

2

Revisão bibliográfica

2.1

Introdução

Neste capítulo apresentamos uma síntese dos assuntos considerados mais relevantes para a compreensão do desempenho e qualidade de um dormente de plástico reciclado reforçado com fibras. Fazemos uma abordagem geral sobre os tipos de plásticos, dormentes de plástico, comportamento do material plástico, e ensaios para determinar sua qualidade e também o comportamento mecânico deste tipo de dormentes. Oliveira (2005) informou a existência de dois grupos de pesquisas no Brasil: O IMA (Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano) da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) e o Diretório de projetos tecnológicos da Universidade Estadual Paulista, que se dedicam ao ensaio da fabricação e desenvolvimento de novos materiais, principalmente provenientes da reciclagem do plástico. De acordo com Oliveira (2005), a madeira plástica é um produto moderno, resultado de alta tecnologia industrial aplicada para transformar resíduos plásticos em peças que imitam a madeira comum. Oliveira (2007) ressalta que a expressão “madeira plástica” se aplica aos produtos manufaturados com conteúdo de plástico reciclado superior a 50% em massa e que possuam genericamente seção transversal retangular, apresentando dimensões típicas dos produtos de madeira industrializada. Por toda a versatilidade apresentada por esse produto, (Pires *et al*, 2007) informam que a madeira plástica deve substituir, em quase sua totalidade, a madeira de origem arbórea, sendo desenvolvida em função dos seus vários campos de aplicação. Entre eles podemos destacar as áreas de construção civil e de transporte ferroviário.

2.2

Considerações gerais a respeito dos plásticos

Os plásticos são materiais obtidos a partir das resinas sintéticas (polímeros) derivadas do petróleo. A palavra plástico vem do grego *plastikós*, que significa

adequado à moldagem. Hoje o plástico está presente em um grande número de objetos comumente utilizados: embalagens, sacos de lixo, objetos de uso pessoal, garrafas de refrigerantes, entre outros. Apesar de o primeiro plástico, a celulose, ter surgido em 1864, foi durante a II Guerra Mundial, há pouco mais de sessenta anos, que sua utilização industrial se desenvolveu. O petróleo, extraído do subsolo e levado para as refinarias, tem seus diferentes derivados separados. Um destes é a nafta, que é fornecida para as indústrias petroquímicas e que dá origem aos gases eteno e propano assim como a outros subprodutos que por sua vez são transformados através de processamento químico especial nas resinas plásticas ou polímeros. O plástico vem tendo sua utilização cada vez mais disseminada em todos os setores industriais e, por sua versatilidade e propriedades físico-químicas, tem substituído com vantagens a madeira, metais, ligas metálicas, vidro, papel, fibras vegetais e animais, pois muitos destes já estão escassos na natureza ou têm um custo de produção mais elevado. (Ambientebrasil, 2011)

2.3

Principais tipos de plásticos

De acordo com suas características, os plásticos se dividem em dois grupos: os termorrígidos ou termofixos, e os termoplásticos. Os plásticos termofixos são aqueles que não se fundem, assim, uma vez moldados e endurecidos, não oferecem condições para reciclagem. São apresentados como mistura de resíduos de plástico e são moldados submetendo-os a certa temperatura e pressão. Como exemplos deste tipo de plástico temos as telhas transparentes, o revestimento do telefone, o material do orelhão e de inúmeras peças utilizadas na mecânica em geral e especificamente na indústria automobilística. Por outro lado, os termoplásticos são aqueles que amolecem ao serem aquecidos, podendo ser moldados. Uma vez resfriados endurecem e tomam uma determinada forma. Como esse processo pode ser repetido várias vezes, esses plásticos são reaproveitados. O termoplástico reciclado não pode ser empregado em embalagens de alimentos, a fim de evitar contaminações provenientes de tintas e produtos tóxicos, porém, podem voltar na forma de baldes, mangueiras, sacos de lixo e outras modalidades. Exemplos de plásticos recicláveis são: potes de todos os tipos, sacos de supermercados, embalagens para alimentos, vasilhas, recipientes

e artigos domésticos, tubulações e garrafas PET, que convertidas em grânulos são usadas na fabricação de cordas, fios de costura, cerdas de vassouras e escovas. Os não recicláveis são: cabos de panela, botões de rádio, pratos, canetas, bijuterias, espuma, embalagens a vácuo, fraldas descartáveis. (Ambientebrasil,2011)

2.4

Reciclagem do plástico

O lixo brasileiro contém de 5 a 10% de plástico, segundo o local de coleta. Este plástico residual, assim como o vidro, ocupa um considerável espaço no meio ambiente. Assim, deveria ser recuperado e reciclado. A reciclagem de plástico exige cerca de 10% da energia utilizada no processo primário Ambientebrasil, (2006)

Do total de plásticos produzidos no Brasil, somente 15% são reciclados. Um dos empecilhos é a grande variedade de tipos de plásticos. A fabricação de plástico reciclado economiza 70% de energia, considerando todo o processo desde a exploração da matéria-prima principal até a formação do produto final. Além disso, se o produto descartado permanecer no meio ambiente, pode causar poluição. O plástico reciclado tem muitas aplicações, tanto nos mercados tradicionais das resinas virgens, quanto em novos mercados. A seguir são listados alguns exemplos de reutilização do plástico na atualidade:

- Garrafas e frascos, exceto para contato direto com alimentos e fármacos.
- Baldes, cabides, pentes e outros artefatos produzidos pelo processo de injeção.
- Cerdas, vassouras, escovas e outros produtos que sejam produzidos com fibras.
- Sacolas e outros tipos de plásticos.

2.5

Dormentes ferroviários

Segundo Porto (2006), dormente é o elemento da superestrutura ferroviária que tem por função receber e transmitir ao lastro os esforços produzidos pelas ações dos veículos, servindo de suporte dos trilhos, permitindo a sua fixação e mantendo invariável a distância entre eles. Para cumprir essa finalidade é necessário que:

- As suas dimensões, no comprimento e na largura, forneçam uma superfície de apoio suficiente para que a taxa de trabalho no lastro não ultrapasse certo limite;
- A sua espessura lhe dê a rigidez necessária, permitindo alguma elasticidade;
- Tenha suficiente resistência aos esforços;
- Tenha durabilidade;
- Permita, com relativa facilidade, o nivelamento do lastro, na sua base;
- Se oponha eficazmente aos deslocamentos longitudinais e transversais da via;
- Permita uma boa fixação do trilho, isto é, uma fixação firme, sem ser excessivamente rígida.

Na Figura 2-1 apresentamos um esquema com os principais elementos de uma ferrovia.

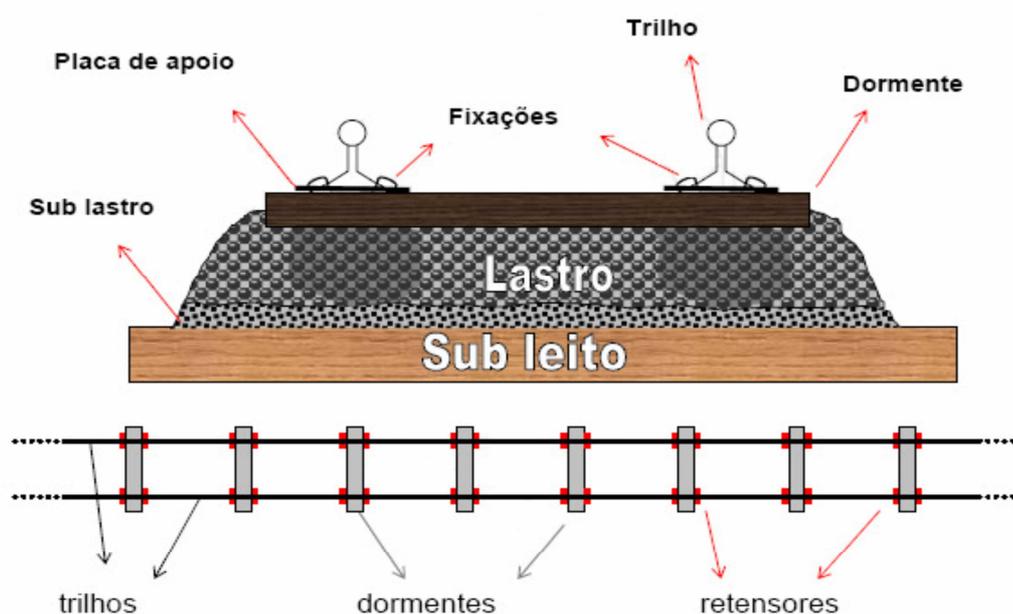


Figura 2-1 Elementos de uma via férrea. (Porto, 2002).

2.6

Dormentes Plásticos

Segundo Oliveira (2005), diversos tipos de plástico podem ser utilizados para a obtenção dos dormentes plásticos, tais como, PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), PEAD (Polietileno de Alta (Densidade), PET (Politereftalato de Etila), PVC (Policloreto de Vinila), PP (Polipropileno). Pacheco e Macedo (2008)

informaram que a produção exige conhecimentos nas áreas de misturas poliméricas e de processamento de polímeros. Teixeira (2000) explica que o plástico funciona como aglutinante, dando liga ao material do dormente. Os dois componentes já triturados são colocados em uma prensa. O polietileno derrete sob calor e envolve o dormente, fazendo com que tudo se misture e esta mistura, ao esfriar, se solidifica. O processo produtivo é feito basicamente por extrusão contínua e o equipamento necessário para este processo é basicamente uma máquina para a mistura do plástico com serragem. Para facilitar o entendimento do processo produtivo, apresentamos na Figura 2-2 um fluxograma de produção do material para produzir madeira plástica. Por último, estes dormentes não precisam de equipamento especial para serem instalados na via férrea.

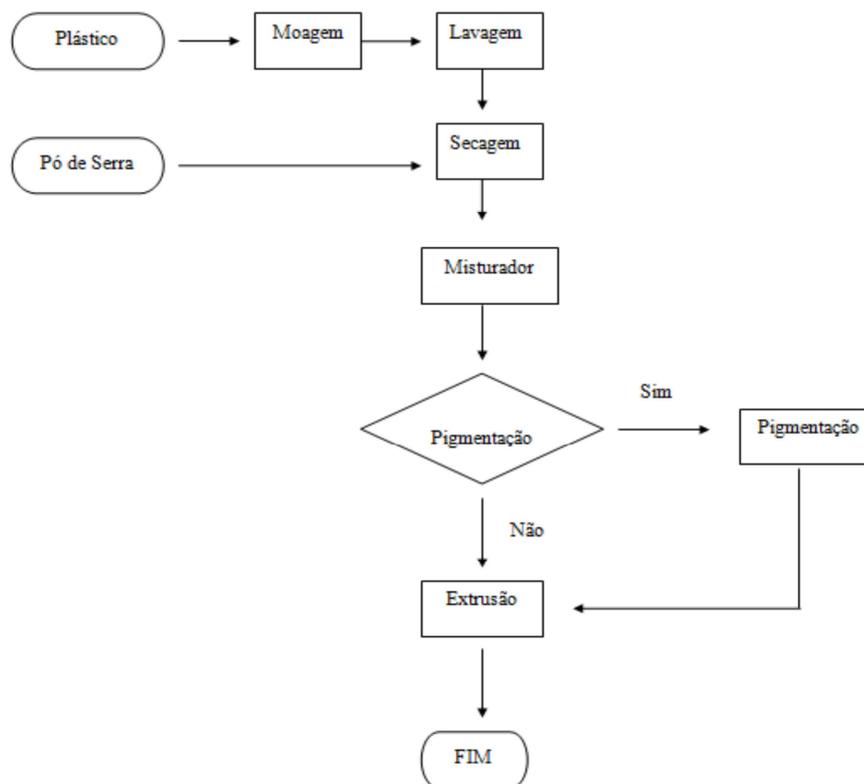


Figura 2-2 Fluxograma de produção de madeira plástica. (Oliveira, 2007).

2.7

Tipos de comportamento mecânico do plástico

Os plásticos se comportam de maneira diferente da madeira, do aço e do concreto. Quando se objetiva viabilizar o plástico como material estrutural, é

importante observar minuciosamente e claramente os fundamentos teóricos que tratam das suas propriedades mecânicas e dos seus modelos preditivos.

A Figura 2-3 ilustra a diferença do diagrama da deformação ao longo do tempo para materiais elástico, viscoso e viscoelástico, quando sujeitos à tensão constante. Esta tensão é aplicada no tempo $t = 0$ e mantida constante em um tempo t_1 Figura 2-3 a. Como apresentada na Figura 2-3 b, a resposta da deformação de um corpo-de-prova elástico tem a mesma forma da tensão aplicada. Na aplicação da força, a deformação alcança, instantaneamente, um valor ϵ_0 e permanece constante.

