision, em Victoria, Austrália (1992). Foi empregado um teor de fibras de 0,1%, em volume, em aproximadamente 480 m³ de concreto. O emprego das fibras propiciou uma economia de US\$ 4,00 por m², totalizando US\$ 32000,00 (FIBERMESH, s.d.)

Cabe salientar que não só as fibras de polipropileno têm sido empregadas como reforço de matrizes cimentícias, outras fibras poliméricas, tais como fibras de nylon, polietileno, poliamida e poliéster são indicadas para este fim. Todas estas fibras são eficientes na melhoria da resistência ao impacto. Dentre elas, o nylon é a fibra que apresenta um melhor desempenho, neste aspecto, porém a sua mistura é mais difícil do que as demais fibras (BENTUR, MINDESS, 1990). No entanto, estas fibras não apresentam a tendência a segregação para a superfície da peça, como ocorre com as fibras de polipropileno, cuja massa específica (0,91 g/cm³) é muito inferior a dos demais componentes do concreto (média de 2,5 g/cm³).

Deve-se ainda destacar que as fibras sintéticas⁵ podem ter grande superfície específica quando nas formas fibrilada e monofilamentos, o que por um lado pode ser prejudicial a trabalhabilidade (BENTUR MINDESS, 1990) e, por outro, mesmo com baixos teores, já se notam os seus efeitos positivos sobre propriedades como fissuração por retração, resistência a fadiga e ao impacto, apesar do baixo módulo de elasticidade destas fibras.

2. TIPOS DE REFORÇOS

As fibras de polipropileno podem ser utilizadas tanto como reforço primário ou secundário. No primeiro caso, o volume deve ser tal que possibilite um aumento da capacidade portante do compósito após o aparecimento da fissuração, ou seja, as fibras necessariamente devem exceder o volume crítico, o qual depende de diversos fatores que serão discutidos mais adiante. Esta é uma boa opção para substituição das peças de cimento-amianto. Nestes compósitos as fibras desempenham um papel importante no controle da fissuração. Com a utilização destas fibras, há uma distribuição das fissuras, com espaçamento bem menor e abertura de fissura bem pequenas se comparados com a matriz sem reforço (BENTUR; MINDESS, 1990). Deve-se ressaltar que as fibras de polipropileno não competem com a armadura principal em barras de aço, as quais têm finalidades estruturais.

No caso de reforço secundário, o teor de fibras utilizado é bem inferior ao volume

⁵ As fibras sintéticas, na realidade, é a denominação encontrada na literatura para as fibras plásticas.

crítico, normalmente entre 0,1 e 0,3 % em volume e seu emprego visa principalmente o controle da fissuração nas primeiras horas após o lançamento do concreto ou argamassa. Nos últimos anos, tem crescido o emprego de fibras de polipropileno com o intuito de melhorar a durabilidade dos compósitos, em decorrência da diminuição da fissuração por retração plástica.

As fibras de polipropileno são mais freqüentemente utilizadas como reforço secundário. Desta maneira, não podem ser empregadas para o controle de fissuração por cargas externas, como substitutas de armadura estrutural, para a diminuição da fluência e do encurvamento de placas para pavimentos, para o aumento da distância entre juntas e diminuição de espessura de pavimentos ou sub-bases.

A eficiência do reforço das fibras, bem como as propriedades do compósito, são dependentes do teor de fibras, mais comumente chamado volume de fibras⁶, do seu módulo de elasticidade, comprimento e da aderência matriz-fibra.

O volume crítico de fibras pode ser entendido como aquele para o qual a capacidade portante residual do compósito fissurado é a mesma da matriz. Este índice é diretamente proporcional à resistência da matriz, a qual determina a tensão de aparecimento da primeira fissura, sendo inversamente proporcional a tensão de ruptura da fibra e seu módulo (AVESTON; COOPPER; KELLY, 1971). HANNANT (1978) apresenta uma simplificação do modelo ACK para o cálculo do volume crítico (Equação 2.1) de fibras contínuas e alinhadas, portanto para um fator de eficiência de 1. Na prática, dever-se-ia considerar a queda de eficiência das fibras devido ao seu comprimento e a orientação em bi-dimensional e tri-dimensional.

$$V_{f(\text{crit})} = \frac{E_m \cdot \sigma_{fu}}{E_c \cdot \sigma_{mu}} \quad \text{Equação 2.1}$$

Sendo:

E_c = módulo de elasticidade do compósito = $V_f \cdot E_f + V_m \cdot E_m$ (BENTUR; MINDESS, 1990);

V_f = volume de fibras

E_f = módulo de elasticidade da fibra;

V_m = volume da matriz;

E_m = módulo de elasticidade da matriz;

⁶ O volume de fibras consiste no teor de fibras em volume adicionado ao compósito e é normalmente expresso em porcentagem.

σ_{um} = tensão de aparecimento da primeira fissura;

σ_{fu} = tensão de ruptura da fibra.

Pode-se observar que o volume crítico de fibras de baixo módulo é maior que o das fibras de alto módulo de elasticidade. Também se pode notar que a eficiência destas fibras será maior nas primeiras idades do compósito, diminuindo com o processo de hidratação do cimento e ganho de resistência e módulo de elasticidade da parte da matriz. O módulo de elasticidade da fibra é importante no sentido de proporcionar maior rigidez e capacidade de impedir que a fissuração continue. A fibra de baixo módulo irá permitir um maior nível de abertura de fissuras que uma fibra de alto módulo, para um mesmo nível de deformação ($\sigma = \epsilon \times E$) do conjunto fibra-matriz. Isto ocorre porque quanto maior o nível de deflexão, maior será o nível de abertura de fissuras, mantendo-se uma relação constante que depende das características do conjunto fibra-matriz (ARMELIN; BANTMA, 1997).

