

A Influência da Adição de Fibras de Polipropileno nas Propriedades dos Concretos para Pisos e Pavimentos

Engº Msc. Públio Penna Firme Rodrigues; Engº Msc. Julio P. Montardo

(1) *Diretor da LPE Engenharia e Consultoria*
email: publio@uol.com.br

(2) *Gerente de desenvolvimento de produtos e mercado da Fitesa*
email: juliom@fitesa.com.br

Endereço para correspondência: Av. Ver. José Diniz 3720 C. 1305 SP(SP) 04604-007

Palavras Chaves: concreto fresco, fibras, retração plástica, pisos industriais, pavimentos rígidos.

Resumo

Este trabalho pretende abordar a influência da adição de fibras sintéticas nas primeiras idades em concretos empregados na confecção de pisos industriais e pavimentos rígidos, procurando mostrar as diferenças que têm ocorrido nesses materiais nas últimas décadas e a influência que essas mudanças afetam o seu comportamento, basicamente no estado fresco e nas primeiras idades.

Apresenta de modo resumido alguns resultados de pesquisas desenvolvidas no exterior, bem como pretende apresentar alguns resultados de aplicações práticas conduzidas no Brasil.

1. Introdução

O objetivo deste trabalho é apresentar os benefícios da adição das fibras de polipropileno nos concretos empregados na execução de pisos industriais e pavimentos rígidos.

Este trabalho irá abordar aspectos importantes da reologia do concreto fresco e variações volumétricas do concreto nas primeiras idades, que são fundamentais para o desempenho futuro e durabilidade dos pisos e pavimentos.

No início da introdução das fibras plásticas em geral no Brasil, ocorreram alguns equívocos graves com relação à sua utilização, pois acreditava-se que, com a sua inclusão, poderíamos dispensar outros tipos de reforços, como as telas soldadas ou fibras metálicas, sem que houvesse problemas no combate e controle da retração hidráulica, o que levou a ocorrência de inúmeros insucessos em obras importantes.

Esse mau emprego e desconhecimento técnico por parte de alguns especificadores acabaram por colocar as fibras plásticas numa situação delicada e indevida, pois o que de fato ocorreu é que se esperava dela desempenhos diferentes do que ela poderia proporcionar.

Passado o choque inicial, pouco a pouco as fibras plásticas voltam a ocupar o papel delas no incremento de importantes propriedades no concreto fresco e têm-se encontrado outras propriedades inusitadas, como o seu poder de melhorar a resistência do concreto a temperaturas elevadas.

Particularmente esse tópico está além das pretensões deste trabalho, mas apenas para conhecimento geral do leitor, as fibras de polipropileno empregadas em dosagens adequadas, bem mais elevadas que a usual, fundem-se em temperaturas superiores a 100°C e criam no concreto uma rede de "túneis" que permitem a saída do vapor d'água sem que ocorra o deslocamento do concreto, que é o primeiro estágio de sua deterioração sob ação do fogo.

A tecnologia do emprego de fibras plásticas de polipropileno como elementos de reforço no concreto vem experimentando significativo crescimento de demanda nos últimos anos e essas têm experimentado nos últimos 2 ou 3 anos, no Brasil, um aumento significativo de uso. Atualmente é possível relatar obras diversas que tiveram de alguma forma a incorporação de fibras de polipropileno: barragens, túneis, pontes, canais de irrigação, estações de tratamento de águas e esgoto e, principalmente, em pavimentos e pisos de concreto.

Vários são os motivos que explicam esta realidade. No plano técnico, pode-se citar a compatibilidade mecânica, física e química existente entre o concreto e as fibras de polipropileno. O polipropileno é quimicamente inerte, não absorve água, é imputrescível e não enferruja. A mistura destes materiais se enquadra perfeitamente no conceito de compósitos fibrosos.

No plano econômico, o aumento do uso de fibra se justifica pelo baixo custo e fácil disponibilidade. A resina de polipropileno é mais barata que outros polímeros, além disso, o processo de fabricação do fio de polipropileno também é mais barato. Soma-se a isto o fato de que o seu manuseio, tanto na fábrica como na obra, não oferece qualquer dano a saúde dos operários.