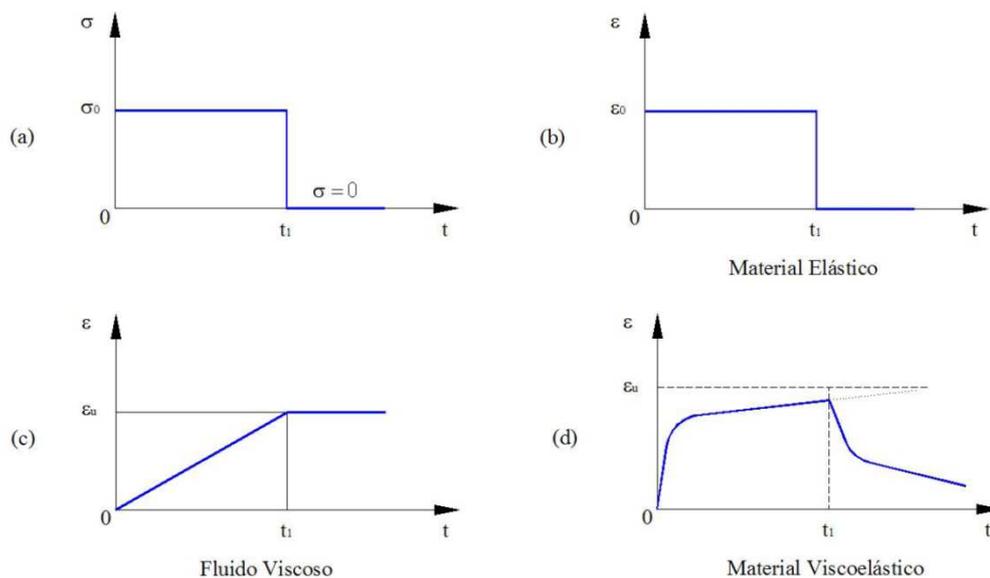


Figura 2-3 Comparação da deformação para os materiais elásticos e viscoelásticos submetidos à uma tensão constante durante o tempo t_1 (Haddad, 1995).

Para um fluido viscoso, Figura 2-3 c, o material flui a uma taxa constante e a resposta da deformação é proporcional ao tempo. Já para o corpo-de-prova viscoelástico (Figura 2-3 d), existe um aumento relativamente rápido nas deformações para pequenos valores de t , imediatamente após a aplicação da força. Com o aumento de t_1 a inclinação da tangente da curva diminui e se aproxima de zero ou de um valor finito. Com a remoção da força no tempo t_1 , as deformações se recuperam como mostrado na figura 2-3. O sólido perfeitamente elástico

recupera a totalidade da deformação instantaneamente (Figura 2-3 b). No entanto, no corpo-de-prova viscoelástico a parte que corresponde à deformação elástica instantânea é recuperada rapidamente e a parte da deformação elástica retardada da resposta precisa de um tempo maior para ser recuperada (Figura 2-3 d).

Segundo Lethsich (1950) apud Haddad (1995), em um estado de tensão constante, a deformação de um material viscoelástico por fluência pode ser dividida, com referência à Figura 2-4, em três componentes:

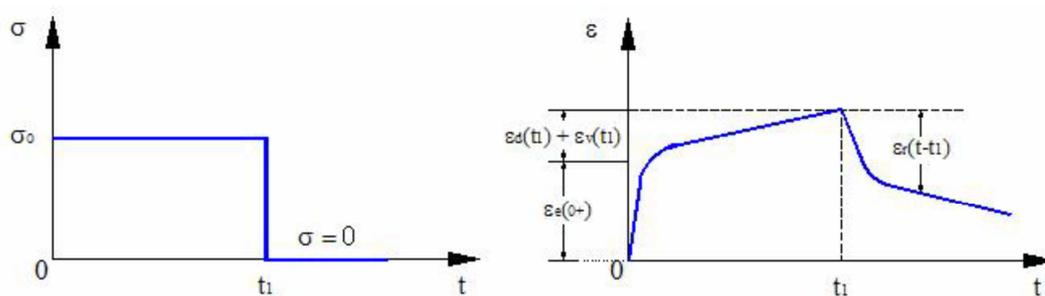


Figura 2-4 Deformações de um material viscoelástico submetido à uma tensão constante durante o t_1 (Haddad, 1995).

- Deformação elástica instantânea $\epsilon_e(0^+)$. Essa parcela é atribuída às deformações das ligações moleculares, incluindo a deformação das ligações fracas de Van de Waals entre as cadeias moleculares. Essa deformação é reversível (Ward, 1983 e Haddad, 1995).
- Deformação elástica retardada $\epsilon_d(t)$. A taxa de crescimento dessa parcela da deformação diminui rapidamente com o tempo. Também é elástica, mas, depois da remoção da força, requer um tempo maior para uma completa recuperação. É geralmente chamada de “fluência primária” ou “efeito elástico posterior” (Haddad, 1995).
- Fluidez viscosa $\epsilon_v(t)$. A fluidez viscosa é um componente irreversível da deformação, que pode ou não aumentar linearmente com a aplicação das tensões. Em um material polimérico, é característico o escorregamento intermolecular. No descarregamento do corpo-de-prova viscoelástico no tempo t_1 , a resposta elástica instantânea ocorre rapidamente e a resposta elástica retardada se manifesta gradualmente, mas a fluidez viscosa permanece. (Ward, 1983, apud Haddad, 1995).

2.8

Propriedades mecânicas dos Plásticos

Uma particularidade dos plásticos é seu comportamento viscoelástico: suas propriedades mecânicas agregam características dos líquidos viscosos e dos sólidos elásticos. Essa natureza explica o seu comportamento complexo dependente do tempo, da temperatura e da taxa de deformação. Os fenômenos da fluência e da relaxação das tensões também são verificados nos plásticos, como conseqüência da sua natureza viscoelástica. A fluência é a denominação dada ao aumento das deformações para um nível de tensões constantes. O comportamento restaurador do plástico, quando descarregado, tem sua explicação a partir do mesmo princípio da fluência. Na relaxação, ou seja, admitida uma deformação constante ao longo do tempo, as tensões necessárias para mantê-la são reduzidas ao longo do tempo Crawford (1987). Conforme é ilustrado na Figura 2-5, quando se aplica uma força, ocorre uma primeira deformação, instantânea, que representa a parcela elástica (intervalo O–A). Com a manutenção das tensões, ocorre o fenômeno da fluência, que aumenta as deformações. Este trecho é chamado de parcela viscoelástica (intervalo A–B). A restauração das deformações, quando se descarrega o material, ocorre de maneira similar. Tem-se, inicialmente, uma parcela de restauração elástica (intervalo B–C) que acontece instantaneamente, e, ao longo do tempo, a restauração viscoelástica (intervalo C–D).

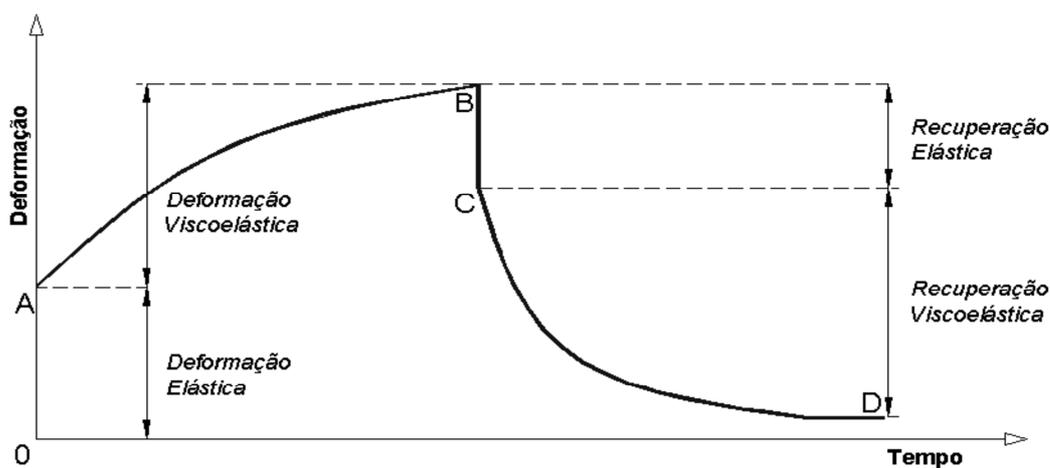


Figura 2-5 Fluência e recuperação de um material plástico (Crawford 1987).

A fluência pode também levar o material à ruptura, como conseqüência das deformações excessivas. Esse fenômeno é conhecido como fadiga estática (Crawford, 1987). As propriedades mecânicas supracitadas, no entanto, podem variar em função de vários fatores, tanto externos como intrínsecos ao material. A Tabela 2.1 resume algumas causas e os efeitos no módulo de elasticidade e na flexibilidade.

Tabela 2-1 Relações entre a rigidez e a flexibilidade. (Crawford, 1987).

Causa	Efeito	
	Módulo de Elasticidade	Dutilidade
Redução da temperatura	↑ aumenta	↓ diminui
Aumento da taxa de deformação	↑ aumenta	↓ diminui
Campo multiaxial de tensões	↑ aumenta	↓ diminui
Incorporação de plastificante ¹	↓ diminui	↑ aumenta
Incorporação de material emborrachado	↓ diminui	↑ aumenta
Incorporação de fibras de vidro	↑ aumenta	↓ diminui
Incorporação de material particulado	↑ aumenta	↓ diminui

1-Substância adicionada ao plástico com a função de torná-lo mais flexível.

2.9

Ensaio de fluência em dormentes de plástico reciclado

Jordan e Morris (2006) realizaram ensaios de fluência em quatro dormentes com placa base (placa onde se assegura o trilho no dormente). Os dormentes foram chamados P30, P31, P26 e P29. Os dormentes P30 e P31 foram submetidos a seis e sete ciclos de carregamento respectivamente, aumentando a carga até atingir um valor máximo de 200KN, e calculando-se as rigidezes em cada ciclo. Nas Figuras 2-6 e 2-7 é apresentada a variação da deformação no tempo dos quatro últimos ciclos de carregamento dos dormentes P30 e P31, respectivamente. Nas Figuras 2-6 e 2-7 cada ciclo de carregamento é iniciado no tempo $t = 0$, por conveniência de apresentação. Dado que o plástico reciclado é um material viscoelástico, as rigidezes dos dormentes decrescem com o tempo de aplicação de

carga. Além disso, quando um ciclo de carga é feito em um período curto de tempo as rigidezes tendem a ser maiores no ciclo seguinte, devido ao fato de sua recuperação elástica ser menor. Este é o exemplo quando os trens passam sobre os dormentes. Visto que as rigidezes tendem a ser similares quando os dormentes foram carregados depois de um tempo de espera, conclui-se que o dormente não tem dano cumulativo para uma carga de 150 kN. No entanto, para uma carga de 200 kN o dormente sofreu danos irreversíveis. Nos dormentes P30 e P31, a deformação permanente foi menor que 1 mm após uma carga de 100kN ter sido mantida, menor que 1,4mm para uma carga de 150 kN, e menor que 2,5mm para uma carga de 200 kN. O aumento de deformação permanece com aplicação da carga; a carga máxima foi de 200 kN 78% da carga de fratura e o deslocamento foi mínimo para este tipo de dormentes.

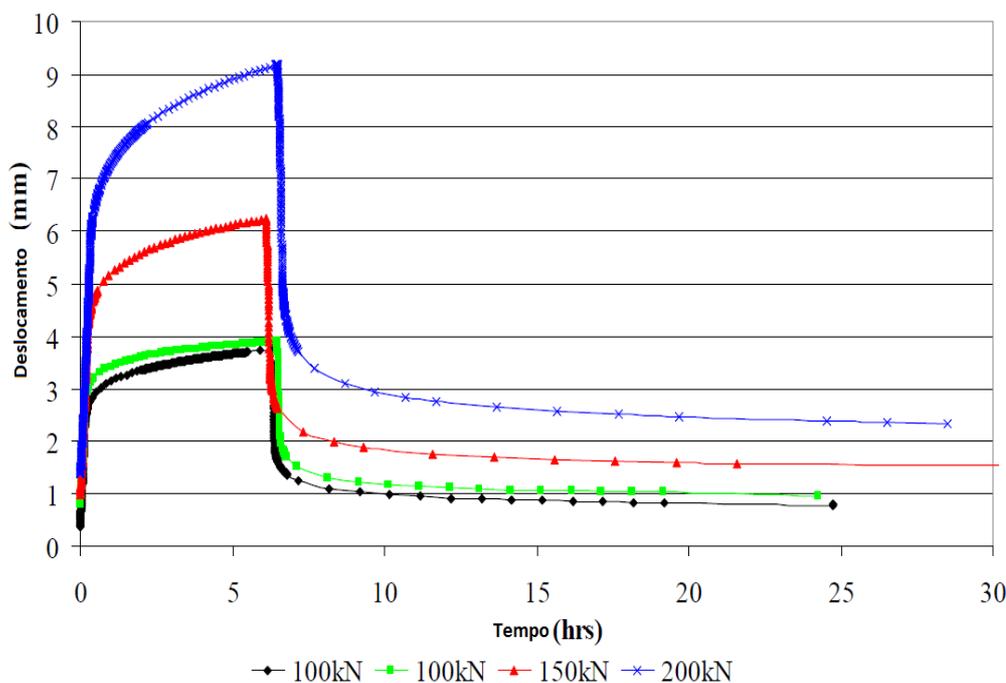


Figura 2-6 Variação do deslocamento com o tempo no ensaio de fluência no corpo de prova P30. (Jordan e Morris, 2006).

A Figura 2-7 apresenta os quatro últimos ciclos de carregamento no ensaio para o corpo de prova P31 em um ensaio de fluência de cinco ciclos de carregamento, iniciando-se com 100 kN. Devemos observar que os resultados para o ensaio de 7 ciclos e para o de 5 ciclos são muito similares.

