

As fibras de polipropileno e a retração plástica do concreto

INTRODUÇÃO

O concreto reforçado com fibras de polipropileno é um tipo de compósito fibroso. Conforme explanado na Publicação Técnica 1, o concreto e as fibras de polipropileno são materiais que se complementam, porque ao serem combinados formam um material mais completo e versátil. Procura-se, nesta publicação, justificar o efeito das fibras de polipropileno na diminuição da ocorrência de fissuras de retração plástica no concreto e explicar o mecanismo pelo qual este benefício pode ser alcançado. Se necessário, o leitor pode consultar o PubliTec 1 para resgatar alguns conceitos.

Quando as fibras plásticas são empregadas no concreto de piso, a propriedade mais facilmente notada é o aumento da coesão da mistura fresca. Sua função principal é minimizar a fissuração que ocorre no estado plástico e nas primeiras horas de endurecimento.

A RETRAÇÃO DO CONCRETO

Após o lançamento, o concreto irá sofrer variações volumétricas devido a mudanças térmicas e higrométricas na sua estrutura ao longo da sua vida útil, e essas variações serão mais intensas nos primeiros meses de vida da obra.

No caso de pisos de concreto, interessam mais as variações conhecidas como retração hidráulica, que na verdade ocorrem em duas fases diferentes do concreto: uma, quando ele está endurecido ou em processo de endurecimento, que é mais conhecida e sempre em projeto são tomadas precauções para controlá-la, como o projeto de juntas e os reforços tradicionais.

A outra fase é denominada retração inicial ou plástica, porque ocorre quando o concreto ainda está no seu estado plástico, período que o concreto está mais vulnerável para a perda de água. Caso ocorra, teremos a presença de fissuras típicas, normalmente agrupadas, para-

elas entre si e ortogonais à direção do vento. A Figura 1 mostra uma foto em que se pode evidenciar uma fissura de retração plástica típica ocorrida em uma placa de pavimento de concreto.

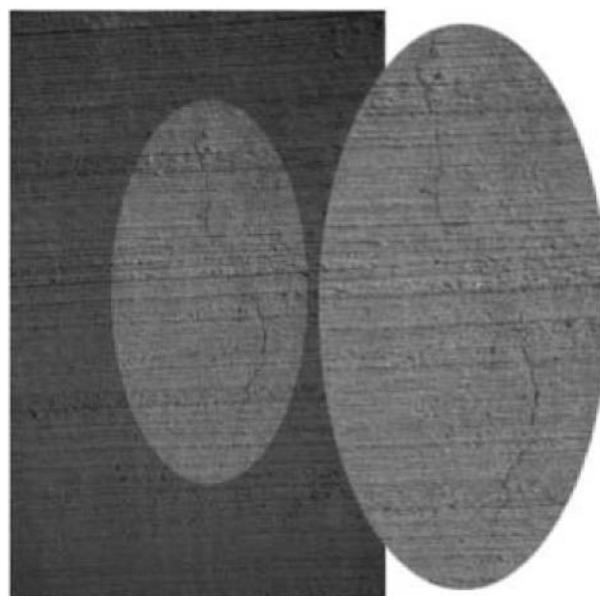


Figura 1: Fissura de retração plástica típica

A Portland Cement Association (PCA, 1995) desenvolveu gráficos para estimar o nível de evaporação em função da umidade relativa do ar, temperatura do concreto e velocidade do vento. Segundo esse trabalho, se a taxa de evaporação atingir 1 litro/m²/hora é recomendável que sejam tomadas precauções contra a fissuração por retração plástica. Para exemplificar, a condição climática com temperatura do ar em 25°C, umidade relativa do ar de 40%, temperatura do concreto de 30°C e velocidade de vento de 15 km/h é suficiente para se atingir um nível de evaporação de 1 litro/m²/hora.

As fissuras de retração plástica são causadas pela mudança de volume do concreto no estado plástico. As retrações

que ocorrem no concreto antes do seu endurecimento podem ser divididas em quatro fases (Wang et al, 2001):

Primeira fase - assentamento plástico: ocorre antes da evaporação da água do concreto; quando do lançamento, o espaço entre as partículas sólidas está preenchido com água; assim que essas partículas sólidas assentam, existe a tendência de a água, que é o elemento mais leve da mistura, subir para a superfície, formando um filme. Esse fenômeno é conhecido por exsudação e será abordado mais amplamente no PubliTec 3.