Este trabalho discute alguns conceitos básicos referentes ao tema, correlacionando-os com conceitos com a engenharia de pisos e pavimentos de concreto.

Neste trabalho não há, por parte dos autores, a pretensão de esgotar o assunto, mas sim apresentar o estágio atual da utilização das fibras de polipropileno e propor novos estudos para a sua otimização.

2. O Cimento Ontem e Hoje

Pretendemos neste item discorrer algumas características importantes do cimento no passado (não muito distante) e hoje, sem pretensões históricas e preocupação com datas.

No final da década de 70 do século passado, o cimento no Brasil era produzido por processos mais antiquados e muitas indústrias ainda empregavam sistemas de moagem em circuitos abertos, aqueles em que a mistura de clínquer e gesso entrava por uma extremidade do moinho e saía pela outra onde havia simplesmente uma peneira para reter partículas mais grossas ou mesmo as bolas de aço que formavam os corpos moedores.

Já existiam algumas indústrias com sistemas de moagem mais complexos e eficientes, conhecidos como circuito fechado, que terminavam em ciclones onde o material mais grosso voltava para o início do processo e o mais fino seguir para um silo de produtos acabados, mas, naquela época, não formavam a maioria dos sistemas de moagem.

Como conseqüência, tínhamos que os cimentos produzidos eram mais grossos, com velocidade de endurecimento mais lenta e menor demanda de água e, como veremos adiante, menor retração autógena.

Para as estruturas convencionais esses cimentos poderiam causar certo desconforto pela demora na liberação de cimbramentos, gerando velocidades construtivas menores que as atuais, mas que para pisos, passava ser uma característica irrelevante.

Como ponto positivo, a menor demanda de água proporcionava valores de retração hidráulica bem inferiores aos obtidos com cimentos mais finos, sendo comum naquela época não recomendar o cimento ARI - alta resistência inicial, para pavimentos por apresentarem elevada retração hidráulica¹(Correia, 1979). Para efeitos comparativos, grosso modo, o cimento portland comum tinha finura Blaine² variando de 260 a 300m²/kg enquanto que o ARI de 360 a 400m²/kg; para o cimento comum, não eram raros os com finura na peneira 200 (0,075m) próximo a 12%, que era o limite normativo.

Atualmente, a moagem em circuito fechado representa a totalidade dos sistemas implantados nas indústrias nacionais e não é raro o sistema de moagem separado, aquele no qual as adições – que apresentam dureza distinta do clínquer – são moídas separadas e o cimento composto posteriormente dosado e homogeneizado em silos específicos a esse fim.

Hoje em dia a finura Blaine dos cimentos nacionais quase sempre ultrapassam a 400m²/kg trazendo como vantagem um rápido incremento das resistências mecânicas mais como desvantagem, uma retração hidráulica seguramente mais elevada do que antes era observado, mesmo com a difusão do uso dos aditivos plastificantes convencionais, hoje bastante difundidas. Hoje, o cimento ARI, antes banido na execução de pisos, é o preferido!

Quanto aos tipos de cimento produzidos, vemos que há uma mudança significativa, pois em 1980 eram produzidos apenas quatro tipos de cimento:

- Cimento portland comum (CPC), produzido pela moagem conjunta de clínquer e gesso;
- Cimento portland de alta resistência inicial (ARI) que proporcionava elevadas resistências às primeiras idades;
- Cimento portland de alto forno (AF), que continha adição de escória de alto forno;
- Cimento pozolânico (POZ) que era composto por clínquer, gesso, e pozolana, normalmente cinzas volantes de termo elétricas, muito difundido nos estados do Sul.

¹ Admitia-se que a finura mais elevada causava maior demanda de água

² O ensaio de finura Blaine mede a área específica das superfícies dos grãos.