Alem disto, à medida que se eleva o teor de fibras, aproximando-se do volume crítico, a tenacidade do compósito cresce (Figura 2. 1), perdendo as características de fragilidade típicas de matrizes cimentíceas. Isto porque o gasto de energia (trabalho realizado) para a deformação plástica da fibra e arrancamento da fibra da matriz será maior, em decorrência de um maior número de fibras e da diminuição da abertura de fissura.

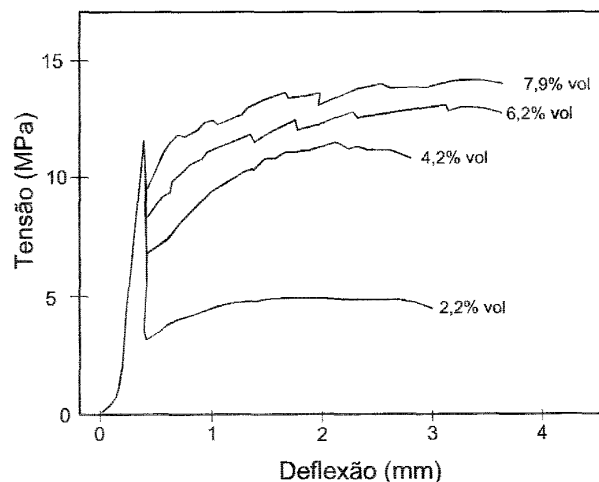


Figura 2. 1 Efeito do teor de fibras de polipropileno (monofilamento com 49 μm de diâmetro e 26 mm de comprimento) na curva carga x deflexão do compósito (BENTUR;MINDESS, 1990).

Da mesma forma, o teor de fibras influencia na eficiência do controle da fissuração por retração. Isto se deve ao fato de que quanto maior o teor de fibras, maior é o número de fibras para interceptar as microfissuras, impedindo a propagação das mesmas. A carga inicialmente suportada pela matriz é transferida para as fibras, as quais devido o seu grande volume podem suportar o carregamento sem ruptura (KRENCHER, 1975). As fibras trabalham como pontes de transferência de tensão ao longo da fissura, auxiliando o concreto durante a transição do estado fresco para o endurecido. É neste estágio que há uma maior tendência do concreto fissurar (VONDRAN, 1987). Desta forma, tem-se um número maior de fissuras, porém com área total menor. Além disto, quando são aplicadas ao concreto tensões originadas da retração da matriz, as fibras retardam o aparecimento da primeira fissura (SWAMY; STAVRIDES, 1979; KOVLER, 1995).

3. RETRAÇÃO E FISSURAÇÃO DE CRFP

O estudo da retração de compósitos reforçados com fibras pode ser dividido em duas partes: a avaliação da retração livre e a avaliação dos efeitos retração restringida

Quanto ao comportamento a retração dos compósitos reforçados com fibras de polipropileno em relação dos concretos convencionais, há controvérsias conforme pode ser observado na Tabela 3.1. Enquanto que em alguns estudos as fibras parecem não desempenhar nenhuma contribuição na diminuição da retração (SWAMY; STRAVIRDES, 1979; GRZYBOWSKI; SHAH, 1990; KOVLER *et al.*, 1992; SARIGAPHUTI *et al.*, 1993), em outros estudos (ZOLLO, 1984; PADRON; ZOLLO, 1990) as fibras parecem ter contribuído significativamente para a redução da retração. Tais diferenças podem ser atribuídas à dosagem da matriz, características geométricas e teor das fibras, à granulometria do agregado graúdo utilizado, geometria dos corpos-de-prova e metodologia de ensaio (TANESI *et al.*, 1997).

Pode-se verificar que a adoção do ASTM C157/89 normalmente leva a pequenas diminuições na retração com a adição de fibras, conforme verificado por SWAMY; STRAVRIDES (1979), GRZYBOWSKI; SHAH (1990) e SARIGAPHUTI *et al.* (1993). O método de ensaio empregado por PADRON- ZOLLO (1990) promove um comportamento quanto a retração diferente do encontrado nos ensaios mais usuais como o ASTM C157, no qual pode-se considerar que a redução de volume ocorre preferencialmente em uma única direção. No ensaio empregado por PADRON; ZOLLO

(1990) a retração não está totalmente livre pela presença de um anel interno e sendo a placa de seção quadrada, a retração tende a se dar igualmente em duas direções.

No entanto, o estudo da retração livre não oferece dados suficientes sobre o comportamento dos compósitos, quando submetidos a secagem, pois normalmente as peças de concreto são restringidas (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

KOVLER *et al.* (1992) afirmam que as fibras trazem uma melhoria na tendência a fissuração dos compósitos tanto pelo efeito da fibra no reforço da matriz, como também pelos seu efeito na retração livre. Entretanto, a importância das fibras de polipropileno não é na diminuição da retração, mas sim na diminuição dos seus efeitos, ou seja, na fissuração. A atuação das fibras pode ser entendida pelo aumento do número de fissuras com largura e área total menores. Isto é decorrente da sua habilidade em melhorar a capacidade de deformação dos compósitos (BALAGURU; SHAH, 1992).

Os estudos realizados sobre a fissuração por retração normalmente estabelecem uma comparação, através de ensaios, entre os concretos sem reforço e concretos com adição de fibras. Porém, deve-se verificar a representatividade do comportamento dos CRFP em condições de ensaio e sua aplicação na prática. A simples utilização de fibras não impede o aparecimento de fissuras, boas técnicas de aplicação, cura e acabamento devem ser realizadas.