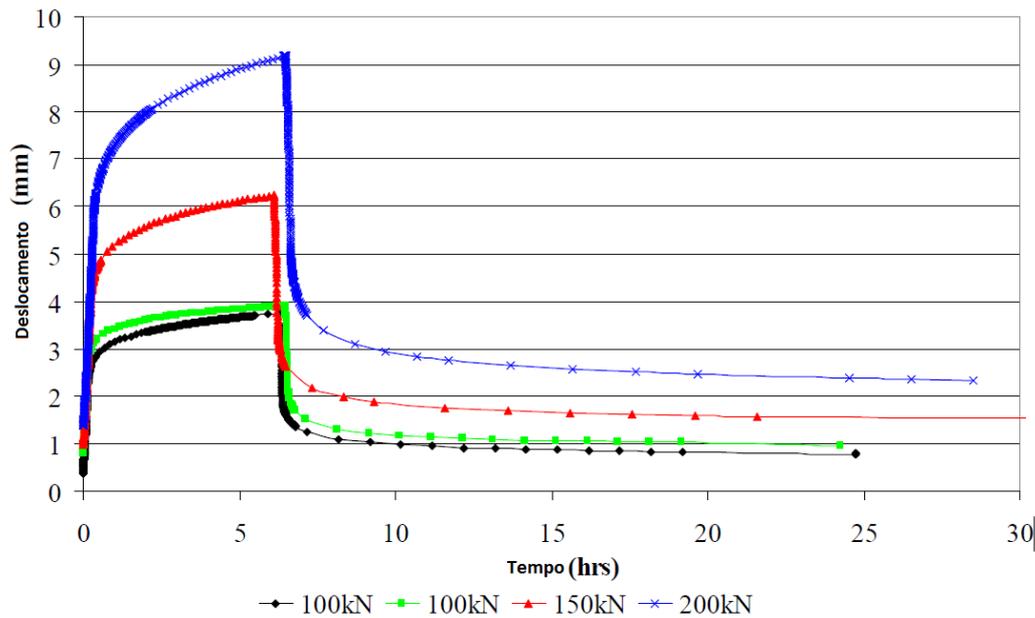


Figura 2-7 Variação do deslocamento com o tempo no ensaio de fluência para o corpo de prova P31 (Jordan e Morris, 2006).

2.10

Ensaio de flexão

Dumont e Campos (2006), realizaram ensaios em dormentes de plástico fabricados pela empresa Wisewood no ano 2006 no laboratório da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Os diagramas das Figuras 2-8 e 2-9 apresentam os resultados de carga aplicada versus deslocamentos para momento negativo no centro do dormente número 1, e momento positivo no centro do dormente 6 respectivamente. Ambos os ensaios foram feitos até a ruptura. O carregamento foi completamente retirado e reaplicado, no caso do dormente 1, e parcialmente retirado, no caso do dormente 6, gerando curvas de histerese. A Figura 2-10 apresenta a velocidade com que o ensaio do dormente 6 foi realizado, no qual vemos claramente a resposta viscoelástica do material, com um pequeno resíduo plástico, conforme era esperado, o que também está caracterizado na Figura 2-8. A Figura 2-10 ilustra o comportamento viscoelástico do material, mas não podemos chegar a mais conclusões sobre esta interessante propriedade dos polímeros, por falta de dados. Uma revisão bibliográfica que aborda este aspecto, e que pode ser de grande importância para o comportamento a longo tempo de

dormentes de polímero, pode ser encontrada na Seção 6 do trabalho feito por Jordan e Morris (2006).

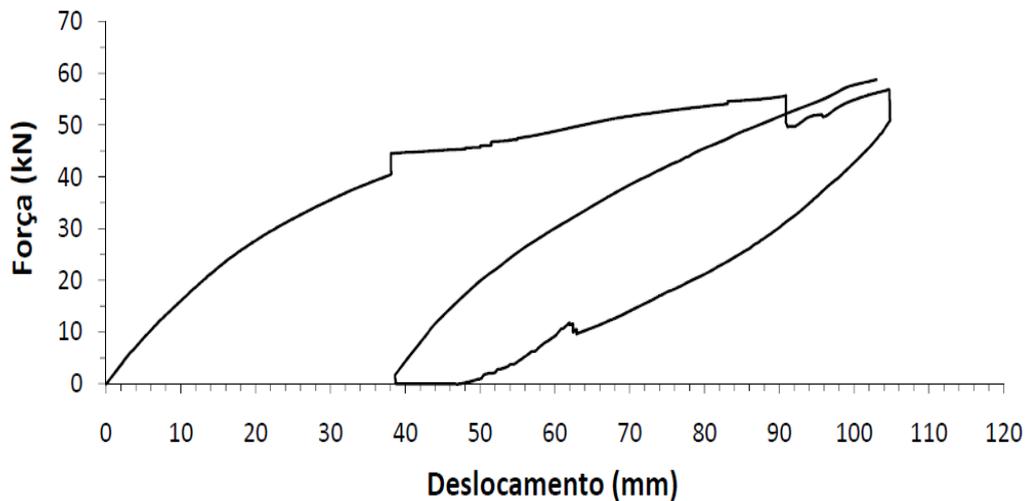


Figura 2-8 Deslocamento medido nos ensaios de carga vertical do dormente 1 (Dumont e Campos, 2006).

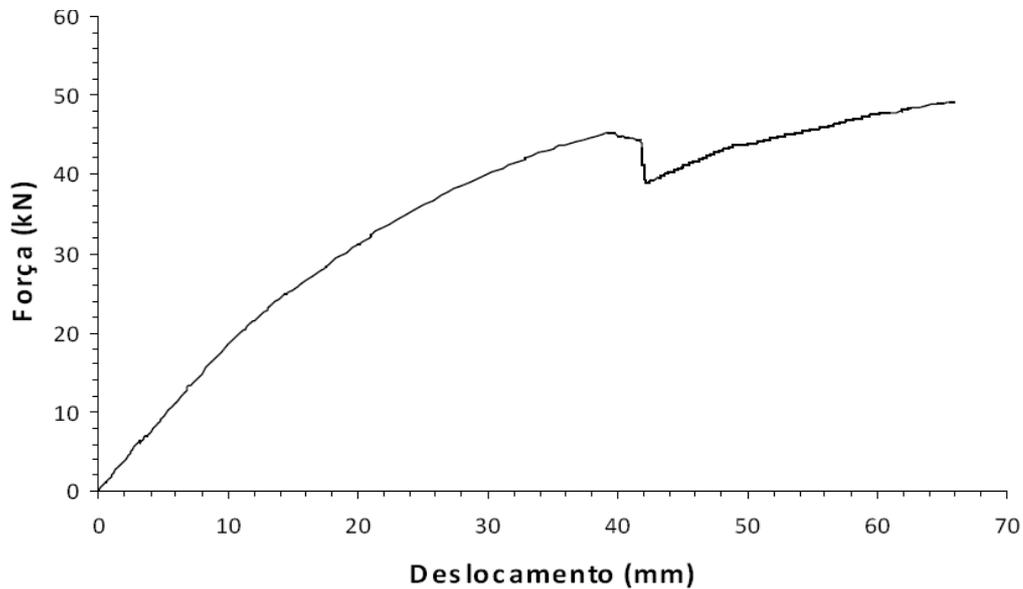


Figura 2-9 Deslocamento medido nos ensaios de carga vertical do dormente 6 (Dumont e Campos, 2006).

Os valores suportados pelos dormentes 1 e 6 estão nas duas primeiras linhas da Tabela 2-2.

Tabela 2-2 Síntese dos resultados das cargas verticais máximas obtidas (Dumont e Campos, 2006).

Teste	Dormente 1 (sem placa de apoio) P_{max} (kN)	Dormente 5 (com placa de apoio) P_{max} (kN)	Dormente 6 P_{max} (kN)	AREMA (para dormente de concreto)
Carga vertical no centro: momento negativo (L = 167,5 cm)	58,7 (com ruptura)	– –	– –	44,9 kN
Carga vertical no centro: momento positivo (L = 167,5 cm)	– –	– –	49,1 (com ruptura)	31,52 kN
Carga vertical na sede do trilho: momento negativo (L = 76,8 cm)	79,1 (sem alterações)	66,5 (sem alterações)	– –	79,1 kN
Carga vertical na sede do trilho: momento positivo (L = 76,8 cm)	126,3 (com ruptura na região do tirefond)	155,0 (sem ruptura)	– –	171,9 kN

Segundo o item 4.4.1.2 da norma AREMA (2003), um dormente de concreto deve suportar uma carga para um ensaio de momento positivo no centro, conforme aplicado no dormente 6, que produza um momento fletor $M = B.V.T$. Sendo M no caso equivale a $PL/4$, B é um fator, tirado da Figura 30-4-3 da AREMA, que se refere ao comprimento e espaçamento do dormente, V é um fator de velocidade do comboio que pode ser visto da Figura 30-4-4 da AREMA (2003), e T é um fator de tonelagem anual tirado também da Figura 30-4-4. No presente ensaio foram obtidos, para dados da linha férrea da MRS, os fatores: $B = 37,5$ kNm, $T = 1,1$ e $V = 0,8$. Com isso, temos um valor de carga $P = 78,8$ kN que o dormente de concreto deve suportar para o momento positivo no centro, e uma carga de 171,9 kN para o momento na sede dos trilhos. Ainda no item 4.4.1.2 da AREMA (2003) é informado que o uso de palmilhas pode atenuar o efeito da passagem do comboio, sendo uma opção do engenheiro usar os fatores de atenuação dados na Tabela 30-4-1 da AREMA. Como um dormente de polímero é, por natureza, uma grande palmilha, apresentamos na última coluna da Tabela 2-3 os valores fatorados que os dormentes de polímero deveriam suportar pela aplicação da norma AREMA para concreto. Os ensaios de flexão são, portanto,

satisfatórios, mesmo na comparação indevida com a norma da AREMA para dormentes de concreto protendido. A norma da AREMA (2006) para dormentes de materiais compostos não faz menção às exigências da AREMA (2003), mas, entre outros diversos requisitos adequados ao desempenho que pode ser esperado de um dormente de polímero, preconiza na Tabela 30-5-1 e para uma seção transversal efetiva calculada de acordo com a norma ASTM D6109, um valor mínimo para o módulo de elasticidade inicial que o material do dormente deve apresentar e uma tensão longitudinal mínima que deve ocorrer na ruptura. Para o chamado ensaio dos “três pontos”, como descrito nesta seção, o deslocamento do dormente no meio do vão e a tensão máxima numa fibra do dormente são dados pela expressão 2.1, em função do momento de inércia I , para uma seção transversal de base b e altura h :

$$d = \frac{PL^3}{48EI} \quad \sigma = \frac{PLh}{8I} \quad I = \frac{bh^3}{12} \quad (2.1)$$

Os valores alcançados para carga vertical no centro dos dormentes 1 e 6, apresentados na Tabela 2-3 e segundo as Figuras 2-8 e 2-9, permitem calcular, seguindo a indicação da ASTM D 6109, os valores de módulo de elasticidade tangente e de tensão na ruptura, que são apresentados na Tabela 2-3, que também apresenta os valores mínimos recomendados na Tabela 30-5-1 da AREMA (2006). A determinação dos parâmetros descritos pela expressão 2.1 foi realizada adotando-se $b = 23$ cm e $h = 15$ cm para os dormentes 1 e 6, como uma aproximação da seção transversal equivalente, mas que na realidade varia ao longo do vão. Vimos que valores ligeiramente diferentes destes não levariam a resultados comprometedores. Portanto, os resultados dos ensaios são amplamente satisfatórios em comparação com os critérios da norma da AREMA (2006), e mais adequados que os da norma da AREMA (2003).

Tabela 2-3 Ensaio de carga vertical no centro dos dormentes de madeira para comparação (Dumont e Campos. 2006).

Teste de momento	Dormente de madeira macia	Dormente de madeira dura
	$P_{\text{máx}}$ (kN)	$P_{\text{máx}}$ (kN)
Carga vertical no centro (L = 167,5 cm)	217 (sem ruptura)	99,7 (com ruptura)

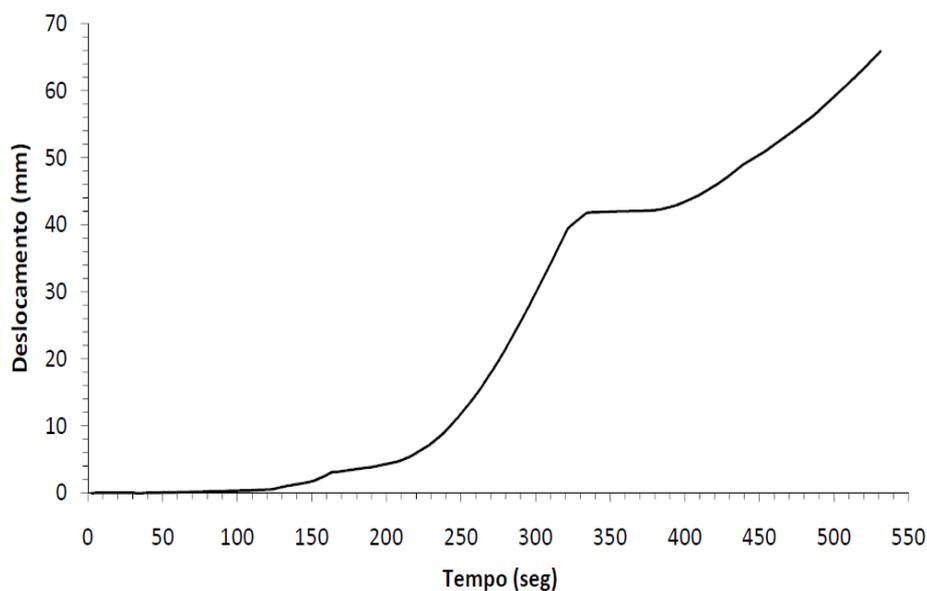


Figura 2-10 Velocidade de deslocamento medida no ensaio de carga vertical no centro do dormente 6 (Dumont e Campos, 2006).