Atualmente a indústria cimenteira oferece pelo menos oito tipos diferentes de cimento, que podem ser resumidos em (ABCP, 1994):

- CPI: equivalente ao antigo cimento portland comum, praticamente um cimento especial;
- CII-F, CII-E, CII-Z: cimentos portland com adições de filer calcário, escória de alto forno e pozolana respectivamente;
- CIII: equivale ao antigo cimento de alto forno e não é apropriado na execução de pisos industriais, pois facilita a ocorrência de delaminação³;
- CIV: equivale ao antigo cimento pozolânico, também problemático em pisos;
- CPV e CPV-RS: são os cimentos de alta resistência inicial, sendo este último adicionado de escória de alto forno, que lhe transmite características resistente aos sulfatos.

Embora o avanço da indústria cimenteira tenha trazido inúmeros benefícios ao consumidor, como os cimentos resistentes aos sulfatos, os com maiores velocidades de endurecimento, etc, os cimentos modernos apresentam características que podem trazer maior quantidade de problemas na execução de pisos e pavimentos, como o incremento nas retrações plástica e hidráulica – esta tanto nas primeiras idades como nas finais – e a menor capacidade frente às deformações restringidas, devido à menor capacidade de relaxação.

Soma-se a isso as profundas alterações sofridas pelos agregados nas últimas décadas, notadamente os miúdos, cujas restrições à extração da areia de rio e a distância dessas fontes dos centros consumidores – o que levou a necessidade do emprego de areias artificiais, mais angulosas, que produzem misturas menos trabalháveis – e teremos as marcantes mudanças nos concretos hoje disponíveis.

Cabe aos técnicos buscar as alternativas disponíveis para modificar as características negativas citadas, permitindo a execução de pisos e pavimentos duráveis.

3. MATERIAS COMPÓSITOS

Atualmente um grande número de materiais tem sido desenvolvido, geralmente baseados em materiais tradicionais, mas incorporando de alguma forma elementos de reforço. Estes novos materiais são denominados compósitos.

Um material compósito é a combinação de dois ou mais materiais que tem propriedades que os materiais componentes isoladamente não apresentam. Eles são, portanto, constituídos de duas fases: a matriz e o elemento de reforço e são desenvolvidos para otimizar os pontos fortes de cada uma das fases (Budinski, 1996).

Ainda segundo Budinski (1996) os materiais compósitos mais importantes são combinações de polímeros e materiais cerâmicos. Sob a ótica da ciência dos materiais, os produtos baseados em cimento Portland são considerados como materiais cerâmicos por apresentarem características típicas a este grupo de materiais, como, por exemplo, alta rigidez, fragilidade, baixa resistência à tração e tendência de fissuração por secagem.

Os polímeros são caracterizados por terem baixo módulo de elasticidade, ductilidade variável e resistência à tração moderada. São extremamente versáteis e, dentro de certos limites, podem ser modificados para adaptar-se segundo necessidades específicas (Taylor, 1994).

As cerâmicas e os polímeros podem ser considerados como grupos opostos de materiais, uma vez que as primeiras são mais rígidas e frágeis e os segundos menos rígidos e dúcteis (Taylor, 1994).

³ A delaminação é o deslocamento de uma fina camada de argamassa, que forma a superfície acabada do piso; é geralmente causada pela água de exsudação que ainda ocorre após o alisamento superficial do piso.

Os materiais compósitos, originados da combinação das cerâmicas e dos polímeros, apresentam características mais apropriadas de resistência mecânica, rigidez, ductilidade, fragilidade, capacidade de absorção de energia de deformação e comportamento pós-fissuração, quando comparados com os materiais que lhes deram origem.

Em todas as áreas do conhecimento um grande número de novos materiais pode ser desenvolvido a partir da combinação de outros. Para tanto, é necessário que se conheça as propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais de constituição e como eles podem ser combinados.

Budinski (1996) acredita que “nós conhecemos bastante sobre os porquês que as coisas acontecem e como fazer uma ampla variedade de materiais de engenharia. No entanto o desenvolvimento de futuros materiais dependerá de novos conhecimentos de química e de estrutura atômica. Nós provavelmente não encontraremos nenhum outro elemento químico estável; portanto deveremos ser mais criativos com o que temos”.

3.1 MATERIAS COMPÓSITOS FIBROSOS

A história da utilização de compósitos reforçados com fibras como materiais de construção têm mais de 3000 anos. Há exemplos do uso de palhas em tijolos de argila, mencionados no Êxodo, e crina de cavalo reforçando materiais cimentados. Outras fibras naturais tem sido utilizadas para conferir ductilidade aos materiais de construção essencialmente frágeis (Illston,1994).

