

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

No início do século XX, os primeiros dormentes de concreto armado imitaram, na sua concepção, a forma dos dormentes de madeira, constituídos de um bloco de concreto com seção constante. Os resultados não foram satisfatórios, pois os choques e as vibrações, oriundos das ações dinâmicas dos veículos, causavam rapidamente trincas ou fissuras na parte superior central do dormente, apesar da armação metálica colocada para resistir aos esforços de tração. Essas fissuras degeneravam, freqüentemente, em verdadeiras rupturas, devido à grande rigidez desses dormentes. No entanto, com o desenvolvimento do concreto protendido, surgiu a possibilidade de combater as fissuras no concreto, dando lugar a uma nova etapa no projeto dos dormentes de concreto.

Até a década de 40, as ferrovias geralmente utilizavam os dormentes de madeira. Entretanto, devido à escassez de madeiras de boa qualidade em muitos países e com o desenvolvimento das técnicas de protensão, a partir da 2ª Guerra Mundial houve um aumento no uso dos dormentes de concreto e, mais recentemente, estes têm sido usados também em função de suas superioridades técnicas. Mas foi com o surgimento das fixações elásticas que os dormentes de concreto protendidos ganharam grande impulso, a partir de 1947.

Segundo a FIP (1987), o número total de dormentes instalados nas ferrovias no mundo é de três bilhões, dos quais mais de quatrocentos milhões são dormentes de concreto. Dois a cinco por cento deste total têm que ser renovado todo ano. Em muitos países da Europa, na Rússia, no Japão e em alguns países da África, os dormentes de

concreto abrangem mais de 50 % da demanda anual. É estimado em cerca de vinte milhões o número total de dormentes de concreto fabricados a cada ano em todo o mundo.

O dormente é um dos elementos fundamentais da superestrutura das vias ferroviárias. Em resumo, as suas principais funções são: suportar os trilhos, manter o eixo da via constante e transmitir ao lastro as ações dos eixos dos veículos, como as horizontais (transversais e longitudinais) e as verticais. Essas funções fazem com que seja necessário dotar o dormente de uma elevada resistência, o que em geral leva a uma grande rigidez, ao mesmo tempo que também deve possuir um certo nível de elasticidade, posto que deve ser capaz de suportar altíssimas forças de impacto.

STOPATTO (1987) afirma que, no Brasil, problema na aquisição de dormentes de madeira *“está atingindo nossas ferrovias há muito tempo. Embora a aquisição de dormentes de madeira dependa também de um planejamento técnico-financeiro bem elaborado e de uma eficiente estrutura administrativa, não se pode negar as crescentes dificuldades encontradas na solução deste problema. A cada dia eles estão mais distantes e as madeiras de boa qualidade vão se tornando mais raras. Atente-se, ainda, para o fato de o desmatamento necessitar de uma disciplinada coordenação com o reflorestamento sob pena de transformarmos este imenso país num triste deserto. Indica o bom senso que outras opções para dormentes devem ser consideradas. O dormente de concreto é uma delas... Há evidente tendência para que sejam envidados todos os esforços possíveis no sentido de serem solucionados os problemas técnicos porventura existentes. E esta deve ser a política a adotar.”*

Como já é bem conhecido, os dormentes são submetidos a ações dinâmicas e altíssimas forças de impacto, decorrentes do movimento dos veículos sobre a via e imperfeições nas rodas, nos trilhos, nos suportes de rolamento e na via. Em serviço os dormentes de concreto não podem apresentar fissuras quando solicitados pelos momentos fletores de projeto, entretanto há um grande número de trabalhos publicados descrevendo a ocorrência de diferentes tipos de fissuras nos dormentes instalados em diversas ferrovias do mundo, inclusive no Brasil, resultando muitas vezes na necessidade de substituição desses dormentes.

Como os dormentes são sujeitos a carregamentos cíclicos durante a sua vida inteira, os materiais que o constituem são submetidos a intenso processo de fadiga. É desejável que o dormente fique livre de fissuras sob o carregamento dinâmico, porque se ocorrem fissuras causadas por momentos fletores, há um grande aumento de tensões na armadura de protensão e, neste caso, a fadiga na armadura pode ser crítica e causar a ruptura (FIP - 1987).

Se o carregamento causar fadiga e fissuras aparecerem, há um apreciável efeito sobre o comprimento de transferência da força de protensão dos fios ou dos cabos, e

ocorre então um aumento de até 50 % no comprimento de transferência. Para alcançar a força de protensão necessária na posição do trilho, onde normalmente atua o momento máximo no dormente, a aderência entre os fios e o concreto deve ser a melhor possível (FIP - 1987).