Exemplo disto é o trabalho apresentado por SCHUPACK; STANLEY (1992) que consiste em um estudo sobre CRFP empregados em placas sobre solo para revestimentos de pavimentos. A Figura 3.1_a mostra a fissuração ocorrida em um pavimento, geralmente na região das juntas da manta de impermeabilização. A Figura 3.1_b mostra o lascamento de bordas devido ao tráfego. Os problemas com este pavimento, muito provavelmente, foram decorrentes da pequena espessura do concreto, da alta temperatura do ambiente no dia do lançamento e uma cura incipiente. Neste mesmo trabalho, os autores também apresentam dois outros casos em que o CRFP tem um comportamento satisfatório quanto à fissuração.

Já a influência dos procedimentos de acabamento de pavimentos executados tanto com concretos convencionais como com CRFP foi investigada por SOROUSHIAN *et al.* (1995_a e 1995_b). Observou-se que apenas a taxa de sarrafeamento⁷ influenciou a área total de fissuras e as operações de acabamento não apresentaram resultados estatísticos

⁷ Taxa de sarrafeamento refere-se à velocidade do procedimento.

significativos. Nos painéis reforçados com fibras de polipropileno uma taxa baixa de sarrafeamento (0,91 m/min) reduziu em até 90% a área total de fissuras, tanto nos painéis submetidos a acabamento quanto nos não acabados. A abertura máxima de fissuras não foi influenciada pelas taxa de sarrafeamento e acabamento, nos concretos reforçados com fibras de polipropileno, pois estes concretos são caracterizados por fissuras extremamente finas, não podendo ser medida a diminuição na sua abertura. Resultados semelhantes foram obtidos por SHAELES; HOVER (1988). Estes autores também observaram que a direção de formação de fissuras é influenciada pela direção da sarrafeamento e que quanto maior a taxa de sarrafeamento, maior a severidade da fissuração, independentemente do concreto ser reforçado com fibras ou não.

Quanto a fissuração por retração plástica, vários estudos têm sido desenvolvidos nos últimos anos para a avaliação da influência das fibras de polipropileno, porém os resultados se apresentam pouco consistentes. Por exemplo, KRAAI (1985) estudou a influência de sete tipos de fibras de polipropileno, adicionadas no teor de 0,3%, em volume. Os resultados do potencial de fissuração obtidos demonstraram uma grande variabilidade dependente do tipo de fibra. Houve desde uma diminuição na fissuração de 98,6%, em relação a painéis sem fibras, até um aumento de 2,1%. Isto também pode ser observado se compararmos diversos estudos (Tabela 3.2). A influência do comprimento das fibras pode ser verificada através dos estudos desenvolvidos por BERKE; DALLAIRE (1994) e SOROUSHIAN et al. (1995_a), reunidos na Tabela 3.3.

Tabela 3. 1– Estudos sobre o comportamento a retração dos compósitos reforçados com fibras de polipropileno.

	SWAMY;STAVRIDES (1979)	ZOLLO (1984)	GRZYBOWSKI; SHAH (1990)	PADRON;ZOLLO (1990)		KOVLER et al. (1992)	SARIGAPHUTI et al. (1993)
Tipo de ensaio	Prismas de 102 x 102 x 508 mm	Prismas de 38.1 x 76.2 x 457.7 mm UR: 40%; T: 38°C	ASTM C157	Placa quadrada de 90 mm de aresta e 12 mm de espessura. No centro da placa foi colocado um anel metálico de 114,3 mm de diâmetro	Placa quadrada de 90 mm de aresta e 25 mm de espessura. No centro da placa foi colocado um anel metálico de 139,7 mm de diâmetro	Prismas de 40 x 40 x 500 mm UR: 65%; T: 20°C	ASTM C157 UR: 40% ⁰ C
Tipo de fibra	Não especificado	Fibrilado	Fibrilado	Fibrilado	Fibrilado	Fibrilado	Fibrilado
Comprimento	50.8 mm	10 mm	19 mm	19 mm	19 mm	25.4 mm	11 mm
Teor de Fibras (em volume)	2 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.3 %	Não especificado
Dosagem matriz	Argamassa 1:1.8	Concreto 1: 2.68: 2.69	Concreto 1: 2: 2	Argamassa 1: 2	Concreto 1: 2: 3	Não especificada	Concreto 1: 2: 2
Substituição de cimento por sílica ativa	30%	-	-	-	-	Não especificada	-
DMC agregado graúdo	-	9	9	-	905 mm	6 mm	9 mm
Relação a/aglom	0.42	0.65	0.50	0.65	0.65	0.57	0.50
Aditivo redutor de água	280 mg por 50 kg de cimento	-	-	-	-	Não especificado	-
Idade de ensaio	Aproximadamente 40 dias	2.5 horas	Aproximadamente 40 dias	16 horas		24 horas	42 dias
Redução de retração	10%	75%	10%	32%	48%	Aprox. 10 %	Aproximadamente zero

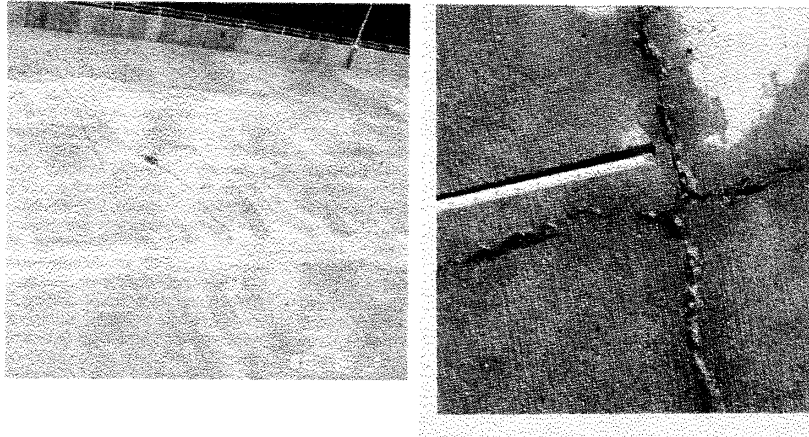


Figura 3.1 – (a) Fissuração nas juntas de impermeabilização e (b) Lascamento de bordas (SCHUPACK;STANLEY, 1992).