Contrastando com estes antigos materiais naturais, 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 desenvolvidos 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 a ductilidade, resistência ao impacto e capacidade de absorção de energia de deformação. Segundo Johnston (1994), as fibras em uma matriz cimentada 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 reforçados com 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.

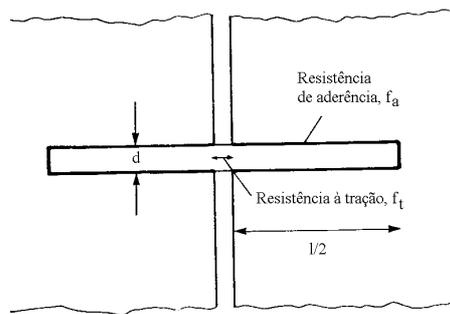
Taylor (1994) apresenta os principais parâmetros relacionados com o desempenho dos materiais compósitos cimentados, assumindo que as variações das propriedades descritas abaixo são atingidas independentemente:

- 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 reforçados com 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. A curto prazo, as fibras que absorvem água podem causar excessiva perda de trabalhabilidade do concreto. Além disso, as fibras que absorvem água sofrem variação de volume e a aderência fibra/matriz é comprometida. A longo prazo, alguns tipos de fibras poliméricas não possuem estabilidade química frente a 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 melhor 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 raciocinar tão somente em cima do comprimento da fibra. Há de se levar em conta o seu diâmetro. Pois depende também dele a capacidade da fibra desenvolver as resistências ao cisalhamento e à tração. A Figura 3.1 apresenta uma disposição idealizada da fibra em relação à fissura, seguido de um equacionamento onde fica evidente a importância da relação l/d , onde "l" é o comprimento e "d" é o diâmetro da fibra (figura 3.1).

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).



$$\frac{\pi d^2}{4} \times f_t = \pi d \times \frac{l}{2} \times f_a$$

$$\frac{l}{d} = \frac{f_t}{2f_a} \quad (2.1)$$

Figura 3.1: Disposição Fibra/Fissura Idealizada

4. Os Pisos Industriais – Evolução e Características

Os pisos industriais no Brasil praticamente não evoluíram até o início dos anos 80 quando era empregado o sistema denominado úmido-sobre-seco, como mostra a figura 4.1(a); nesse sistema, o piso estrutural era executado sem maiores preocupações com o acabamento superficial ou de nivelamento, pois sobre ele era colocada uma argamassa de nivelamento que receberia outra camada de argamassa de alta resistência mecânica, cuja função era resistir aos esforços abrasivos impostos ao piso (Rodrigues et al, 1985). Esse sistema era muito limitado, pois a sua durabilidade estava fortemente associada à qualidade da argamassa de consistência seca interposta entre a laje estrutural e o revestimento, além do excessivo número de juntas, formado por quadros de 2x2m a 3x3m. Como evolução desse sistema, surgiu o denominado úmido-sobre-úmido, apresentado na figura 4.1(b).