O dormente 1 tem uma grande capacidade de deformação: a ruptura se deu para o deslocamento do centro do dormente superior a 10 cm, como pode ser observado na Figura 2-8. Como a parte central do dormente tem uma seção transversal mais alta, a ruptura se deu não exatamente na seção central do dormente, mas na seção transversal vizinha, onde há mudança brusca da geometria, sendo a falha praticamente perpendicular ao eixo do dormente, e provavelmente começando na zona de tração. A ruptura aconteceu repentinamente, podendo-se apenas supor, em concordância com observação de Morris e Jordan (2006) para dormentes de outro tipo de polímero, que tenha

ocorrido imediatamente após o surgimento da primeira trinca de tração. Tendo em vista a rápida propagação da trinca, houve uma súbita liberação de energia, que lançou as duas partes dos dormentes a uma distância de cerca de um metro da sua posição, havendo tempo para que o material se rompesse aos poucos num comportamento viscoplástico, que se caracteriza supostamente pela cor esbranquiçada. Após um curto período de tempo, em que a trinca se propagou de maneira relativamente lenta, houve a ruptura brusca de todo o resto da seção. Quando a trinca alcançou a parte superior da viga, a súbita liberação de energia das fibras que estavam inicialmente comprimidas lançou as duas metades do dormente para longe.

É interessante notar que de acordo com a suposição acima, a ruptura do dormente 1, no ensaio feito por Dumont e Campos (2006), iniciou-se nas fibras internas, na região de transição entre o polímero mais denso e o núcleo menos denso. Este dormente teve uma capacidade de deformação menor do que no caso do momento negativo, provavelmente porque a mudança brusca de geometria da seção transversal, próximo ao centro do dormente, propicia o surgimento de deformações maiores e, finalmente, de uma trinca. Vimos que a ruptura deve ter começado por uma trinca na parte inferior, propagando-se bruscamente em uma forma sinuosa até a fibra superior. Vimos, também, a formação de uma zona esbranquiçada na parte mais baixa do dormente, onde deve ter se iniciado um processo de ruptura viscoplástica. O deslocamento relativo entre as duas metades do dormente 6 foi menor do que no caso do dormente 1, o que é consistente com o fato de a ruptura ter acontecido para uma carga menor e com menos deformação acumulada, portanto, com menos liberação de energia. A parte esbranquiçada da seção rompida do dormente 6 é menor que no caso do dormente 1, por ter ocorrido mudança de geometria da seção transversal (e para a máxima tensão normal) apesar de ser uma região de grande densidade do polímero.

Tabela 2-4 Propriedades mecânicas dos dormentes obtidas para carga vertical no centro (Dumont e Campos, 2006).

	Dormente 1 (momento negativo)	Dormente 6 (momento positivo)	Tabela 30-5-1 AREMA (2006)	Dormente de madeira macia	Dormente de madeira dura
E	2,62 GPa	2,84 GPa	1,17 GPa	19,48 GPa	11,1 GPa
σ_{\max}	28,5 MPa	23,8 MPa	13,8 MPa	80,3 MPa	36,8 MPa

Foram feitos também ensaios com dormentes de madeira para comparação com o material polimérico. Os diagramas de força aplicada versus deslocamentos são apresentados nas Figuras 2-12 e 2-13, com valores máximos sintetizados na Tabela 2-4. Dois instantes de ensaios destes dormentes estão ilustrados nas Figuras 2-10 e 2-11. A comparação dos resultados da Tabela 2-3 com os resultados das duas primeiras linhas da Tabela 2.3, assim como em duas colunas da Tabela 2-2 mostram que os dormentes de madeira são mais rígidos e resistentes que os dormentes de polímero. O dormente de madeira dura mostrou-se menos rígido que o dormente de madeira macia rompendo com uma carga menor. Por apresentar um nó, levou à formação de uma trinca e à ruptura por cisalhamento próximo a um dos apoios,

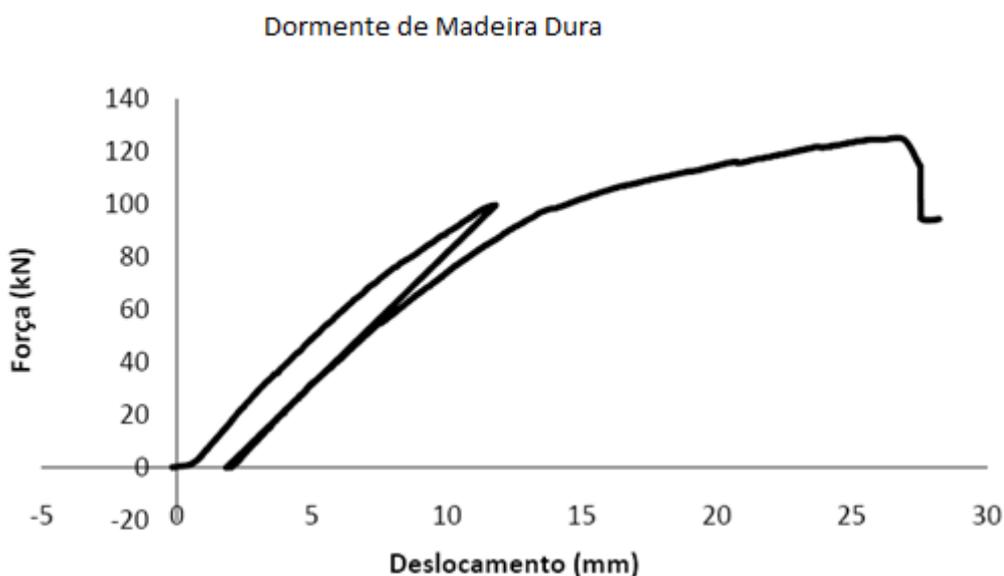


Figura 2-11 Deslocamentos medidos nos ensaios de carga vertical do dormente de madeira dura (Dumont e Campos, 2006).

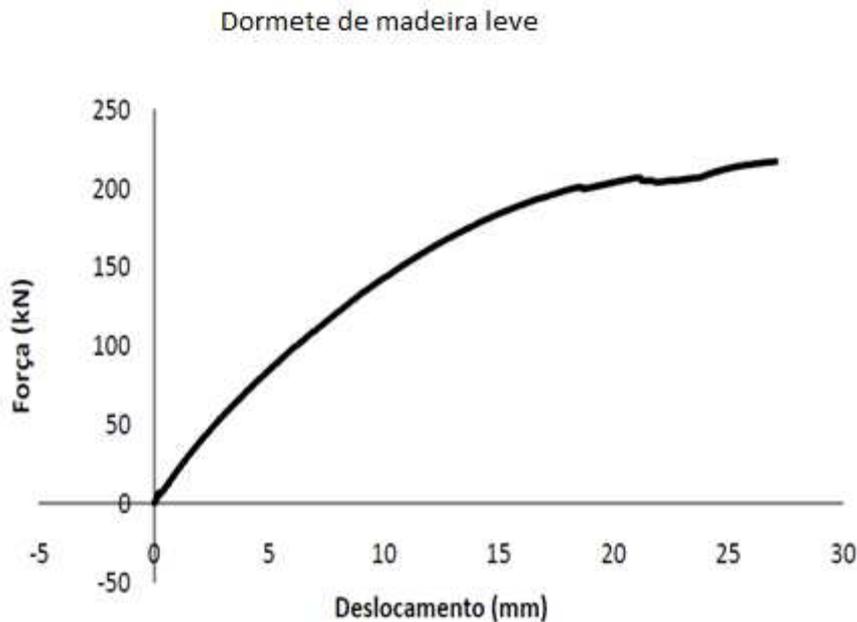


Figura 2-12 Deslocamentos medidos nos ensaios de carga vertical do dormente de madeira dura (Dumont e Campos, 2006).

Um dos dormentes, denominado 5, foi serrado ao meio e uma das metades, provida de uma placa fornecida pela MRS e adequadamente fixada por tirefonds, a qual foi utilizada para o ensaio de momento negativo e, em seguida, de momento positivo no lugar onde se apoiam os trilhos. Os resultados não mostraram alteração do dormente para a intensidade de carga sugerida pelas normas, segundo a Tabela 2-2, tanto para momento negativo quanto para momento positivo. No último ensaio, desistiu-se de obter a ruptura quando a carga estava em 155 kN, pelo fato de o dormente se encontrar extremamente enrijecido pela presença da placa de apoio dos trilhos. As Figuras 2-13 e 2-14 apresentam curvas carga versus deslocamento e de velocidade de aplicação da carga, para o ensaio de momento negativo. O mesmo se repete nas Figuras 2-15 e 2-16, para o ensaio de momento positivo.

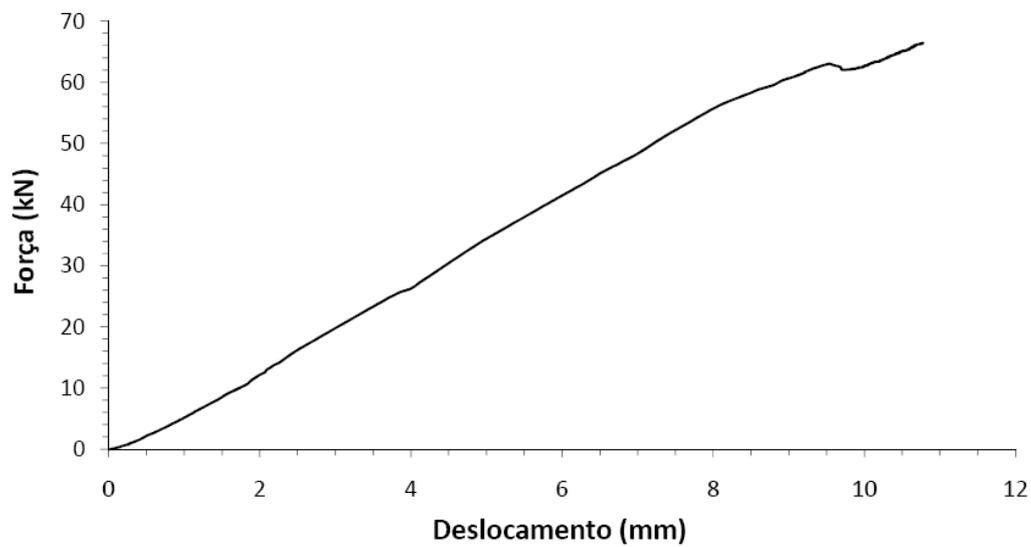


Figura 2-13 Curva de carga versus deslocamento para ensaio de momento negativo na sede do trilho do dormente 5 com placa (Dumont e Campos, 2006).

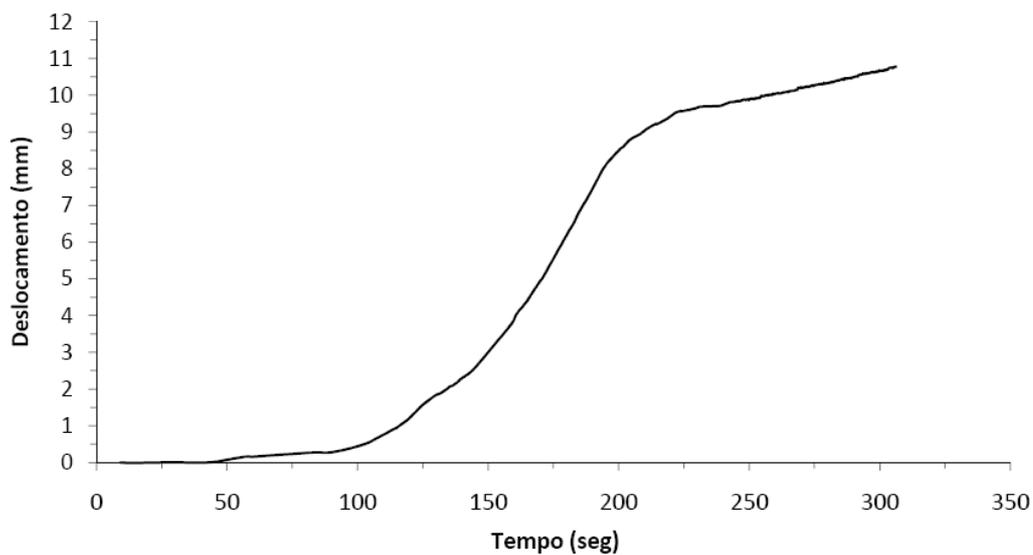


Figura 2-14 Curva deslocamento versus tempo de aplicação de carga para ensaio de momento negativo na sede do trilho do dormente 5 com placa base (Dumont e Campos, 2006).

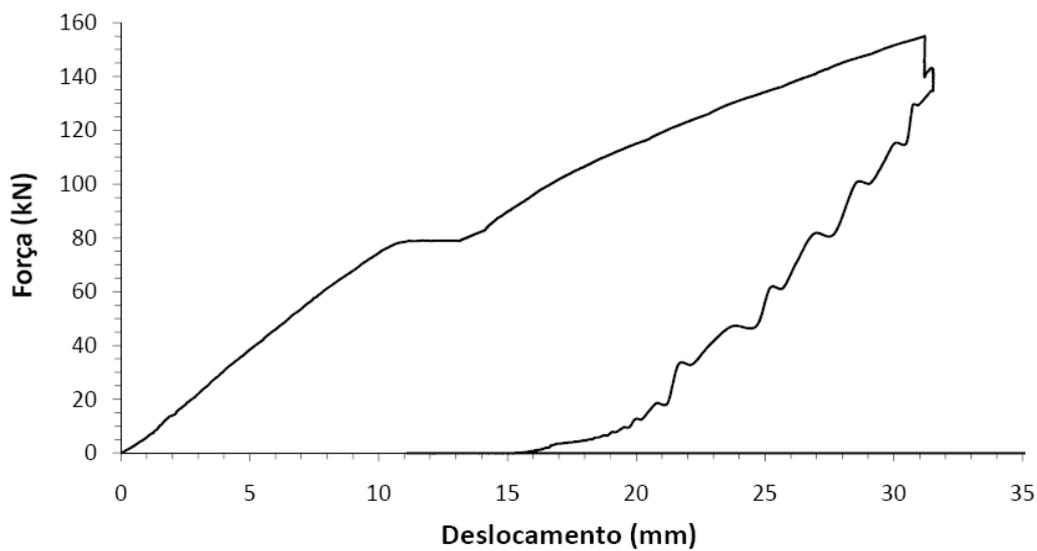


Figura 2-15 Curva força versus deslocamento para ensaio de momento positivo na sede do trilho do dormente 5 com placa base (Dumont e Campos, 2006).