Segunda fase - retração plástica primária: é a fissura plástica clássica. A água superficial começa a evaporar-se por razões climáticas – calor, vento, insolação –, e quando a taxa de evaporação excede a da exsudação, o concreto começa a contrair-se. Este tipo de retração ocorre antes e durante a pega e é atribuída às pressões que se desenvolvem nos poros capilares do concreto durante a evaporação.

Terceira fase - retração autógena¹: neste caso, quando a hidratação do cimento se desenvolve, os produtos formados envolvem os agregados, mantendo-os unidos; nessa fase, a importância da capilaridade decresce e o assentamento plástico e a retração plástica primária decrescem, tomando seu lugar a retração autógena, que quando o concreto está ainda no estado plástico é pequena, ocorrendo quase que totalmente após a pega do concreto. No passado essa parcela da retração era praticamente desprezada, mas hoje, principalmente com o emprego de baixas relações água/cimento, a retração autógena ganhou destaque importante.

Quarta fase - retração plástica secundária: ocorre durante o início do endurecimento do concreto. Assim que o concreto começa a ganhar resistência, a retração plástica tende a desaparecer.

As combinações mais comuns de ocorrência da retração plástica são as três primeiras fases: assentamento plástico, retração por exsudação e a autógena. Sempre que há restrições a essas variações volumétricas, tanto internas como externas, desenvolvem-se tensões de fração com probabilidade da ocorrência de fissuras.

Nos últimos anos tem-se observado um aumento significativo das patologias associadas à retração plástica do concreto, que podem estar ligadas a relações água/cimento mais baixas e ao emprego de cimentos de finura mais elevada, além do emprego de outros materiais cimentícios adicionados a ele, como a escória de alto forno, pozolanas, filer calcário, que são geralmente extremamente finos; é sabido que essas adições incrementam a retração do concreto (Kejin et al, 2001 e Neville, 1997).

Esse aumento na retração plástica geralmente está associado a três fatores: baixas taxas de exsudação, elevada retração autógena e elevadas pressões capilares provenientes das altas finuras dos materiais cimentícios.

Há algum tempo, imaginava-se que as fissuras de retração plásticas eram inofensivas, pois apresentavam pequena

profundidade, não progredindo com o pavimento em utilização. Isso com certeza era verdadeiro quando as tensões de retração hidráulica eram baixas e as tensões de utilização – aquelas oriundas dos carregamentos – eram pequenas, devido principalmente às elevadas espessuras.

Hoje em dia, além das expressivas retrações dos concretos modernos, os pisos são na sua totalidade empregados com reforços, com telas soldadas ou fibras de aço, que levaram a uma redução na espessura com o incremento das tensões atuantes. Como consequência, observa-se hoje um grande número de fissuras, cujo aspecto só pode ser explicado pela evolução das antes inofensivas fissuras plásticas.

MECANISMO DE ATUAÇÃO DA FIBRA DE POLIPROPILENO

O emprego de fibras sintéticas como auxiliares no combate ou redução das fissuras de retração plástica tem sido largamente difundido por diversos pesquisadores, embora o mecanismo pelo qual isso ocorre não seja bem conhecido. Há vertentes que advogam que os complexos mecanismos da pressão dos poros capilares desempenham importante papel na redução da retração e, conseqüentemente, das fissuras, enquanto outros preferem atribuir às fibras a redução dos efeitos danosos da retração (Padron et al, 1990). Provavelmente e pelos resultados de pesquisas experimentais, ambas as teorias são válidas, sendo que a questão da redução da porosidade capilar irá afetar basicamente a retração por exsudação, enquanto que a fibra, como material de reforço, deve atuar nos estágios subseqüentes, enquanto o módulo de elasticidade da fibra plástica for superior ao da pasta de cimento.

Por exemplo, Padron e Zollo (Padron et al, 1990), pesquisando concretos e argamassas com reforços de fibras de polipropileno, observaram que, em condições severas, a quantidade de fissuras foi entre 18% e 23% em relação ao concreto simples, enquanto que a retração total dos corpos de prova variou de 52% a 100% com relação ao padrão de concreto simples. Curiosamente, a amostra com fibras que apresentou a mesma retração do padrão foi a que exibiu menor quantidade de fissuras, 18% da observada no concreto simples; vemos que esses dados indicam que os dois fatores estiveram presentes. O mecanismo principal de atuação das fibras pode ser modelado como:

- a) O concreto simples, logo após o lançamento, é fluido. Aos poucos o concreto endurece e com isso perde sua fluidez e, conseqüentemente, sua capacidade de deformação;
- b) Em contrapartida, com a evaporação da água de exsudação, a retração aumenta até que em determinado momento o nível de deformação de retração é maior que a capacidade do concreto em absorver estas deformações, e então as fissuras aparecem;
- c) O concreto com fibras de polipropileno de elevado nível de

¹ Define-se como retração autógena a retração que ocorre sem troca de massa com o meio ambiente, isto é, sem que haja perda de água.

deformação e de baixo módulo é mais deformável nas primeiras idades. As fibras transferem a sua natural capacidade de deformação para o concreto. A deformação de retração pode ser a mesma, porém não maior do que a capacidade do concreto em absorvê-las. Assim, as fissuras são inibidas ou sua frequência e tamanhos são reduzidos. A Figura 2 ilustra de maneira qualitativa a explicação acima.

Na pesquisa citada (Padron et al, 1990), os autores efetuaram as medidas após 16 horas de exposição em túnel de vento, sendo que as primeiras fissuras foram observadas cerca de duas horas após a moldagem. Uma das dificuldades observadas em diversas pesquisas é o tipo de ensaio que foi empregado. Os ensaios normalizados, como o ASTM C157², não são adequados à determinação da retração nas primeiras idades, e, na verdade, cada pesquisador acaba por adotar um procedimento diferente. Portanto, os ensaios têm valor comparativo, mas não são, na maioria dos casos, intercambiáveis. Em comum esses ensaios têm o emprego de câmaras de vento, umidade e temperatura controladas, e a amostra é submetida a algum tipo de restrição, como um *o-ring*, aderência na base simulando um *overlay aderido* ou outras restrições à movimentação.

A eficiência das fibras depende de diversos fatores, como a sua relação *l/d*, comprimento, módulo de elasticidade, dosagem e até mesmo as características do próprio concreto: por exemplo, matrizes mais ricas (menor relação cimento/areia) respondem mais eficientemente à adição das fibras e o concreto leve apresenta maior potencial de redução de fissuras do que o convencional, quando são empregados teores e tipos idênticos de fibras (Balaguru, 1994).

Balaguru desenvolveu um extenso programa de ensaios com diversos tipos de fibras sintéticas e também de aço, e suas principais conclusões podem ser sumari-zadas em:

- A adição de fibras sintéticas, mesmo em teores tão baixos como $0,45\text{kg/m}^3$ promove alguma redução na quantidade de fissuras;
- Reduções mais acentuadas são conseguidas com dosagens entre $0,45\text{kg/m}^3$ e $0,90\text{kg/m}^3$;
- Para fibras longas, aquelas que apresentam menor módulo de elasticidade são as que propiciam melhor desempenho;
- Para dosagens de $0,9\text{kg/m}^3$, praticamente não se observaram, nos experimentos, fissuras de retração plástica;
- A quantidade de fibras – número de fibras por quilograma – é um parâmetro importante de dosagem;
- Fibras longas apresentam melhor desempenho em argamassas mais pobres e concretos, enquanto que as microfibras apresentam melhores resultados nas misturas mais ricas;
- Com as fibras sintéticas, não ocorre apenas a redução da quantidade de fissuras, mas também a abertura delas é menor.

Portanto, vemos que a dosagem dos concretos com fibras sintéticas não pode ser generalizada para qualquer tipo de fibra, mas, sim, fruto de análise experimental que conduzirá ao melhor resultado final.

Embora as fibras venham sendo empregadas em pavimentação praticamente desde 1978, ainda observamos hoje algumas lacunas que poderiam melhorar a compreensão da sua forma de ação e contribuir para um melhor desempenho do concreto, mas a dosagem ainda é feita com certo grau de empirismo, o que muitas vezes pode causar dúvidas no usuário.