BALAGURU (1994) realizou um estudo experimental mais completo, no qual avalia argamassas com vários tipos de fibras, diversos teores e métodos de ensaio, e diversas dosagens de matriz. Ele observou que a adição de fibras influenciou o comprimento e a abertura das fissuras. A área de abertura de fissuras foi diminuída em 5% e 53% para 0,1% e 0,2% de fibras, respectivamente. Este resultado não parece ser coerente com os resultados obtidos anteriormente por outros autores, pois há uma grande diferença no grau de diminuição da fissuração para teores muito próximos (0,1% e 0,2%, em volume), sendo que ambos se encontram muito abaixo do volume crítico. Cabe salientar que o autor empregou aceleradores, modificando o comportamento quanto à fissuração por retração plástica, pois esta é dependente não somente das tensões de tração desenvolvidas, como do ganho de resistência da matriz com o tempo.

Os resultados aqui apresentados mostram uma grande variação na influência das fibras de polipropileno que pode ser creditada a vários aspectos. Em primeiro lugar, pode-se dizer que os autores utilizaram diferentes tipos de fibras de polipropileno, com diferentes dimensões, tratamento de superfície e possivelmente módulos de elasticidade. Além disto, as matrizes reforçadas pelas fibras possuíam dosagens, dimensões máximas do agregado, materiais, condições e tempo de exposição diferentes. Outro fator que justifica tais divergências são os métodos de ensaio e a forma de aquisição de dados (TANESI, 1999).

Apesar das fibras de polipropileno serem indicadas para o combate da fissuração nas primeiras idades, alguns pesquisadores efetuaram trabalhos de investigação do comportamento dos compósitos reforçados com estas fibras quanto a fissuração por retração a longas idades. SWAMY; STAVRIDES (1979) estudaram a atuação de 2% de fibras. Com a adição das fibras, a idade de aparecimento da primeira fissura passou de 8 dias para 14 dias, o número de fissuras de 1 para 3, a abertura máxima de fissura de 1,35 mm para 0,15 mm e a idade de colapso de 10 dias para mais de 21 dias. DANTAS (1987) também avaliou a influência de altos teores, incorporando de 1,1 a 5,2 % de fibras na forma cortada, fibrilada e tecido, em matrizes de argamassa. Seus resultados são compatíveis com os encontrados por SWAMY; STAVRIDES (1979). Este comportamento pode ser explicado pelo aumento da capacidade de deformação dos compósitos com a adição de fibras.

DANTAS (1987) observou a influência da forma das fibras no desempenho de argamassas quanto a fissuração por retração. Foi verificado que as fibras na forma cortada, contribuíram mais eficientemente do que nas formas fibrilada e tecida para a multiplicidade das fissuras. Acredita-se que a razão deste comportamento pode ser atribuída à orientação das fibras, a qual no caso das fibras cortadas é aleatória, proporcionando a formação de um maior número de fissuras, com abertura total menor, confirmando a influência da distribuição das fibras (uni, bi ou tri-dimensional) na eficiência do compósito.

Tabela 3.2 – Resultados de estudos desenvolvidos para a avaliação da influência das fibras de polipropileno sobre a fissuração por retração plástica.

	GRZYBOWSKI; SHAH (1990)	PADRON;ZOLLO (1990)		KHAJURIA;BALAGURU (1992)	NANNI <i>et al.</i> (1993)	BERKE;DALLAIRE (1994)	SOROUSHIAN <i>et al.</i> (1995)
Teor de Fibras (em volume)	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %
Matriz	Concreto	Argamassa	Concreto	Concreto	Concreto	Concreto	Concreto
Tipo de ensaio	Anel	Placas	Placas	Placas	Placas	Placas	Placa
Idade de ensaio	7 dias	16 horas		24 horas	3 horas	24 horas	5horas
Redução de fissuração por retração nas primeiras idades	14%	87%	40%	77%	70%	72%	90%

Tabela 3.3 – Influência do comprimento das fibras de polipropileno sobre a fissuração por retração plástica.

	BERKE;DALLAIRE (1994)		SOROUSHIAN <i>et al.</i> (1995 a)		
Teor de Fibras	0,1%		0,05 %	0,1%	0,2%
Comprimento das Fibras	5 cm	1,3 cm	1,9 cm	1,9 cm	1,9 cm
Idade do ensaio	24 horas		5 horas		
Redução na fissuração por retração	80%	39%	27%*	56%*	55%*

* Redução na área de fissuras em relação a concretos reforçados com fibras de 1,3 cm, nas mesmas dosagens.

3.1 Mecanismos de diminuição da fissuração

A diminuição da fissuração por retração nos CRFP pode ser atribuída a um conjunto de efeitos que as fibras exercem no compósito. A diminuição nos tempos de início e fim de pega são apresentados como um destes efeitos. Apesar de SOROUSHLAN *et al.* (1995_a e 1995_b) terem verificado uma diminuição nos tempos de início e fim de pega de 9 e 27%, respectivamente, com a adição de 0,1%, ainda não existem dados suficientes que comprovem tal influência.