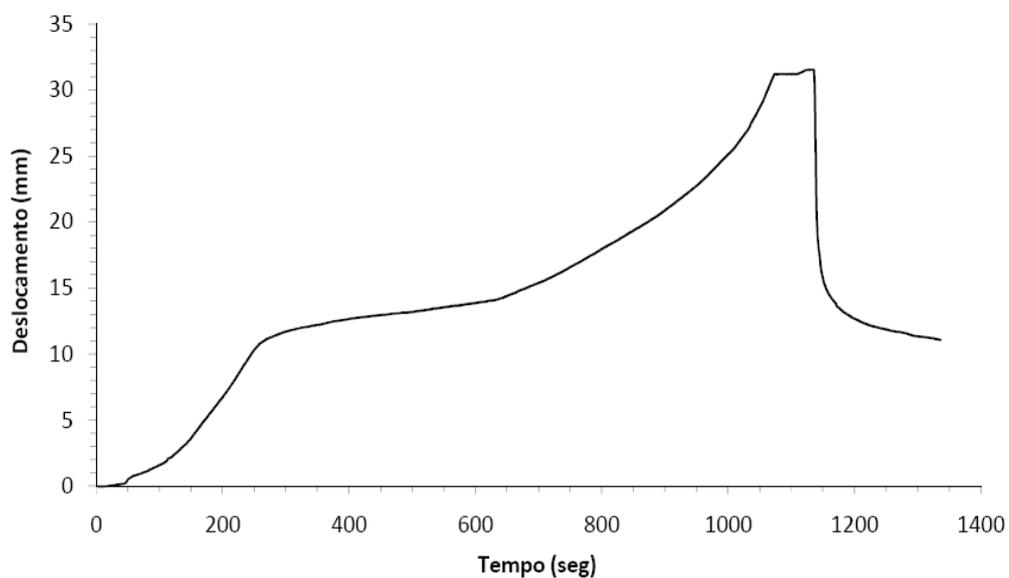


Figura 2-16 Curva deslocamento versus tempo de aplicação de carga para ensaio de momento positivo na sede do trilho do dormente 5 com placa (Dumont e Campos, 2006).

Uma das metades do dormente 1, resultantes do ensaio de momento negativo no centro, foi utilizada para o ensaio de momento negativo e, em seguida, de

momento positivo na seção onde se apoiam os trilhos. Diferentemente do ensaio realizado para o dormente 5, o dormente 1 não tinha placa de apoio do trilho. Além disso, já tinha sido usado para a realização de ensaio de torque e arrancamento dos tirefonds (ver Tabela 2-2), estando com sua seção transversal exatamente onde se aplicaria o máximo momento fletor – enfraquecida. No entanto, o dormente foi aprovado no ensaio de momento negativo sem qualquer alteração visível de sua estrutura e de acordo com os padrões das normas da AREMA (2003), segundo a Tabela 2-3 (o mesmo valor de 79,1 kN em duas células da Tabela é uma coincidência) – os resultados deveriam ser apenas próximos. As Figuras 2-17 e 2-18 apresentam curvas carga versus deslocamento e de velocidade de aplicação da carga, para o ensaio de momento negativo. Podemos observar que após a retirada da carga ficou uma deformação residual com provável enfraquecimento da seção transversal do dormente. A mesma peça de dormente foi ensaiada, em seguida, para momento positivo na sede dos trilhos.

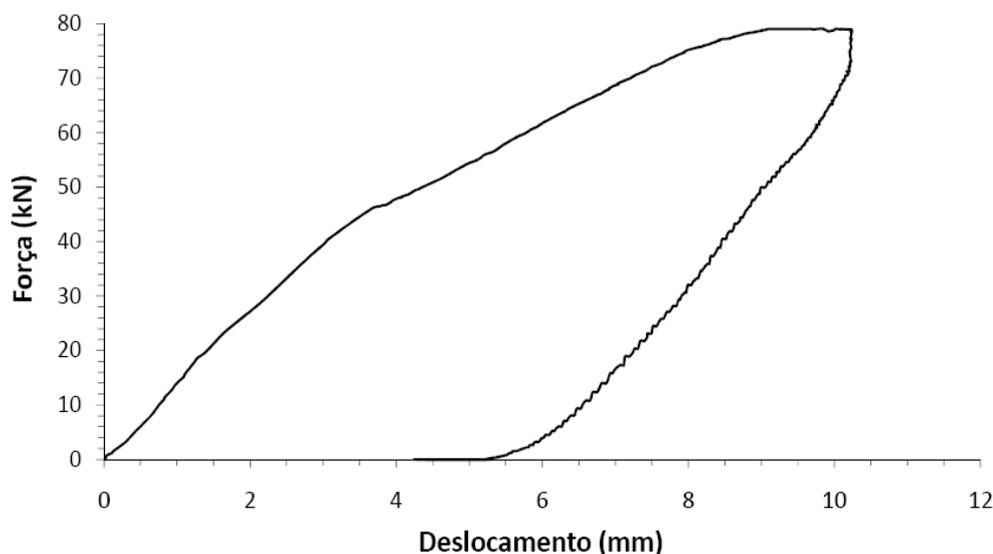


Figura 2-17 Curva força versus deslocamento para ensaio de momento negativo na sede do trilho do dormente 1 sem placa (Dumont e Campos, 2006).

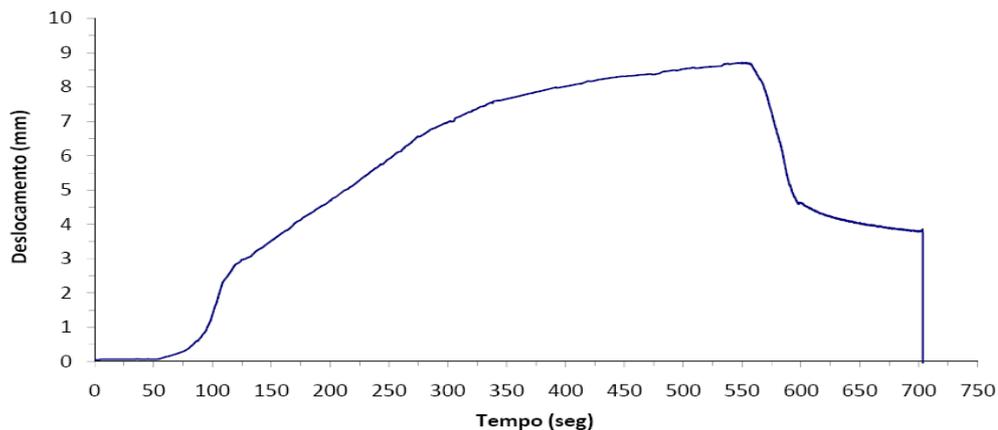


Figura 2-18 Curva deslocamento versus tempo de aplicação de carga para ensaio de momento negativo na sede do trilho do dormente 1 sem placa (Dumont e Campos, 2006).

A Figura 2-19 apresenta o gráfico de carga aplicada versus deslocamento do ponto de aplicação da carga. Vê-se que, para uma carga de aproximadamente 80 kN, a carga foi mantida constante por alguns minutos (Figura 2-20), mas com pequeno aumento dos deslocamentos, evidenciando o comportamento viscoelástico. Aplicou-se o carregamento até a ruptura, alcançada para uma carga de 126,3 kN. Este valor é comparado na Tabela 2-3 com o valor não fatorado da AREMA (2003), já que esta norma não diz nada sobre o presente caso. Deve ser observado que esta norma se aplica a dormentes de concreto protendido e que a seção transversal do dormente 1 já estava enfraquecida. A superfície de ruptura formou-se na região enfraquecida pelo arrancamento do tirefond próximo à seção central. Observando a região esbranquiçada, podemos supor que houve uma formação viscoplástica de uma trinca em torno do furo do tirefond, com a subsequente propagação súbita, como observado nos outros ensaios.

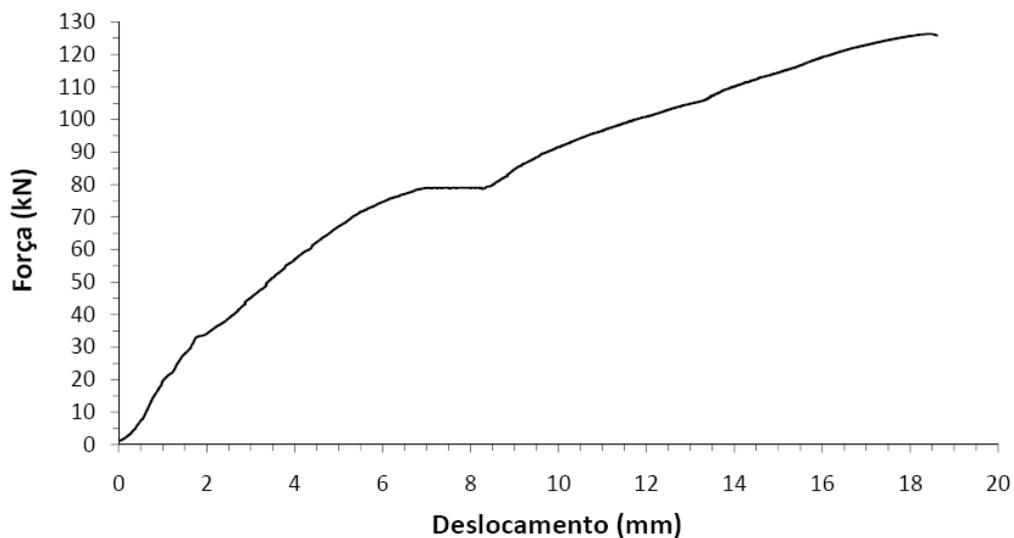


Figura 2-19 Curva força versus deslocamento para ensaio de momento positivo na sede do trilho do dormente 1 sem placa (Dumont e Campos, 2006).

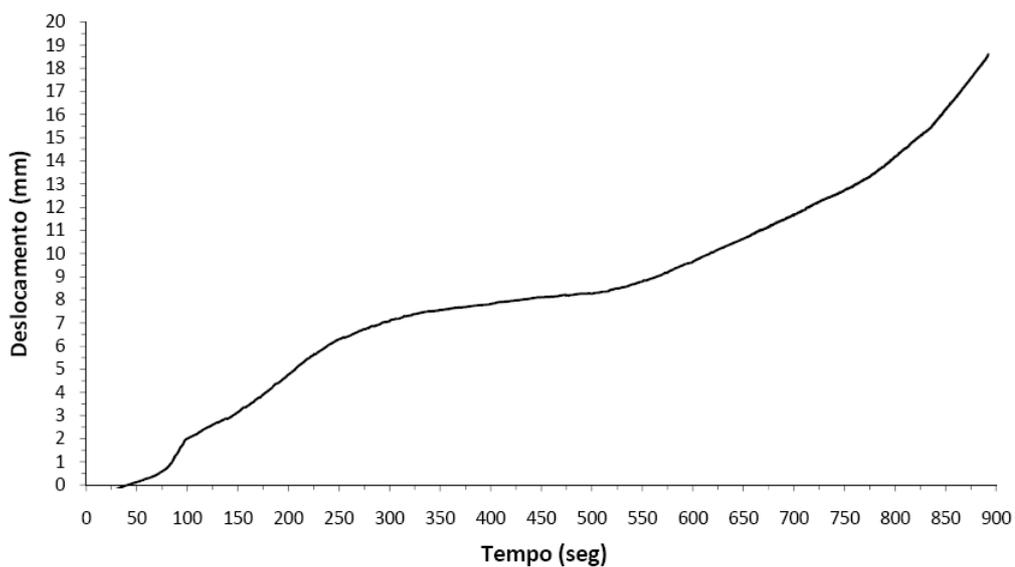


Figura 2-20 Curva deslocamento versus tempo de aplicação de carga para ensaio de momento positivo na sede do trilho do dormente 1 sem placa (Dumont e Campos, 2006).

2.11

Ensaio de carga estática (Gupta, 2003).

Gupta (2003), em conjunto com o Instituto Indian Railways of Civil Engineering, desenvolveu critérios para determinar as propriedades mecânicas

adequadas e a subsequente aprovação para os dormentes plásticos. Na tabela 2-5 são apresentados resultados de ensaios feitos em dormentes de plástico aceitos (Gupta, 2003) para uso comercial, que foram submetidos a uma carga no centro do dormente apoiado sobre uma base contínua, fabricados pelas empresas Tietek e Polywood. Os dois dormentes tiveram o mesmo desempenho após a eliminação do carregamento, sendo a recuperação em flexão/compressão do dormente fabricado pela Polywood melhor. O critério de aceitação é não ter nenhuma trinca visível na região extrema dos dormentes para a uma permanência de carga por 5 minutos.

Tabela 2-5 Comparação entre o dormente fabricado pela Tietek e pela Polywood (Gupta, 2003).