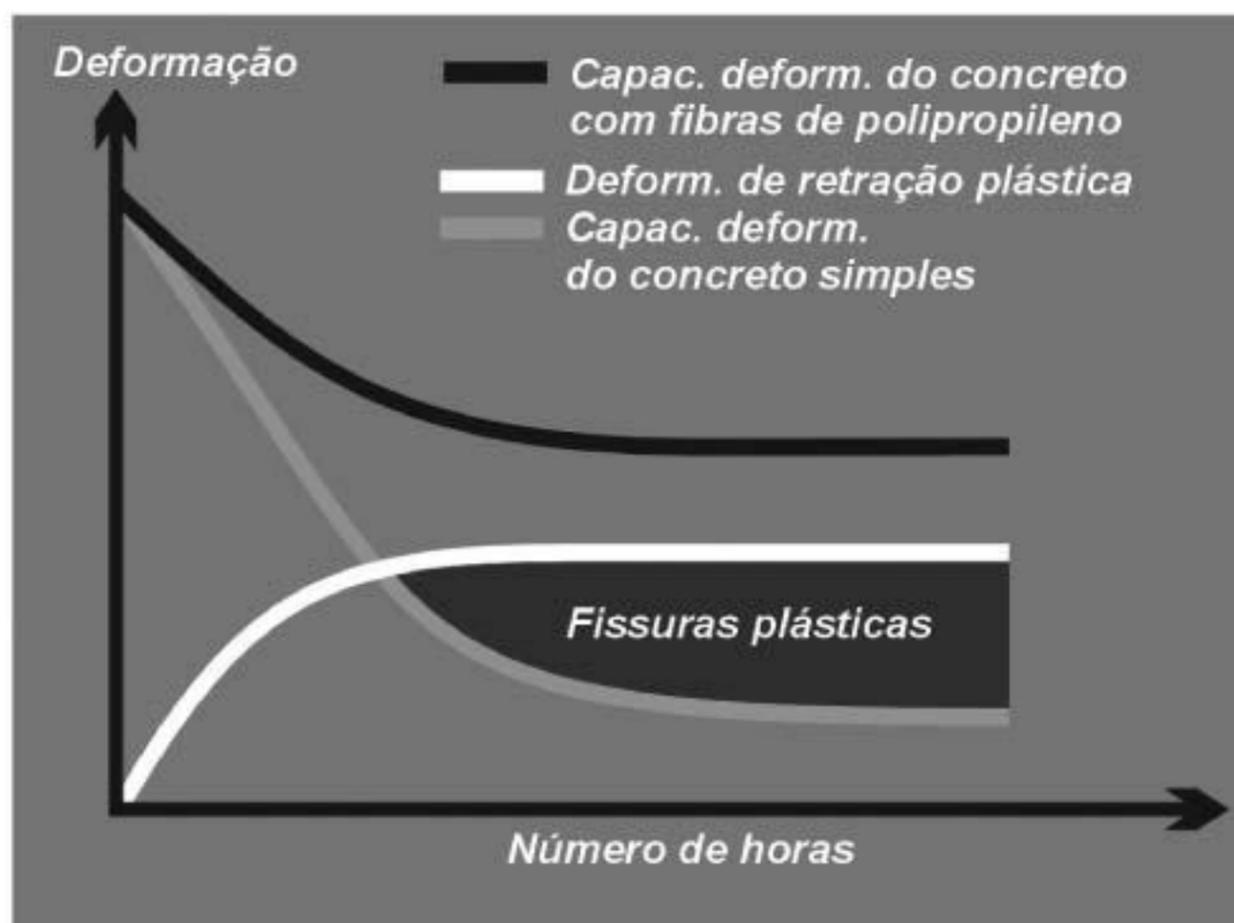


Figura 2: Gráfico de representação do mecanismo de combate às fissuras de retração plástica com a incorporação de fibras de polipropileno.

² ASTM C157: Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic Cement Mortar and Concrete.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Concrete Institute. ACI 302.1R- 96 Guide for concrete floor and slab construction . Outubro, 1997, Michigan.

Balaguru, P.: Contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the initial and final setting period . Journal of Materials. American Concrete Institute, May-June 1994.

Neville, Adam M.: Propriedades do Concreto . Ed. Pine 2^o. Edição, março 1997, São Paulo

Padron, Isabel and Zollo, Ronald F. Effect of synthetic fibers on volume stability and cracking of Portland Cement Concrete and Mortar . Journal of Materials. American Concrete Institute, July-August 1990.

PCA Design and Control of Concrete Mixtures: Canadian Portland Cement Association . Sixth Canadian Edition.

Wang, Kejin, Surendra P. S. and Phuaksuk, Pariya. Plastic shrinkage cracking in concrete materials – Influence of fly ash and fibers . Journal of Materials. American Concrete Institute, November-December 2001. Michigan.



Rua Agueda Gonçalves, 77 - Jd. Pedro Gonçalves
CEP 06760-020 - Taboão da Serra - SP
Tel./Fax.: 55 11 4771 1323
www.neomatrix.com.br

O PubliTec - Publicação Técnica é uma publicação da Neomatrix. Sua reprodução total ou parcial é permitida se a fonte for citada. A Neomatrix não se responsabiliza por opiniões apresentadas nesta publicação indicando a fonte e autoria.