Desta forma, só serão discutidos os principais mecanismos de diminuição da fissuração em CRFP.

3.1.1 Exsudação

O primeiro efeito atribuído às fibras de polipropileno é a minoração da água exsudada. Isto devido ao fato de ser imputado às fibras uma redução no assentamento. Desta forma, os canais capilares, formados pela exsudação, tendem a ser eliminados (SOROUSHLAN *et al.*, 1995_b). Além disto, estudos de ZOLLO; ILTER (1986) e SOROUSHLAN *et al.*, (1995_a), entre outros, sugerem que a diminuição da exsudação possa ser conseqüência das fibras formarem uma malha que estabiliza a matriz, prevenindo o assentamento e a segregação dos materiais mais pesados da mistura, tais como os agregados. As fibras também podem contribuir, nesse aspecto, com o aumento da área de molhagem.

A redução na exsudação promovida pela adição de fibras foi verificada por alguns pesquisadores. ZOLLO; ILTER (1986) obtiveram uma diminuição da água exsudada com 0,3% de fibras de aproximadamente 25%, enquanto SOROUSHLAN *et al.* (1995_a e 1995_b) chegaram a 18%, com 0,1% de fibras em volume.

Existe uma relação entre a quantidade de água exsudada e o grau de fissuração da peça. Estudos realizados por NANNI *et al.* (1993) concluíram que quanto maior a quantidade total de água perdida nas primeiras horas após o lançamento do concreto, maior a área de fissuras. No entanto, SHAELES, HOVER (1988) não obtiveram a mesma relação entre a taxa de evaporação e a fissuração (Figura 3.2_a). Pelos resultados obtidos por SHAELES; HOVER (1988) poder-se-ia admitir que a taxa de evaporação de água não é um fator determinante no grau de fissuração do concreto. Porém, tal conclusão pode ser precipitada, pois estes pesquisadores não esclarecem se relacionaram a área de fissuras

com a taxa de evaporação de água na superfície dos corpos-de-prova ou com a taxa de evaporação de um recipiente preenchido com água e disposto próximo aos corpos-de-prova. Na Figura 3.2b, pode-se observar a diferença entre estas duas taxas de evaporação.

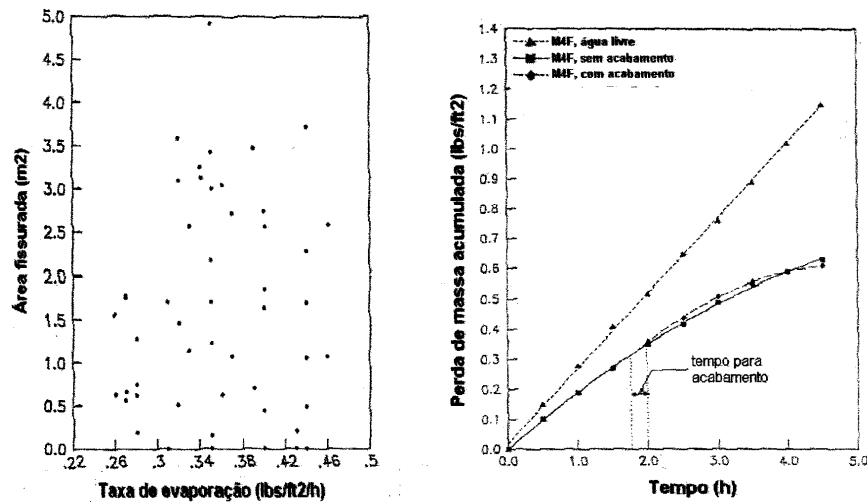


Figura 3.2 – (a) Área fissurada em função da taxa de evaporação e (b) curvas típicas de perda de água em função do tempo (SHAELES;HOVER, 1988).

3.1.2 Ponte de transferência de tensões

Uma parcela significativa da contribuição das fibras deve ser atribuída ao efeito de ponte de transferência de tensões. Ao se atingir a tensão de ruptura da matriz, ocorre o aparecimento de fissuras. A carga inicialmente suportada pela matriz é transferida para a fibra que intercepta a fissura, tendo assim uma função de ponte de transferência de tensões ao longo da fissura, controlando, desta forma, a abertura da mesma. Isto se o nível de carregamento for mantido constante ou mesmo diminuir, o que nem sempre pode ser garantido, pois as condições externas ao corpo-de-prova ou a estrutura podem se modificar. A transferência de tensão para uma região não fissurada promoverá nela um incremento de tensão, que quando atingir a tensão de ruptura da matriz, resultará no aparecimento de mais fissuras, (BENTUR;MINDESS, 1990). Assim, o número de fissuras será maior em um compósito reforçado em relação à matriz sem fibras, porém

com abertura de fissuras menor. A abertura de fissuras será controlada e estabilizada desde que a tensão suportada pela fibra não atinja a sua tensão de ruptura e desde que haja suficiente aderência entre a fibra e a matriz para que não ocorra escorregamento desta na matriz e seu conseqüente arrancamento. O escorregamento e o arrancamento se darão com gasto de energia, explicando o aumento da tenacidade dos compósitos reforçados com fibras, em geral.

O efeito de ponte de transferência de tensões não só promove o aumento da deformação para o aparecimento da primeira fissura como também a deformação até o colapso, uma vez que o compósito continua suportando carregamento e se deformando, mesmo após o aparecimento de fissuras, durante os processos de descolamento e arrancamento das fibras.