Aplicação da Carga	Media de deslocamento do dormente Tietek (mm)	Media deslocamento do dormente de Polímero Polywood (mm)
0	0	0
50	1,62	1,91
100	2,45	3,03
150	3,28	3,89
200	4,15	4,57
250	4,98	5,43
300	5,8	6,19
350	6,82	7,04
400	8,2	8,06
450	9,73	9,17
500	11,83	10,28
0	4,29	1,62
	Deslocamento residual	Deslocamento residual

2.12

Ensaio de impacto por (Gupta,2003)

A prova de impacto é projetada para medir a capacidade de absorção de energia e avaliar a qualidade do dormente contra forças de descarrilhamento. Na Tabela 2-6 é feita uma comparação dos dormentes fabricados pelas empresas Tietek, Polywood e um dormente de madeira. Nesta tabela pode ser observado que os dormentes fabricados pela empresa Polywood têm melhor desempenho que o dormente de madeira. Para que o dormente não apresente nenhuma trinca nas faces afetadas pelo impacto após o ensaio, devemos apresentar uma moosa deixada pela roda. Este ensaio vem sendo exigido no Brasil para dormentes de concreto protendido, apesar de não estar nem na ABNT NBR 11709 (2009) nem na AREMA, de acordo com Dumont e campos (2006).

Tabela 2-6 Comparação dos dormentes de polímero e de madeira na prova de descarrilhamento (Gupta, 2003).

No	Tipo de dormente	Tamanho da ranhura depois da caída do peso em mm							
		Depois da primeira caída				Depois da segunda caída			
	Tipo de dormente	a	b	c	d	a	b	c	d
1	Dormente Tietek	59	35	35	17	67	41	53	26
2	Dormente de Madeira	61	41	50	21	81	57	193	28
3	Dormente de Polywood	40	26	24	12	54	41	32	16

3

Programa experimental

3.1

Introdução

Neste capítulo são descritos os ensaios de laboratório realizados no presente trabalho, assim como os aparelhos e materiais utilizados no processo experimental. Este ensaio experimental tem como objetivo avaliar o comportamento mecânico dos dormentes plásticos submetidos a ações de carregamento transversal e sua fluência no tempo, por meio de ensaios de fluência, flexão, carga estática e ensaios de impacto. Nos ensaios medimos deslocamentos, deformações observando-se também o desempenho dos dormentes para cargas de impacto e cargas estáticas. Foram ensaiados três dormentes fornecidos em 2006 pela empresa Wisewood Soluções Ecológicas. Para facilitar os ensaios, os corpos de prova foram identificados conforme a Tabela 3-1, onde as letras D.P. significam dormente de plástico, seguido do número do dormente, E.F. ou E.C., e significam ensaio de fluência ou ensaio de carga estática, e os números finais correspondem ao número de ciclo do ensaio de fluência e número de ensaio para carga estática. Neste capítulo também são apresentados os materiais utilizados nos ensaios, suas características, os dispositivos de ensaio, os esquemas dos sistemas de aplicação de carga e os aparelhos de leitura de força, deformações e de deslocamentos, além das descrições de cada um dos ensaios. Para os ensaios de carga estática e de impacto foram utilizados os mesmos dormentes dos ensaios de fluência e flexão, como foi realizado por Gupta (2003). O uso de dormentes que já foram ensaiados anteriormente não influencia nos resultados. Na terceira coluna da Tabela 3-1 apresentamos os ensaios que foram feitos em cada um dos dormentes, sendo ensaiados quatro vezes o corpo de prova número 1, o dormente dois foi ensaiado três vezes e o dormente três teve somente um ensaio.

Tabela 3-1 Características geométricas e ensaios realizados nos dormentes da Wisewood.

Dormente	Corpo de Prova	Dimensões	Ensaio
1	D.P.1.0.E.F.1.C.6	L= 281,2 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Fluência Flexão
1	D.P.1.1.E.F.1.C.6	L= 140,6 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Fluência
1	D.P.1.2.E.F.1.C.5	L= 140,6 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Flexão
2	D.P.2.0.E.F.1.C.5	L= 281,2 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Flexão
2	D.P.2.1.E.F.1.C.5-1	L= 160 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Flexão
1	D.P.1.1.E.F.1.C.6.C.E.1	L= 140,6 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Carga Estática
2	D.P.2.1.E.F.1.C.5-2.C.E.2	L= 121,2 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Carga Estática
3	D.P.3.0.E.C.E.3	L= 60,6 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Carga Estática

3.2

Materiais Utilizados.

Em novembro de 2006 o Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro recebeu seis dormentes de plástico reciclado (RPL) da empresa Wisewood para realizar ensaios de arrancamento, torque e de flexão (momento positivo e negativo). Nestes ensaios, foram utilizados quatro dormentes, ficando armazenados desde então os dois dormentes restantes e um dos dormentes ensaiados em 2006 (Dumont e Campos, 2006). Os dormentes foram armazenados durante cinco anos sem exposição à luz ou a intempérie.

3.2.1

Dormentes

A empresa Wisewood desenvolveu um processo para a produção de dormentes de plástico reciclado (RPL), como consta na página eletrônica da empresa (<http://www.wisewood.com.br>). O processo de extrusão contínua faz com que os dormentes tenham formas imperfeitas, como pequenas flechas no centro do vão medidas antes dos ensaios de 1,2mm devido à mudança de calor (Oliveira, 2007). Na Figura 3-1 são apresentados os dormentes que foram ensaiados, seus comprimentos e a sua seção transversal de densidade variável, sendo mais densos na sua parte externa que no centro da seção. A composição dos dormentes de plástico tem uma vantagem sobre os dormentes de madeira. Segundo a própria empresa Wisewood, as vantagens mais importantes são: vida útil de 50 anos comparada aos 25 anos no caso da madeira (Oliveira-2007), são impermeáveis e totalmente recicláveis, além de reduzirem o custo de manutenção da via férrea.

Os dormentes fabricados pela empresa Wisewood foram projetados para suprir qualquer dimensão de emprego ferroviário, metroviário ou LVT (Veículo Leve sobre Trilhos) e a produção é de até 60.000 dormentes por ano (<http://www.wisewood.com.br>). Pires et al (2007) informam que a madeira plástica deve substituir em quase a sua totalidade a madeira de origem arborea, para haver uma sustentabilidade real no futuro.



Figura 3-1 Dormente de madeira plástica da empresa Wisewood.



Figura 3-2 Seção transversal de um dormente de madeira plástica fabricado pela Wisewood.

Cada dormente de plástico reciclado tem uma composição de polímeros tais como PEBD, PEAD PVC e PET, (Oliveira, 2005), podendo ser agregadas misturas de fibras de vidro, algodão papel e pneus (Teixeira, 2000), dando-lhes uma textura muito similar à da madeira usada na via férrea. A empresa Wisewood fornece diferentes tipos de dormentes (Tabela3-2) e descreve as características geométricas, cor e peso de cada dormente disponível no mercado. Ainda segundo a empresa, esses dormentes fabricados podem ser reaproveitados, servindo de matéria-prima novamente, formando um ciclo virtuoso que contribui ostensivamente para a preservação do meio ambiente.

Tabela 3-2 Especificações técnicas da empresa Wisewood.

COR	DIMENSÕES (mm)	PESO(kg)
Cinza	2000 X 240 X 170	70
	2300 X 240 X 170	85
	2800 X 240 X 170	100

3.3

Instrumentação e equipamento

Para a realização dos ensaios foram usados equipamentos para medidas de deslocamentos, deformações e controle de carregamento. Também foi usado um eletroímã fabricado no laboratório para sustentar o peso nos ensaios de impacto.

3.3.1

Sistema para a medição dos deslocamentos

A obtenção das medidas de deslocamentos se deu através de transdutores de deslocamento reativo (LVDT). Os LVDTs usados foram de 5cm, 10cm e de 30cm de alargamento, para medições em seis pontos da face superior do dormente, para os ensaios iniciais de fluência, flexão e carga estática. Para os últimos ensaios de fluência foram obtidos leituras em doze pontos das faces superior e inferior do dormente junto a três medições de deformação. Para os primeiros ensaios de fluência, flexão e carga estática, os LVDT foram despostos da seguinte maneira: dois LVDT foram posicionados nas arestas do centro do vão do dormente, dois

LVDT posicionados sobre os pontos de apoio, e dois LVDTs colocados nas extremidades do dormente que mediram deslocamentos de corpo rígido por movimento dos apoios. A aquisição simultânea de dados foi feita com um sistema NI-PXI 1052 dual do fabricante NATIONAL INSTRUMENTS S/A integrado com um computador. A interface com o usuário foi feita com o software LABVIEW 6.0 do mesmo fabricante. Na Seção 3.5 descrevemos como foram instalados e posicionados os LVDTs de acordo com cada ensaio.

3.4

Sistema de aplicação de carga

Para a aplicação de forças nos dormentes foi utilizado um pórtico metálico (1) montado no laboratório, usando-se dois tipos de atuadores hidráulicos que pressionavam o dormente (6) contra seus apoios. Conforme descrevemos na Figura 3-3, um atuador hidráulico (2) foi colocado sobre a parte superior do dormente entre uma placa de neoprene (8), uma placa de aço (4) e uma célula de carga (3) de 200 kN para o ensaio de fluência no dormente D.P.1.E.F.1.C.6 e para os ensaios de flexão nos dormentes D.P.1.2.E.F.1.C.5, D.P.2.0.E.F.1.C.5, e D.P.2.0.E.F.1.C.5-1, e uma célula de carga 1000 kN para os ensaios nos dormentes D.P.1.1.E.F.1.C.6.E.1, D.P.2.0.E.F.1.C.6.E.2 e D.P.3.0.E.C.E.3. O dormente teve uma montagem isostática. Em cada um dos seus apoios foi colocada uma placa de neoprene entre o dormente e uma placa de aço que está sobre um rolete para o apoio de um grau de liberdade (4) e sobre três placas de apoio separadas entre roletes para simular um apoio de dois graus de liberdade (8), sendo toda esta montagem apoiada sobre dois blocos de concreto (7).

Para o ensaio de carga estática (Figura 3-4) o dormente foi apoiado sobre uma placa de aço (5) em um bloco de concreto (7), a mesma montagem para o atuador hidráulico. Para o funcionamento dos atuadores hidráulicos foi preciso o uso de duas bombas com capacidade de 1100 kN e de 6000 kg/cm² respectivamente, controladas manualmente. Para o ensaio de fluência o controle de carga teve que ser mantido com uma válvula de controle de pressão, com ajuste manual ao longo do ensaio.

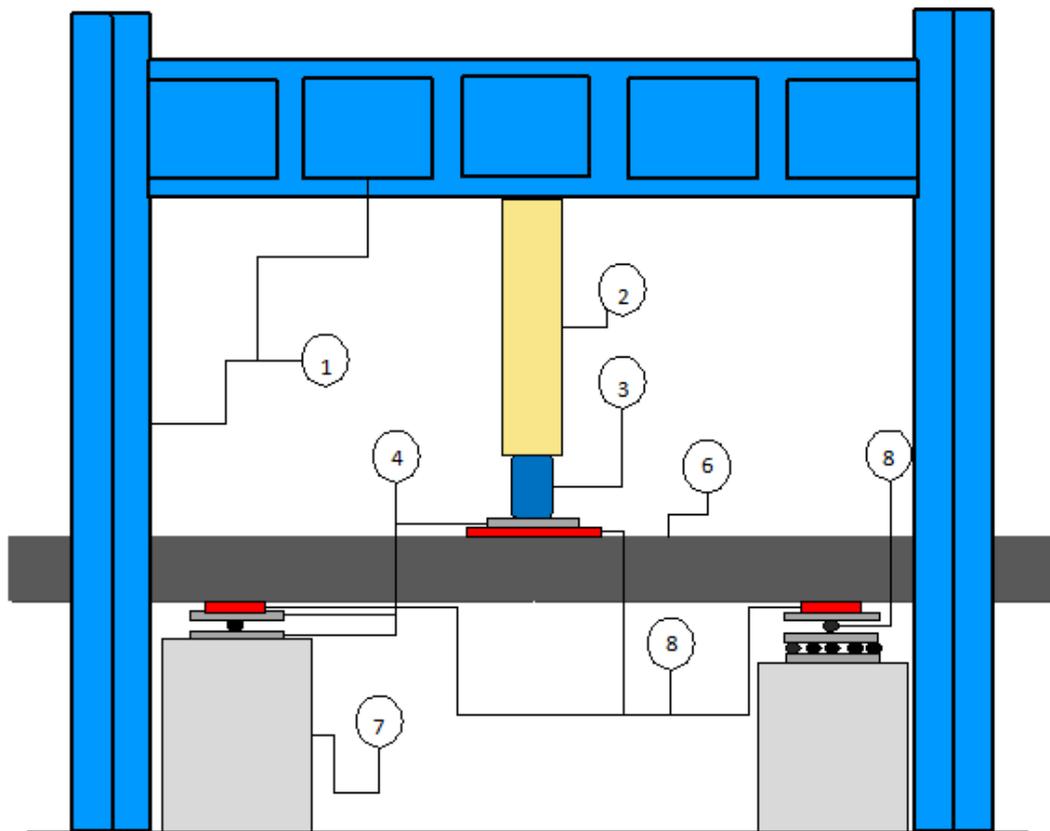


Figura 3-3 Sistema de aplicação de carga do laboratório LEM/DEC.