Para diminuir as deficiências dos materiais cimentícios, fibras curtas com alta resistência à tração e ductilidade podem ser adicionadas ao concreto para aumentar a absorção de energia (tenacidade), melhorar a resistência ao impacto e à fadiga, aumentar a resistência à flexão, controlar a fissuração e o comportamento na etapa posterior à fissuração inicial e melhorar a aderência da matriz com a armadura. E ainda, como as fibras inibem a propagação das fissuras através da matriz, tanto no estágio da retração inicial quanto na matriz endurecida, o concreto ganha maior durabilidade, o que é essencial a um elemento exposto às intempéries, como são os dormentes.

Em pesquisa realizada por VENUTI (1990) para a *Association of American Railroads* (AAR) verificou-se um aumento de 10 % na resistência última à flexão estática para dormentes com 0,15 % por volume ($1,34 \text{ kg/m}^3$) de fibras de polipropileno e um aumento de 21 % no caso de 0,57 % por volume ($44,5 \text{ kg/m}^3$) de fibras de aço. Os dormentes sem fibras e com fibras de polipropileno ruíram abruptadamente, ao contrário dos dormentes com fibras de aço que ruíram gradualmente. Em seqüência a essa pesquisa, MINDESS, YAN & VENUTI (1991) estudaram o comportamento do mesmo dormente reforçado com fibras sob ação de impacto. Concluíram que o dormente, por poder deformar-se mais até a ruptura, pôde resistir a uma maior carga máxima, e assim absorveu uma maior energia (energia de fratura) antes da ruptura. A maior tenacidade resultante da incorporação das fibras possibilitou ao dormente resistir a danos mais sérios antes da degradação completa. As forças máximas de impacto foram menores que as forças estáticas máximas.

Em ampla pesquisa realizada sobre dormente de concreto sob ação de impacto, WANG (1996) concluiu que *"a adição de fibras de aço ao concreto melhorou enormemente o comportamento do dormente, resultando em fissuras mais curtas e mais finas"*.

Sobre o projeto do dormente, WANG (1996) informa: *"Quando maiores forças foram medidas na via, o fator de impacto, e portanto a resistência do concreto, a seção transversal do dormente e a rigidez EI, foram aumentados continuamente a maiores níveis, levando a maiores forças de impacto sobre o "melhorado" dormente mais rígido. Isso foi repetidamente seguido por um aumento no fator de impacto. Dessa maneira, o benefício do melhoramento pode não ter sido tão bom quanto o esperado e a maior força de impacto pode também ter influenciado outras partes, como rodas, trilhos, etc. Assim, a flexibilidade e a ductilidade do dormente, ao invés da resistência do seu concreto, deveriam ser consideradas como os parâmetros governantes, como é largamente aceito*

no projeto de estruturas resistentes a terremotos. Uma razoável redução da resistência do concreto, da força de protensão ou da altura do dormente não influenciará a capacidade do dormente resistir ao carregamento quase-estático, porque o momento resistente do dormente é três vezes tão alto quanto o momento quase-estático exigido ou de projeto, mas pode reduzir significativamente a força de impacto aplicada. Acredita-se que essas medidas, combinadas com o uso de fibras de aço no concreto, melhorarão bastante as propriedades dinâmicas dos dormentes de concreto”.

1.1 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

Em muitos países do mundo há um crescente interesse pela aplicação de dormentes de concreto. Hoje, nos países de primeiro mundo, os dormentes monoblocos de concreto protendido e bibloco de concreto armado estão plenamente desenvolvidos e em utilização nas vias ferroviárias. A experiência tem indicado que a aplicação de dormentes de concreto resulta em vias de qualidade estrutural superior, de melhor estabilidade e desempenho e reduzida manutenção.

No início das ferrovias no século passado, devido à grande disponibilidade de florestas, os dormentes eram de madeira e aplicados em via sem tratamento químico. No Brasil, a partir de 1960, os dormentes passaram a ter tratamento químico, mas mesmo assim, a vida útil atualmente é de cerca de seis anos, que pode ser considerada extremamente baixa. Neste aspecto, a previsão do dormente de concreto é de durar ao menos 50 anos.

Com a privatização das ferrovias federais brasileiras, o investimento financeiro que certamente ocorrerá nas vias já existentes e a inexistência de madeira de lei a preços baixos, haverá a tendência de se acompanhar a evolução que acontece nos países mais desenvolvidos, ou seja, a substituição gradativa dos dormentes de madeira por dormentes de concreto. No momento por exemplo, no Rio de Janeiro, está em andamento a fabricação de 60.000 dormentes de concreto para utilização em vias de trens suburbanos. A ferrovia Ferronorte, em fase de construção entre Santa Fé do Sul (SP) e Cuiabá, está recebendo dormentes monoblocos de concreto.

Conforme o ACI 544.2R (1989), a *“capacidade de suportar ações dinâmicas e cíclicas à flexão é uma importante propriedade dos compósitos com fibras, particularmente em aplicações envolvendo ações repetidas”*. E são essas justamente as características do carregamento ao qual os dormentes de concreto ficam submetidos na via. Assim, melhorar a capacidade de absorção de energia (tenacidade) e a resistência à fadiga dos dormentes de concreto é extremamente importante.