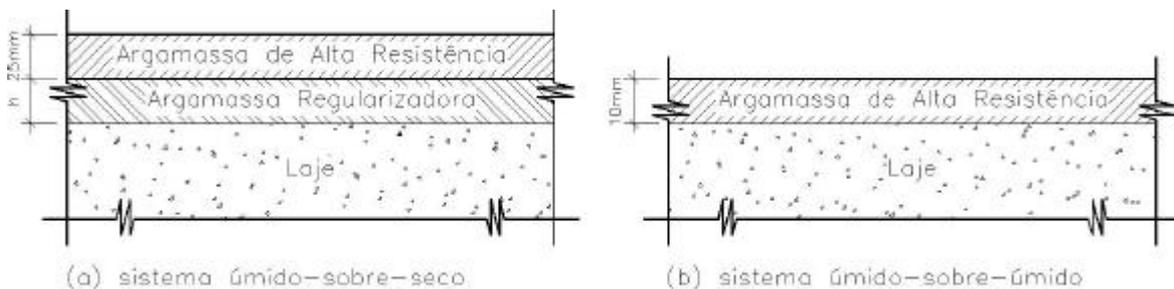


Figura 4.1: Pisos com argamassa de alta resistência

Este sistema eliminava a indesejável camada de argamassa intermediária, já que a argamassa de alta resistência era aplicada diretamente sobre o concreto fresco, permitindo uma redução na quantidade de juntas, havendo a necessidade de acompanhar apenas as do próprio piso. Infelizmente, os produtores de argamassa impuseram limitações severas ao comprimento das placas, ao nosso ver sem nenhum fundamento científico, criando uma quantidade de juntas desnecessária frente às novas tecnologias que se apresentavam, inicialmente com os pisos armados com telas eletro

soldadas e posteriormente os reforçados com fibras de aço, que permitiram uma redução substancial e oportuna da quantidade de juntas. Adicionalmente era prática comum o emprego de juntas rígidas, formadas por perfis plásticos pré-fabricados, que não protegem as juntas adequadamente, soltando-se com facilidade.

A partir dos anos 90, com a difusão do emprego de empilhadeiras elétricas com rodas rígidas, a redução do número de juntas passou a ser muito importante na operação do piso e as tecnologias que não acompanhavam essa tendência acabaram sucumbindo.

Hoje em dia, são comuns os pisos constituídos por camada única, executados com concretos de alta resistência, superiores a 30MPa de resistência à compressão e 4,2MPa à tração na flexão.

Quando há necessidade de incremento da resistência à abrasão, são feitas aspersões com misturas de agregados minerais ou metálicos, durante a fase de acabamento do piso, já existindo produtos que, além de incrementar a resistência superficial, permitem colorir o piso.

Na década de 90, com a abertura das importações no Brasil somada à evolução tecnológica dos equipamentos, ocorreu uma verdadeira revolução na execução dos pisos industriais, graças ao surgimento de sistemas de nivelamentos mais ágeis, régua vibratórias com vãos superiores a 10m, acabadoras de superfície, simples e duplas, com grande capacidade e eficiência, sem mencionar as versáteis e ágeis máquinas do tipo *Laser Screed*, de alta produtividade.

Todas essas inovações foram fruto de um fator muito importante: o aumento de exigência do usuário final. O piso deixou de ser um componente construtivo e passou a ser um verdadeiro equipamento das indústrias e empresas operadoras de logística.

Com isso, exigência pela qualidade passou a atingir níveis nunca antes imaginados que, aliados a um sistema eficiente de controle geométrico da superfície – o *F-Number*⁴ permitia a execução de pisos com desempenho tal que hoje é possível à operação, por exemplo, de empilhadeiras com alturas de elevações superiores a 18m e elevadas velocidades de deslocamento.

5. O Concreto para Pisos

Quando falamos em concreto para pisos, procuramos caracterizá-lo como um concreto diferente do concreto empregado em estruturas, o que realmente ele é, pois apresenta distintas formas de aplicação e sempre tem uma grande área, em relação ao seu volume, em contato com o ar, permitindo que ocorra uma perda de água muito mais severa, quer em velocidade como um resultado global, do que o concreto convencional.

Como parâmetros mínimos de dosagem, temos:

- a) Consumo de cimento: 320 kg/m³;
- b) Teor de argamassa entre 49% e 52%;
- c) Abatimento mínimo entre 80mm e 100mm;
- d) Ar incorporado inferior a 3%.

A fixação do consumo mínimo de cimento está associada à resistência superficial do piso, pois na fase de acabamento deve haver uma quantidade de pasta suficiente para o fechamento e alisamento superficial, embora este fator não seja o único responsável pela resistência à abrasão. Resumidamente a resistência superficial pode ser correlacionada diretamente com a resistência à compressão, mas pode ser fortemente afetada pela exsudação do concreto, que levaria a uma maior relação água-cimento gerando, portanto uma menor resistência superficial. A fixação do consumo mínimo de cimento é, muitas vezes polêmica, mas vamos ver o que dizem as normas: a da *ABNT* (ABNT, 1986) fixa o

⁴ O sistema *F-Number* é composto por dois números: F_F que mede a planicidade e o F_L que mede o nivelamento. É regido pela norma *ASTM E 1133/96*.

consumo mínimo de 320kg/m^3 ; o *ACI 302-1R* (ACI, 1996) estabelece valores entre 280kg/m^3 , quando a dimensão máxima do agregado for 38mm e 360kg/m^3 , quando a referida dimensão for 10mm. Mais objetiva esta norma fixa valores de resistência mecânica entre 21MPa e 31MPa , dependendo da classe do piso.