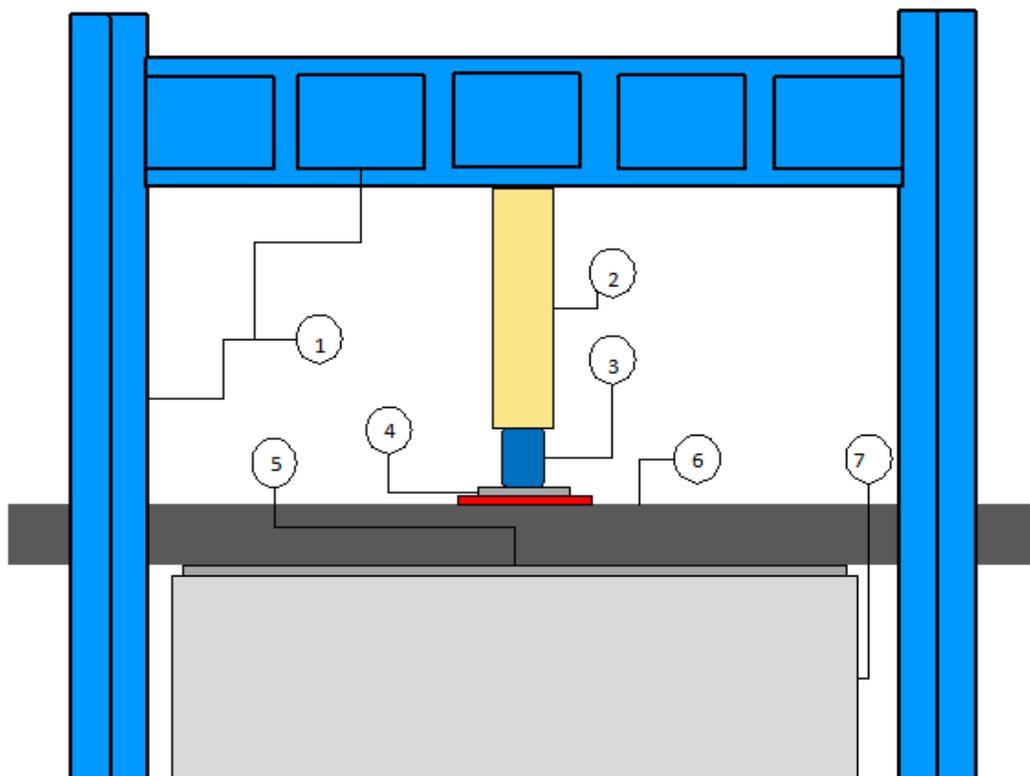


Figura 3-4 Sistema de aplicação de carga do laboratório LEM/DEC.

3.5

Ensaio

Foram realizadas quatro montagens diferentes para a realização dos ensaios, seguindo o procedimento adotado por Jordan e Morris (2006), Gupta (2003) e Dumont e Campos (2006)

3.5.1

Ensaio de fluência sem placa base no dormente D.P.1.E.F.1.C.6 em Viga Curta , com Prevalhecimento do Cisalhamento

Um dormente de comprimento 281,2 cm foi cortado em duas metades, denominadas D.P.1.E.F.1.C.6 e D.P.1.E.F.1.C.5. O dormente D.P.1.E.F.1.C.6 foi ensaiado seguindo o programa experimental de Jordan e Morris (2006). Este corpo de prova foi submetido a seis ciclos de carregamento, iniciando os três primeiros ciclos com uma carga de 50kN. Nos dois primeiros ciclos, o carregamento foi mantido durante dez minutos, com um descarregamento de tempo igual. Para o ciclo três, a carga teve uma duração de dezoito horas e logo depois a carga foi retirada durante 21 horas. Para o quarto e quinto ciclos de carga, aumentamos o carregamento para 100kN com uma duração de aplicação contínua sobre o dormente de seis horas, tendo uma descarga entre ciclos de dezoito horas. Finalmente, o dormente foi carregado com 150kN durante 6 horas.

Na Figura 3-5 ilustramos esquematicamente a montagem do ensaio de fluência. Na Figura 3-6 o dormente foi apoiado sobre uma base de borracha entre ele e os apoios. Colocamos, também, uma borracha entre a placa de aplicação de carga e o dormente. A Figura 3-6 mostra com detalhe a montagem do ensaio e a localização dos LVDTs assim como o ponto da aplicação da carga. O ensaio teve duração de uma semana, para a aplicação dos seis ciclos de carregamento.

As figuras 3-5 e 3-6 mostram os detalhes da montagem do ensaio segundo Jordan e Morris, (2006) para uma viga curta.

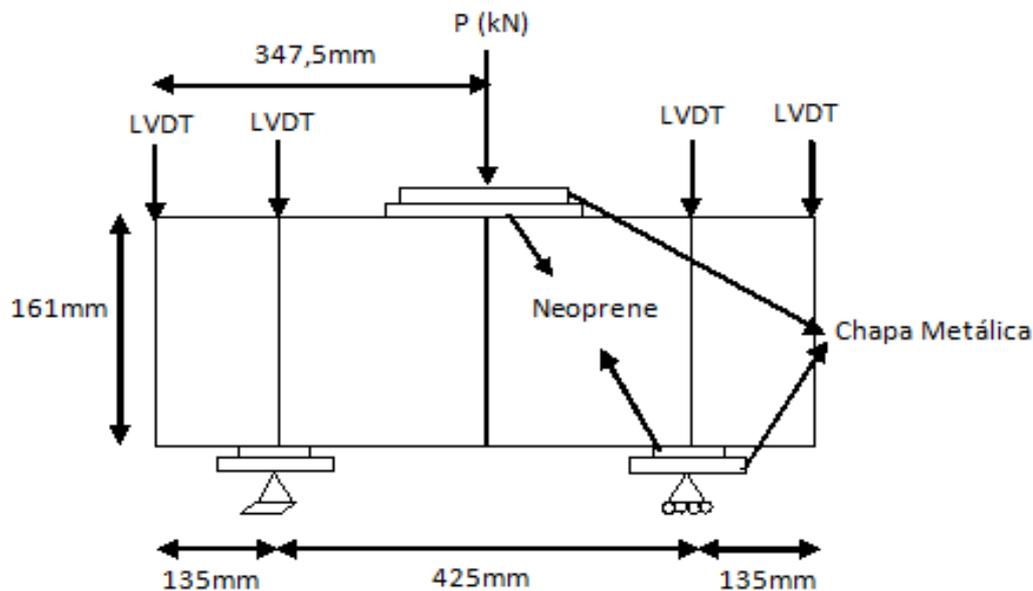


Figura 3-5 Detalhes do esquema do ensaio de fluência.

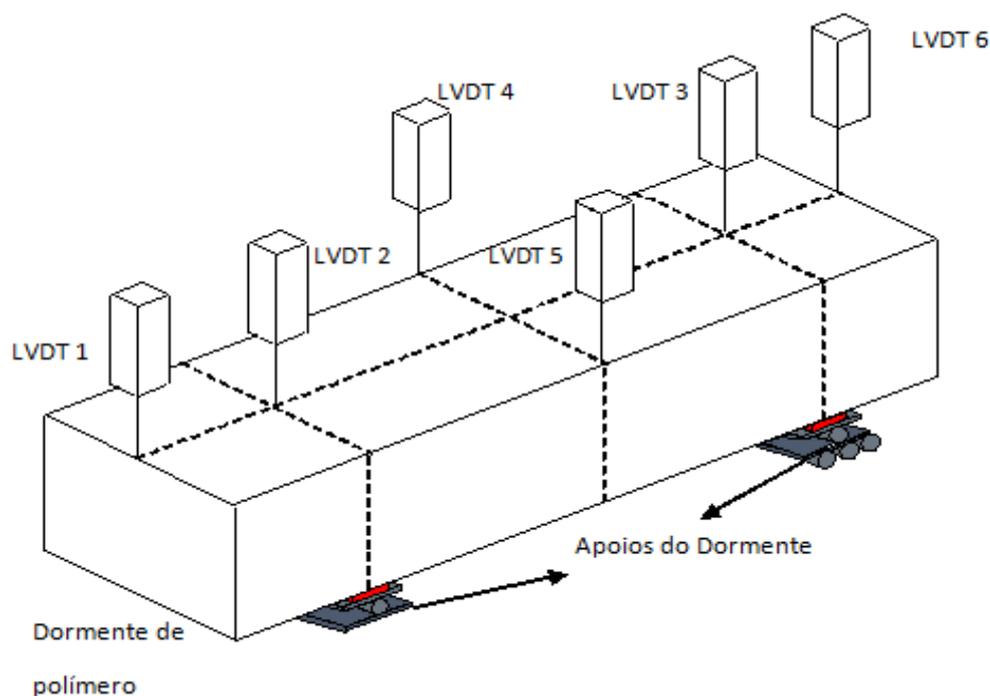


Figura 3-6 Montagem do ensaio de fluência (Jordan e Morris, 2006).

Nas figuras 3-7 e 3-8 apresentamos um registro fotográfico, que mostra como foi montado o ensaio em laboratório e como foi feita a obtenção dos dados de deslocamento no dormente. Este ensaio tem como objetivo determinar a a deformação lenta do material em um tempo longo de aplicação de carga, que eventualmente poderia causar uma falha gradual, (Lampo et al, 2001).



Figura 3-7 Montagem do ensaio de fluência.



Figura 3-8 Montagem do ensaio de fluência no laboratório.

3.5.2

Ensaio de flexão sem placa base no dormente D.P.1.2.E.F.1.C.5

Este ensaio foi realizado num dormente de 281,2 cm de comprimento, que foi montado sobre dois apoios com uma distância de 167 mm entre eles. Inicialmente tinha-se planejado fazer um carregamento de 6 ciclos com um limite de carga de 50 kN já que este tipo de dormente teve uma ruptura de 58,7 kN (Dumont e Campos, 2006). No início do primeiro ciclo de carga e com um carregamento de 7kN o dormente fraturou. Uma foto do ensaio se apresenta na Figura 3-7, mostrando os detalhes das medidas entre os apoios e a posição dos LVDTs. Como é descrito no ensaio anterior, aplicamos um carregamento no centro do vão do corpo de prova do dormente, conforme a Figura 3-9. Neste ensaio foram utilizados dois LVDT de 30 cm (Figura 3-10) de extensão no centro do dormente. Segundo Dumont e Campos (2006), nos ensaios realizados os valores de deslocamento teriam um deslocamento maior que de 1000 mm.

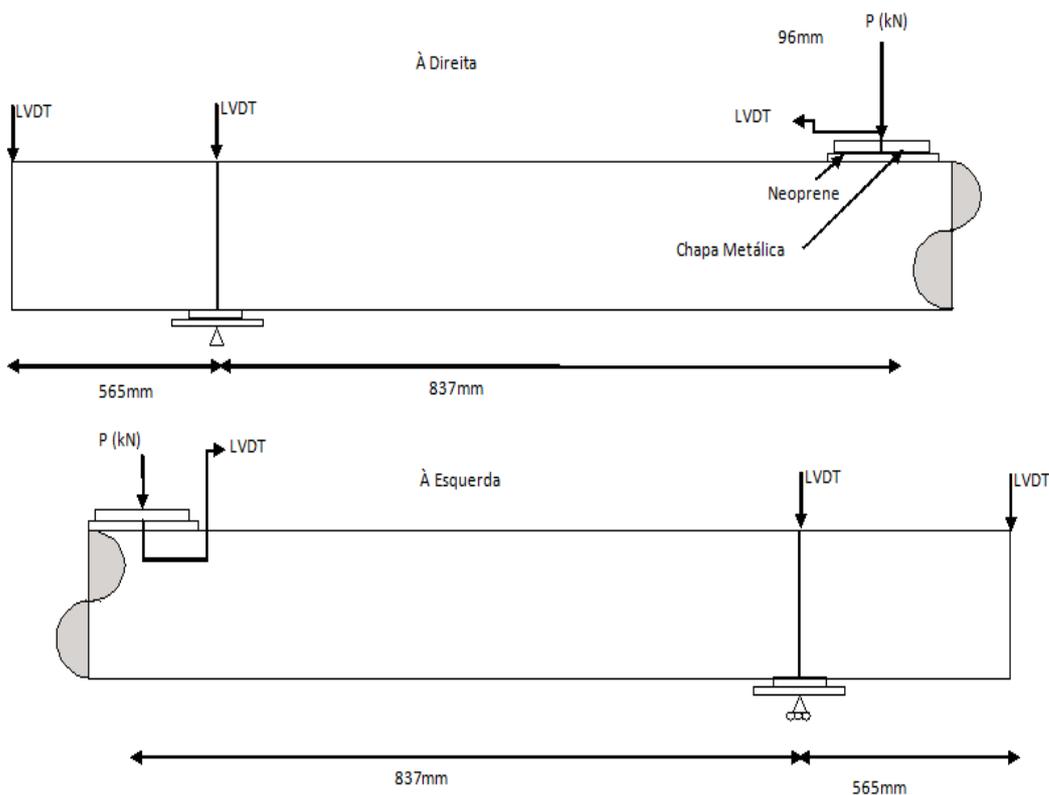


Figura 3-9 Descrição da montagem para o ensaio de flexão.

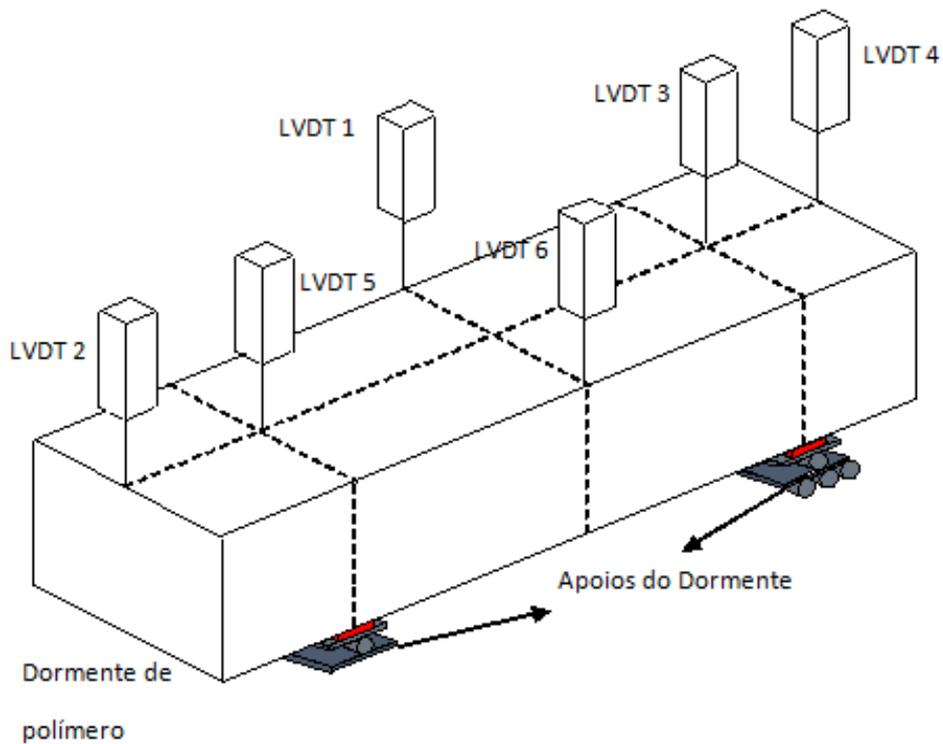


Figura 3-10 Localização dos LVDTs na face superior do dormente.