Deve-se salientar que quanto maior o teor de fibras, maior será o número de fibras dispersas na matriz e maior a probabilidade de que uma fibra intercepte a fissura. Além disto, quanto maior o teor de fibras, menor será o espaçamento S entre as fibras e maior será a tensão de aparecimento da primeira fissura, conforme foi verificado por ROMUALDI; MANDEL (1964)

Não apenas o teor de fibras é importante no controle da fissuração, ou na distribuição das fissuras, mas também outras variáveis devem ser consideradas, tais como o comprimento, a forma, a textura da superfície da fibra e a densidade da interface fibra-matriz (SAVASTANO Jr., 1992), em última análise, a aderência fibra-matriz.

No caso das fibras de polipropileno fibrilado, cuja geometria é complexa, observa-se que a eficiência na transferência de tensão se deve a uma grande contribuição devida a ancoragem mecânica e ao efeito de intertravamento (BENTUR; MIINDESS, 1990). Nos filmes de polipropileno fibrilado, cuja forma é extremamente irregular, efeitos adicionais na aderência, independentes do contato íntimo entre a matriz e a fibra, podem ocorrer. Nestes casos, a área de contato não é um parâmetro de controle da aderência das fibras e o escorregamento do filme pode ser controlado por cisalhamento interno do próprio filme (BENTUR; MIINDESS, 1990). No entanto, para CURRIE; GARDINER (1989) o efeito da maior área superficial, em relação às outras formas de fibras de polipropileno, parece ser anulado pela maior incorporação de ar e conseqüente piora da interface fibra-matriz. Deve-se ainda observar que altos teores de fibras (acima de 1%) podem ter difícil compactação e podem incorporar maior quantidade de vazios,

piorando a interface fibra-matriz.

A influência das fibras de polipropileno na fissuração por retração não pode ser apresentada apenas com resultados simplistas da porcentagem de diminuição da área ou da largura de fissuras. Deve sim, dar subsídios para o emprego adequado destas fibras, levando em consideração a sua influência para uma dada matriz, de acordo com o teor, as diversas características geométricas, e as metodologias de ensaios.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os concretos reforçados com fibras de polipropileno têm sido empregados principalmente para pavimentos industriais, pois é imputada às fibras de polipropileno a capacidade de diminuição de fissuração por retração.

No entanto, emprega-se o teor de fibras de 0,1% em volume, determinado empiricamente, sem haver uma relação entre desempenho do componente e volume de fibras empregado. Os estudos realizados internacionalmente mostram a falta de consenso com relação à capacidade destas fibras de controlarem a propagação das fissuras.

Tal divergência de resultados consiste principalmente na falta de metodologias de ensaio e de apropriação de dados consensuais. Neste sentido, pode-se constatar que os ensaios indicados pela literatura se apresentam como de difícil reprodutibilidade e/ou repetitividade, ou de realização.

Acredita-se que as fibras de polipropileno possuem capacidade de diminuição da fissuração nas primeiras horas após a moldagem, quando o concreto apresenta um baixo módulo de elasticidade. Contudo, não existe uma medida precisa de até quando o concreto ainda se encontra nas primeiras idades e a qual resistência e módulo de elasticidade este estado corresponde.

É de fundamental importância a dosagem racional da fibra sem recorrer a proporções únicas independentemente da aplicação, visando a obtenção de um determinado nível de desempenho.

Não se pode avaliar ou mesmo imputar às fibras de polipropileno, qualquer melhoria no comportamento quanto à fissuração enquanto não houver uma metodologia de ensaio consensual, ou seja que possa ser utilizada em diferentes estudos possibilitando parâmetros de comparação entre eles.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULL-WAHAB, H.M.S. e AHMAD, H.K. *Fibre effect on cracking of concrete due to shrinkage. Fibre Reinforced Cement and Concrete. Proceedings of Fourth International Symposium held by RILEM. July 1992, University of Sheffield, p. 102-13.*
- AL-TAYYIB, A. H. 1, AL-ZAHRANI, M. M., RASHEEDUZZAFAR; AL SULAIMANI, G. F. *Effect of polypropylene fiber reinforcement on the properties of fresh and hardened concrete in the Arabian Gulf Environment. Cement and Concrete Research, vol 18, 1988, pp. 561-570.*
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete.** ASTM C157,1993.
- ARMELIN, H. S.; HAMASSAKI, L. T. *Avaliação do concreto projetado reforçado com fibras de aço e polipropileno na construção de túneis - NATM. 32ª Reunião anual do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 1990. Anais, 12p.*
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto e execução de obras de concreto armado.** NBR 6118. ABNT, Rio de Janeiro, 1978,
- AVESTON, A.; COOPER, G. A.; KELLY, A. **Single and multiple fracture.** *In The properties of fibre composites, Proceedings Conference National Physical Laboratories, IPC, Science and technology press, UK, 1971, pp. 15-24.*
- BALAGURU, P. *Contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the initial and final setting period. ACI Materiais Journal v.91 n.3 May-June 1994, pp 280-288.*
- BALAGURU, P. N.; SHAR, S. P. **Fiber reinforced cement composites.** McGraw-Hill, Inc. 1992.
- BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites.** Elsevier Applied Science, London and New York, 1990.
- BERKE, N. S.; DALLAIRE, M. P. *The effect of low addition rates of polypropylene fibers on plastic shrinkage cracking and Mechanical properties of concrete. Fiber reinforced Concrete. Developments and Innovations. SP-142.* James I. Daniel and Surendra P. Shah, editors, 1994, pp 19-42.
- COUTINHO, A. S. *A fissurabilidade de cimentos, argamassas e betões por efeito da sua contração.* Laboratório nacional de engenharia Civil, **Publicação** nº 57, Lisboa, 1954,137p.
- CURRIE, B. and GARDINER, T. Bond between polypropylene fibres and cement matrix. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, vol 11, n.1, February 1989, pp. 3-9.
- DANTAS, F. A- S. **Concretos de baixo consumo de cimento reforçados com fibras:** Propriedades e análise da fissuração devida à retração. Tese de doutorado apresentada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1987.
- ÊXODO 5:7. **A Bíblia Sagrada.** Editora Mundo Cristão.
- GRZYBOWSKI, M.; SHAH, S.P. *Shrinkage cracking of fiber reinforced concrete. ACI Materiais Journal, vol 87, n.2, March-April 1990, pp. 138-148.*