O teor de argamassa está associado a trabalhabilidade necessária nas operações com o rodo de corte e outros equipamentos, para garantir o índice de planicidade do piso. Teores baixos deixam o agregados graúdos muito próximos da superfície tornando-os visíveis em função da alteração de coloração a argamassa que está sobre ele; teores muito elevados podem causar a delaminação da camada superficial.

O abatimento, da mesma forma que o teor de argamassa, e função das necessidades de lançamento e acabamento superficiais. Misturas mais rígidas tornam difíceis as operações com régua vibratória, fazendo com que o lançamento seja muito lento, além do que a baixa potência de vibração desse equipamento não permita que a quantidade de argamassa superficial seja suficiente às operações de acabamento. Por outro lado, misturas excessivamente plásticas, com abatimento superior a 12 são facilmente segregáveis quando não se emprega critérios de dosagens adequados e normalmente essas misturas mais fluidas exigem quase sempre o emprego de aditivos mais caros e não justificando o seu emprego.

Finalmente, a limitação do teor de ar incorporado é relativamente recente e é imposta em função da ocorrência da delaminação, patologia muito séria e que tem como uma de suas causas o teor de ar incorporado na mistura. Essa limitação tem causado alguma confusão junto aos especificadores, pois no Brasil é comum o emprego de ar incorporado em concretos de pavimentação e não há ocorrência de delaminação nessas obras; a diferença fundamental é que nos pavimentos a textura superficial é aberta – acabamento vassourado – permitindo a saída do ar, enquanto nos pisos ela é fechada – acabamento vítreo – retendo o ar sob essa camada superficial mais densa.

6. A Influência das Fibras de Polipropileno nas Propriedades do Concreto nas Primeiras Idades

O concreto reforçado com fibras de polipropileno é um tipo de compósito fibroso. Conforme sugerido nas seções anteriores 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 nas próximas seções, com base no arcabouço teórico anteriormente apresentado, justificar os efeitos das fibras de polipropileno em algumas das propriedades do concreto no estado plástico.

As fibras plásticas são empregadas no concreto de piso, sendo que 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 suas primeiras horas de endurecimento, não devendo substituir os habituais reforços para o combate da retração hidráulica, pois apresentam pouca influência sobre as propriedades do concreto endurecido (ACI, 1996).

A Portland Cement Association (PCA, 1995) desenvolveu gráficos para estimar a 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 $1\text{límetro/m}^2/\text{hora}$ é recomendada 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 $1\text{límetro/m}^2/\text{hora}$.

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 estão preenchidas com água; assim que essas partículas sólidas assentam, existe a tendência da água subir para a superfície formando um filme e esse fenômeno é conhecido por exsudação. Neste estágio a mudança de volume do concreto é muito pequena. A retração por assentamento plástico ocorre quando a exsudação é elevada e o cobrimento da armadura é reduzida. A combinação destes fatores provoca elevado grau de assentamento do concreto e se ele for restringido pela armadura, a ponto de gerar tensões internas de tração, certamente ocorrerão fissuras originadas do assentamento plástico. Deve-se notar que estas fissuras são independentes da evaporação e da secagem da superfície. Além da espessura do cobrimento, quanto maior o abatimento do concreto e o diâmetro da armadura maior a possibilidade da ocorrência de fissuras de assentamento plástico (Suprenant, 1999). As fibras de polipropileno reduzem a exsudação diminuindo o nível de assentamento, formando um micro reforço tridimensional que “suspende” ou “sustenta” os agregados, impedindo que eles assentem sob a ação da gravidade e, além disso, as fibras, conforme mencionado anteriormente, aumentam a resistência à tração nas primeiras idades. Com isso as fissuras por assentamento plástico são minimizadas.