Para o compósito com fibras de aço, o número de golpes para levar à ruptura é tipicamente de várias centenas, comparado aos 30 a 50 para o concreto simples. A energia de fratura para vigas com fibras de aço sob impacto é de 40 a 100 vezes maior do que para vigas de concreto simples. Ainda, as fibras podem ser utilizadas para inibir a fissuração e melhorar a resistência à deterioração do material, como resultado de fadiga, impacto, retração, variações de temperatura ou umidade e explosão (ACI 544.4R - 1988).

Conforme os resultados de VENUTI (1990) e WANG (1996) mostraram, o dormente monobloco reforçado com fibras deverá apresentar um acréscimo de capacidade última à flexão. Embora a incorporação de fibras possa resultar num acréscimo do custo final do dormente, com o aumento da resistência à flexão e à fadiga aferido nos ensaios, poderá ser possível diminuir as dimensões do dormente, ou diminuir o número de fios de protensão, de tal forma que o custo final permaneça próximo do relativo ao dormente sem fibras. E, mesmo se o custo inicial for um pouco superior, isto poderá ser compensado diante do melhor comportamento estrutural do dormente frente aos efeitos dinâmicos do carregamento (impactos, vibração, etc.) e melhor resistência à fadiga, além da maior durabilidade.

Por inibir e diminuir a microfissuração, as fibras deverão ser efetivas também em aumentar a resistência do concreto na região adjacente às ombreiras do sistema de fixação dos trilhos, melhorando assim o comportamento da ombreira frente aos efeitos do carregamento dinâmico a que fica submetida. Ainda, por melhorar a aderência concreto-armadura, provavelmente acarretarão uma diminuição do comprimento de transferência das forças de protensão, o que poderá tornar possível diminuir o comprimento total do dormente, e conseqüentemente a massa e o volume de concreto.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos principais da pesquisa são os seguintes:

- a) projetar um modelo de dormente monobloco de concreto protendido segundo as especificações da AREMA (1997) e o método de Zimmermann, para uma via ferroviária brasileira;
- b) por meio da realização de ensaios estáticos e dinâmicos (fadiga) no dormente projetado, fabricado com e sem fibras de aço, analisar os benefícios que as fibras de aço proporcionarão ao dormente;
- c) modificar o projeto original do dormente com o objetivo de aproveitar o acréscimo de resistência à flexão e à fadiga proporcionado pelas fibras de aço, a fim de desenvolver um dormente com melhor comportamento frente às forças de impacto e mais próximo ao dormente de madeira, ou seja, mais dúctil e flexível.

1.3 CONTEÚDO DO TRABALHO

A pesquisa consistirá de estudos teóricos e experimentais. As etapas do trabalho estão descritas a seguir em função do conteúdo de cada capítulo:

- a) **Capítulo 2:** apresenta um breve histórico dos dormentes de concreto, os primeiros modelos desenvolvidos, a evolução e os principais problemas encontrados na Alemanha, França, Inglaterra e Estados Unidos, e também alguns dos principais modelos atuais;
- b) **Capítulo 3:** apresenta os métodos utilizados para a determinação das tensões e deformações na via ferroviária, destacando-se os métodos de Zimmermann e de Talbot, e os valores usuais para o módulo de via e o coeficiente de Winkler;
- c) **Capítulo 4:** com base na bibliografia atual, descreve os conceitos fundamentais dos concretos reforçados com fibras, com ênfase às fibras de aço;
- d) **Capítulo 5:** descreve os procedimentos aplicados para a determinação do traço de dois diferentes concretos: um com 100 % de brita 1 e outro com 50 % de brita 1 e 50 % de brita 2. Mostra também as características nos estados fresco e endurecido dos dois diferentes concretos acrescidos da fibra de aço DRAMIX RC 80/60 BN, nos teores de 40 e 60 kg/m³ (aproximadamente 0,5 % e 0,75 % por volume, respectivamente);
- e) **Capítulo 6:** inicialmente descreve as principais especificações das normas AREMA (1997) e CEN (1996) relativas ao projeto dos dormentes monoblocos de concreto. Apresenta o projeto de um modelo de dormente para uma via ferroviária brasileira, com

estudos sobre a influência do comprimento e da largura da base do dormente sobre os momentos fletores solicitantes;

f) **Capítulo 7:** descreve os equipamentos, a estrutura de protensão e todos os procedimentos aplicados na fabricação dos dormentes de concreto com e sem fibras de aço;

g) **Capítulo 8:** descreve todos os ensaios estáticos e dinâmicos realizados nos dormentes com e sem fibras, bem como os resultados obtidos e a sua análise;

h) **Capítulo 9:** apresenta as conclusões e sugestões para futuras pesquisas.