- HANNANT, D. J. *Polypropylene fibres in concrete, mortar and cement*. **Fibre cements and fibre concretes**. Chapter 7, 1978, pp 81-98.
- KHAJURIA, A.; BALAGURU, P. *Plastic shrinkage characteristics of fibre reinforced cement composites*. **Fibre Reinforced cement and concrete**. Edited by R. N. Swamy, 1992 RILEM, pp 82-90.
- KOVLER, K. *Interdependence of Creep and Shrinkage for Concrete under Tension*. **Journal of Materials in Civil Engineering**. May 1995, pp 96-101.
- KOVLER, K; SIKULER, 1; BENTUR A. *Free and restrained shrinkage of fibre* KRAAI, P. P. *A proposed test to determine the cracking potential due to drying shrinkage of concrete*. **Concrete Construction**, September 1985, pp 775-778.
- KRENCHER, H. *Fiber spacing and specific fibre surface*. In **Fibre Reinforced Cement and Concrete**. ed. A. Neville. Proceedings RILEM Conference, The Construction Press, UK 1975, pp 69-79.
- MEHTA, K. M. *Concrete Technology at crossroads - Problems and Opportunities*. In *Concrete technology: Past, Present and Future*, **Proceedings** of V. Mohan Malhotra Symposium. American Concrete Institute, Detroit. SP- 144, 1994. pp 1-30.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Editora Pini, 1994.
- MORGAN, D. R.; MINDESS, G. G.; CHEN, L. *Testing and specifying toughness for fiber reinforced concrete and shotcrete*. Second University-Industry workshop on Fiber reinforced concrete and other advanced materials. Toronto, Canada, 1995. **Proceedings**, pp 29-50.
- NANNI, A.; LUDWIG, D. A.; MCGILLIS, M. T. *Plastic shrinkage cracking of restrained fiber-reinforced concrete*. **Transportation Research Record** 1382, 1993, pp 69-72.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2a. Ed., São Paulo, Pini, 1997.
- PADRON, I.; ZOLLO, R.F. *Effect of synthetic fibers on volume stability and cracking of Portland cement, concrete and mortar*. **ACI Materiais Journal**, Jul-Aug 1990, pp 327-332.
- ROMUALDI, J. P.; MANDEL, J. A. *Tensile strength of concrete affected by uniformly Dispersed and closely spaced short lengths of wire reinforcement* **Journal of American Concrete Institute**, 61, 1964, pp 657-672.
- SARIGAPHUTI, M.; SHAH, S.P. - VINSON, K. D. *Shrinkage cracking and durability characteristics of cellulose fiber reinforced concrete*. **ACI Materiais Journal**, Jul-Aug 1993, 309-318.
- SAVASTANO JR., H. **Zona de transição entre fibras e pasta de cimento Portland: caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas do compósito**. Tese de doutorado apresentada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1992.
- SHAELES, C. A.; HOVER, K. C. *Influence of mix proportions and construction operations on plastic shrinkage cracking in thin slabs*. **ACI Materiais Journal**, Nov/Dec, 1988, pp 495-504.
- SCHUPACK, M.; STANLEY, W. R. *Seven case studies of synthetic fiber reinforced slabs*. **Concrete International**, February, 1992, pp 50-56.

- SOROUSHIAN,.; MIRZA, F.; e ALHHOZAIMY, A. *Plastic shrinkage cracking of polypropylene fiber reinforced concrete slabs*. **Transportation Research Record** 1382, 1993, pp 64-68.
- SOROUSHIAN, P.; MIRZA, F.; ALHHOZAIMY, A. (a) *Permeability characteristics of polypropylene fiber reinforced concrete*. **ACI Materials Journal**, May-Jun 1995, pp 291-295.
- SOROUSHIAN, P.; MIRZA, F.; ALHHOZAIMY, A. (b) *Plastic shrinkage cracking of polypropylene fiber reinforced concrete*. **ACI Materials Journal**, **Sep-Oct** 1995, pp 553-560.
- STANG, H. *Evaluation of properties of cementitious materials High performance fiber reinforced cement composites*. **Proceedings** of International RILEM/ ACI Workshop. Edited by H. W. Reinhardt and A. E. Naaman, 1992, pp 388-406.
- SWAMY, R. X; STAVRIDES, H. *Influence of fiber reinforcement on restrained shrinkage and cracking*. **ACI Journal**, mar 1979, pp 443-460.
- TANESI, J. **Controle da fissuração por retração dos concretos reforçados com fibras de polipropileno**. Dissertação apresentada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.
- TANESI, J; TORNERI, P.; FIGUEIREDO, A. D. *A influência das fibras de polipropileno na fissuração por retração*. IV Congresso Iberoamericano de patologia das construções. **Anais**, Porto alegre, 1997.
- TROTTIER, J. R; MORGAN, D. R; FORGERON, D. *Fiber reinforced concrete for exterior slabs-on-grade, part I*. **Concrete International**, June, 1997, pp 35-39.
- VONDRAN, G. L. *Making more durable concrete with polymeric fibers*. **ACI 100: Concrete Durability** - Katharine and Bryant Mather International Conference. Editor: Scanlon, J.M., 1987, pp 377-389.
- VULKAN do Brasil Ltda. **PolyCon - HPC-20**. Fibra sintética de polipropileno, s.d.
- WITTMANN, F. H. *On the Action of Capillary Pressure in Fresh Concrete*. **Cement and Concrete Research**, vol 6, n 1, january 1976, pp 49-56.
- ZOLLO, R. F. *Collated Fibrillated Polypropylene Fibers in FRG* In: **Fibre Reinforced Concrete**. Ed. G.C. Hoff. ACI SP-81. American Concrete Institute, Detroit, 1984, pp 397-409.
- ZOLLO, R. F.; IILTER, J. A. *Plastic and drying shrinkage in concrete containing collated fibrillated polypropylene fibre*. In **Developments in Fibre Reinforced Cement and Concrete**, ed. R. N. Swamy, R. I. Wagstaffe an D. R. OAKLEY. Proceedings RILEM Symposium, Sheffield, 1986.
- ZONSVELD, J. J. *Polypropylene networks for cement reinforcement*. Shell polymers v.7 n.3, 1983, pp72-73.