Segunda fase - retração plástica primária ou retração por exsudação: 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 desenvolvem nos poros capilares do concreto durante a evaporação.

Terceira fase - Retração Autógena⁵: 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 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 tração com probabilidade da ocorrência de fissuras.

Nos últimos anos temos 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).

⁵ Defini-se como retração autógena, à retração que ocorre sem troca de massa com o meio ambiente, isto é, sem que haja perda de água.

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, além do que, a necessidade na redução de custos têm imposto espessuras mais arrojadas.

Como conseqüência, observa-se hoje um grande número de fissuras, cujo aspecto só pode ser explicado pela evolução das antes inofensivas fissuras plásticas.

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 como isso ocorre não seja bem conhecido, havendo 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 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 e acrílico obtiveram, para o concreto, que a redução da quantidade de fissuras variou entre 18% a 23%, 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 fluído. Aos poucos o concreto endurece e com isso perde sua fluidez e, conseqüentemente, sua capacidade de deformação,
- b) Em contra partida, 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 absorver estas deformações, e então, as fissuras aparecem;
- c) O concreto com fibras de polipropileno é mais deformável nas primeiras idades. As fibras com 80% de deformação de ruptura transferem esta capacidade de deformação para o concreto. A deformação devido à retração é a mesma, porém não maior que a do concreto com fibras. Assim as fissuras são inibidas ou sua freqüência e tamanhos são reduzidos.

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 que se observa nessas diversas pesquisas é o tipo de ensaio que foi empregado, pois os normalizados, como o ASTM C157⁶, não são adequados à determinação da retração nas primeiras idades e na verdade cada pesquisador acaba por adotar um procedimento diferente e, portanto os

⁶ ASTM C157: Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic Cement Mortar and Concrete.

ensaios tem 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 sumarizadas em:

- c) A adição de fibras sintéticas, mesmo em teores tão baixos como 0,45kg/m³ promove alguma redução na quantidade de fissuras;
- d) Reduções mais acentuadas são conseguidas com dosagens entre 0,45kg/m³ e 0,90kg/m³;
- e) Para fibras longas, aquelas que apresentam menor módulo de elasticidade são as que propiciam melhor desempenho;
- f) Para dosagens do 0,9kg/m³, tanto para as fibras de nylon como as de polipropileno, praticamente não se observou, nos experimentos, fissuras de retração plástica.
- g) A quantidade de fibras – número de fibras por quilograma – é um parâmetro importante de dosagem;
- h) Fibras longas apresentam melhor desempenho em argamassas mais pobres e concretos, enquanto que as microfibras apresentam melhores resultados nas misturas mais ricas.
- i) 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 com no usuário.

7. Caso de Obra: Pavimento em Concreto da Av. Terceira Perimetral

A Av. Terceira Perimetral é uma via expressa que inicia no Laçador, símbolo de Porto Alegre, na entrada da cidade, e cruza 20 bairros, sem passar pelo centro da capital gaúcha.

No total são 20 km de extensão, 28 m de largura com seis faixas de rolamento e um corredor de ônibus de mão dupla no centro. A obra que teve início em novembro de 1999, terá um consumo estimado de 90.000 m³ de concreto em 4 anos de execução.



Figura 7.1: vista parcial da Av. Terceira Perimetral, Porto Alegre/RS

Trecho1: Av. Senador Tarso Dutra e Rua Dr. Salvador França (até Av. Ipiranga)

O Trecho 1 teve início em novembro de 1999. Com extensão de 2,2 km e um consumo de concreto de 12.000 m³, este trecho contempla uma camada de 10 a 12 cm de CCR sob uma placa de concreto com espessura de 18 cm que foi executada utilizando-se pavimentadora.

Mesmo utilizando os procedimentos de execução de pavimentos em concreto considerados adequados para uma obra desta envergadura houve a ocorrência de fissuras de retração ao longo de toda a extensão do trecho.