BOLETINS TÉCNICOS PUBLICADOS

- BT/PCC/221 Implantação de um Sistema de Gestão da Qualidade em Empresas de Arquitetura. JOSAPHAT LOPES BAÍA, SILVIO BURRATTINO MELHADO. 21 p.
- BT/PCC/222 Proposta de Classificação de Materiais e Componentes Construtivos com Relação ao Comportamento Frente ao Fogo - Reação ao Fogo. MARCELO LUIS MITIDIERI, EDUARDO IOSHIMOTO. 25 p.
- BT/PCC/223 Contribuição ao Estudo das Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos Revestimentos de Argamassa. MÁRIO COLLANTES CANDIA. LUIZ SÉRGIO FRANCO. 13 p.
- BT/PCC/224 A Influência da Temperatura na Hidratação dos Cimentos de Escória de Alto-Forno. MARISTELA GOMES DA SILVA. VAHAN AGOPYAN. 22 p.
- BT/PCC/225 A Influência do Fator de Forma da Fibra na Tenacidade à Flexão do Concreto Reforçado com Fibras de Aço. NELSON LUCIO NUNFS. VAHAN AGOPYAN. 18 p.
- BT/PCC/226 Implementação de Sistemas de Gestão da Qualidade em Pequenas e Médias Empresas de Construção de Edifícios: Estudos de Caso. PALMYRA FARINAZZO REIS, SILVIO BURRATTINO MELHADO. 18 p.
- BT/PCC/227 As Juntas de Movimentação na Alvenaria Estrutural. ROLANDO RAMIREZ VILATÓ, LUIZ SÉRGIO FRANCO. 11 p.
- BT/PCC/228 Painéis em Cimento Reforçado com Fibras de Vidro (GRC). VANESSA GOMES DA SILVA, VANDERLEY MOACYR JOHN. 20 p.
- BT/PCC/229 Derivação de Fundos para Investimento em Empreendimentos de Infra-Estrutura no Brasil: A Viabilidade da Securitização nas Concessões Rodoviárias e de Geração Independente de Energia Hidrelétrica. CLAUDIO TAVARES DE ALENCAR, JOÃO DA ROCHA LIMA JUNIOR. 25 p.
- BT/PCC/230 Influência da Dosagem na Carbonatação dos Concretos. FABÍOLA LYRA NUNES. PAULO ROBERTO DO LAGO HELENE. 26 li.
- BT/PCC/231 Resistência ao Cisalhamento do Concreto Fresco por Compressão Triaxial. LEVY VON SOHSTEN REZENDE, JOÃO GASPAS DJANIKIAN. 30 p.
- BT/PCC/232 Mecanismos de Transporte de Agentes Agressivos no Concreto. CARLOS EDUARDO XAVIER REGATTIERI, PAULO ROBERTO DO LAGO HELENE. 20 p.
- BT/PCC/233 Influência do Tipo de Cal Hidratada na Reologia de Pastas. FABIOLA RAGO, MARIA ALBA CINCOTTO. 24 p.
- BT/PCC/234 A Inserção do Campus da Cidade Universitária – “Armando de Salles Oliveira” na Malha Urbana da Cidade de São Paulo. VERA ADELINA AMARANTE MACHADO MARQUES. WITOLD ZMITROWICZ. 34 p.
- BT/PCC/235 Aspectos de Desempenho da Argamassa dosada em Central. ANTONIO A. A. MARTINS NETO. JOÃO GASPAS DJANIKIAN. 25p.
- BT/PCC/236 Contratação de Performance: Modelo Norte-Americano dos Anos 90 na Automação Predial. ENIO AKIRA KATO, RACINE TADEU ARAUJO PRADO. 22p.
- BT/PCC/237 Dosagem de Argamassas através de Curvas Granulométricas. ARNALDO MANOEL PEREIRA CARNEIRO, MARIA ALBA CINCOTTO. 37p.
- BT/PCC/238 Estudo da Difusão do Oxigênio no Concreto. PAULO FANCINETE JÚNIOR, ENIO J. P. FIGUEIREDO. 23p.
- BT/PCC/239 Fissuração por Retração em Concretos Reforçados com Fibras de Polipropileno (CRFP). JUSSARA TANESI, ANTONIO DOMINGUES FIGUEIREDO. 24p.

Escola Politécnica da USP - Deptº de Engenharia de Construção Civil
Edifício de Engenharia Civil - Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2
Cidade Universitária - CEP 05508-900 - São Paulo - SP - Brasil
Fax: (011)8185715- Fone: (011) 8185452 - E-mail: secretaria@pcc.usp.br