Além do desgaste junto ao contratante, as fissuras trouxeram prejuízos financeiros consideráveis ao consórcio executor do pavimento pois as mesmas tiveram que receber injeção de resina epóxi para remediar os problemas ocasionados por esta patologia.



Figura 7.2: Fissura de retração plástica



Figura 7.3: Fissuras com injeção de resina epóxi

A) Trecho 2: Rua Dr Salvador França (após Av. Ipiranga) e Av. Cel. Aparício Borges

O Trecho 2 teve seu início de execução em maio de 2001. Com extensão de 2,5 km e consumo de concreto estimado de 14.000 m³, o trecho tem basicamente o mesmo projeto do anterior: camada de CCR sob uma placa de concreto de 18 cm, também executada com pavimentadora.

Haja visto, os problemas de fissuras de retração ocorridos no primeiro trecho e conseqüentes despesas extras com injeção de resina epóxi, optou-se por utilizar fibras de polipropileno para evitar tais fissuras, mesmo não tendo sido especificadas no projeto original.

Este trecho já está praticamente concluído e o desempenho está sendo considerado bastante satisfatório. As fibras são incorporadas no misturador da concreteira a uma dosagem de 600 g/m³. Por serem extremamente finas e maleáveis não ficam aparentes na superfície do concreto. Não houve alteração dos procedimentos de cura e do espaçamento entre as juntas das placas.



Figura 7.4: execução do pavimento em concreto da Av. Terceira Perimetral com fibras de polipropileno

Atualmente a utilização das fibras de polipropileno está generalizado em todo o pavimento da obra. O concreto do terceiro trecho, correspondente a Av. Carlos Gomes, também contém fibras de polipropileno para diminuir a incidência de fissuras de retração plástica. Este é o primeiro caso documentado de pavimento rígido viário no Brasil que adotou as fibras de polipropileno como alternativa as fissuras de retração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute. **ACI 302.1R- 96 Guide for concrete floor and slab construction**. Outubro, 1997, Michigan.
- Associação Brasileira de Cimento Portland. **BT – 106 Guia básico de utilização do cimento portland**. Setembro 1994, São Paulo.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7583 Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico**. Agosto 1986, Rio de Janeiro.
- 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.
- Budinski, K, G.: **Engineering Materials: properties and selection**. Prentice Hall International., 5ed, 1996. 653p. New Jersey.
- Correia, Wanderley Guimarães **Tecnologia de concreto para pavimentação**. In: Anais do Seminário sobre Pavimentos de Concreto, Ibracon, Maio 1978, São Paulo.
- Hannant, L.: **Fibre-reinforced cements and concretes**. In: J. M. ILLSTON. **Construction Materials; their nature and behaviour**. : J. M. Illston/E & FN Spon, 2ed., 1994. p. 359-403, London.
- Higgins, R. A. **Properties of engineering materials**. E. Arnold, 2ed., 1994. 495p. London.
- Hollaway, L. **Polymers and polymer composites**. In: J. M. ILLSTON. **Construction Materials; their nature and behaviour**. 2ed. J. M. Illston/E & FN Spon, 1994. p.321-358, London.
- Illston, J. M. [Ed]. **Construction Materials; their nature and behaviour**. E & FN Spon, 2ed., 1994. 518p., 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, J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. Pini, 1994. 573p., São Paulo.
- Neville, Adam M.: **Propriedades do Concreto**. Ed. Pine 2^a. 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.
- Canadian Portland Cement Association. **Design and Control of concrete mixtures**, Sixth Canadian Edition 1995. PCA 1995. Ottawa
- Rodrigues, Públio Penna F. e Ligório, Paulo Eugênio C. – **Argamassa de alta resistência mecânica para pisos**. In Seminário sobre Argamassas, Ibracon, 1985, São Paulo.
- SUPRENANT, B. A.; MALISCH, W. R. **The fiber factor**. The Aberdeen Group Hanley-Wood, Inc., Concrete Construction 1999.
- Taylor, G. D. **Materials in Construction**. Longman Scientific & Technical, 2ed, 1994. 284p., London.
- 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
- Zellers, Robert C. **An overview of synthetic-fiber-reinforced concrete**. The Aberdeen Group, Concrete Construction, 1994. Illinois.