Nas Figuras 3-11 e 3-12 são mostrados alguns detalhes da montagem do ensaio no laboratório, observando claramente o incremento do vão entre os apoios do dormente.



Figura 3-11 Montagem do ensaio no dormente de comprimento de vão de 167 mm.



Figura 3-12 Montagem do ensaio no dormente de comprimento de vão de 167 mm.

3.5.3

Ensaio de flexão sem placa de base no dormente D.P.2.0.E.F.1.C.5

Este ensaio tem uma montagem similar ao ensaio anterior, mudando-se o comprimento do vão para 1113 mm. Nas Figuras, 3-13, 3-14 e 3-15 são apresentados os detalhes da montagem e a instrumentação feita no dormente. Em todos os ensaios de flexão e de fluência colocamos uma borracha entre o dormente e a placa onde o carregamento foi aplicado. A placa onde a célula de carga foi apoiada teve as mesmas dimensões da placa fornecida pela Wisewood em 2006. Além disso, houve também um isolamento de borracha entre o dormente e o ponto de apoio. Em todos os ensaios de fluência houve uma falha por flexão, apresentando-se uma cor branca na parte inferior onde foi liberada a energia de ruptura. A montagem foi realizada para uma aplicação de carga de 10kN/min sem placa de base no dormente, e as medidas foram seguidas de acordo com Jordan e Morris (2006).

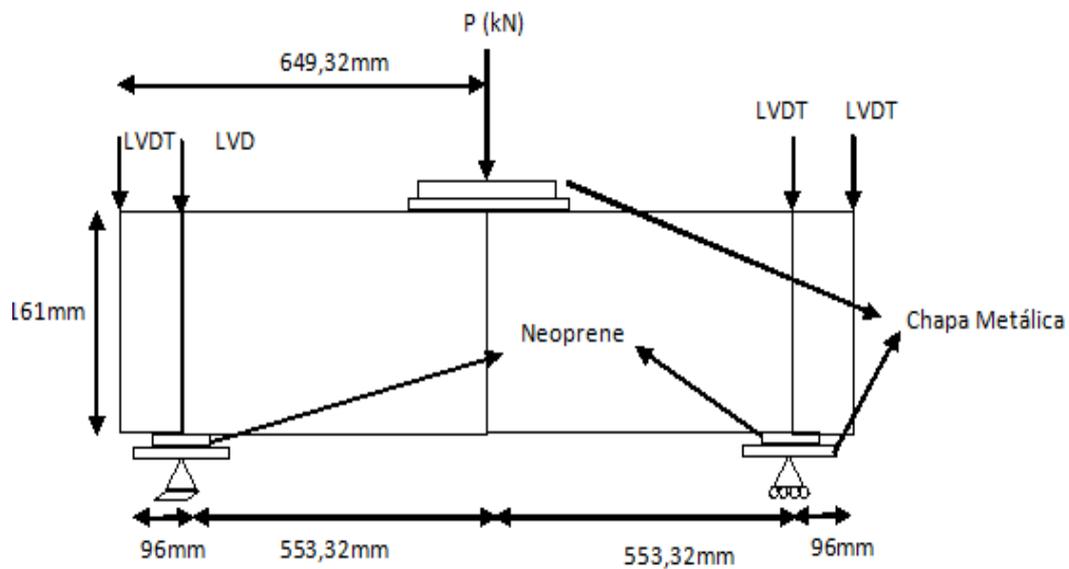


Figura 3-13 Dimensões da montagem do ensaio e ubicação da instrumentação no dormente D.P.2.0.E.F.1.C.5.

A montagem feita no ensaio está de acordo com o item 4.9.1.4 da Arema (2006) para carga vertical na parte onde serão colocados os trilhos com uma de carga de 22kN/min.



Figura 3-14 Montagem do ensaio de flexão no dormente D.P.2.0.E.F.1.C.5.

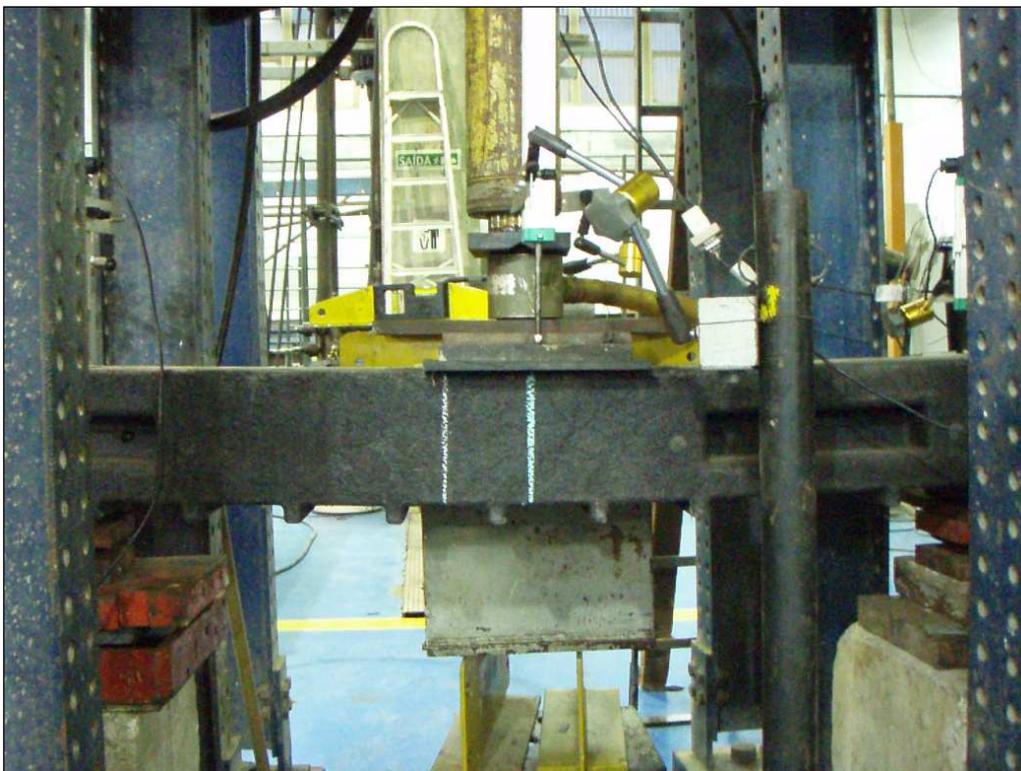


Figura 3-15 Montagem do ensaio de flexão e montagem da instrumentação da célula de carga e transdutores de deslocamento sobre o dormente D.P.2.0.E.F.1.C.5.

3.5.4

Ensaio de flexão sem placa base no dormente D.P.1.1.E.F.1.C.5-1

Neste ensaio o dormente teve um comprimento do vão de 1198,32mm entre os apoios. A montagem segue o item 4.9.1.4 da norma da AREMA. Como descrito nos ensaios do item 3.6.3.e item 3.6.2 e sendo a instrumentação colocada da mesma forma. Nas figuras 3.16, 3.17 e 3.18, apresentamos os detalhes da montagem do ensaio, onde podemos observar, na Figura 3.17, um estágio avançado do ensaio.

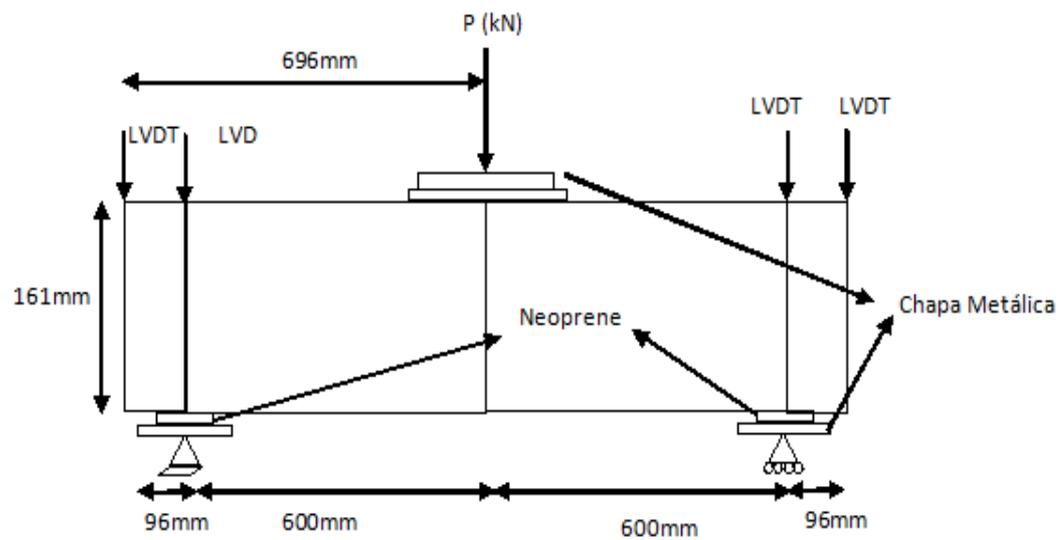


Figura 3-16 Detalhes da montagem e dimensões do dormente D.P.1.1.E.F.1.C.5-1.



Figura 3-17 Aplicação da carga no dormente. Estágio avançado do ensaio de flexão no centro do vão do dormente D.P.1.1.E.F.1.C.5-1e.



Figura 3-18 Detalhes da instrumentação do ensaio de flexão no dormente D.P.1.1.E.F.1.C.5-1.

3.6

Ensaio de carga estática

Os ensaios de carga estática foram feitos seguindo o processo experimental realizado por Gupta (2003). Três dormentes foram analisados. Este ensaio é importante para verificar o desempenho e qualidade dos dormentes.

3.6.1

Ensaio de carga estática nos dormentes D.P.1.1.E.F.1.C.6.E.1, D.P.1.1.E.F.1.C.6.E.1 e D.P.3.0.E.C.E.3

O objetivo deste estudo é determinar a capacidade de um dormente de tolerar cargas muito elevadas. Aplicamos uma carga com uma velocidade de 50 kN/minuto, até 500 kN em três dormentes, mantendo este valor de carregamento durante 5 minutos sobre o dormente. Para que um dormente seja aprovado, segundo Gupta (2003), o **Instituto Índio de Engenharia Civil em**

Ferrovias, estabeleceu que o dormente não deveria apresentar nenhum tipo de fissura na face onde é aplicada a carga. (Figura 3-19 e Figura 3-20).

Na Figura 3-19 apresentamos a montagem do ensaio como descreve Gupta (2003). O dormente foi colocado em um apoio contínuo de 425 mm, e sobre sua parte superior foi aplicado o carregamento. Este ensaio foi feito com os mesmos dormentes ensaiados nos ensaios de fluência e flexão, aplicado a carga com um atuador hidráulico de 1100 kN, controlada por uma célula de carga de 500kN. Na Figura 3-21 a indicação do número (1) corresponde ao atuador hidráulico, (2) à célula de carga, (3) à placa de transferência de carga no dormente e (4) aos apoios do dormente e da base.

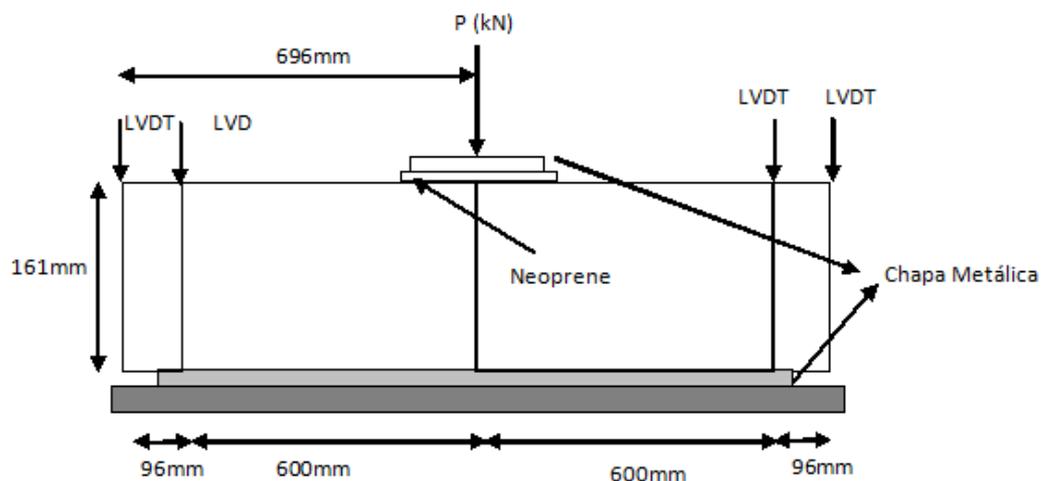


Figura 3-19 Detalhe da montagem do ensaio de carga estática no dormente (Gupta, 2003).

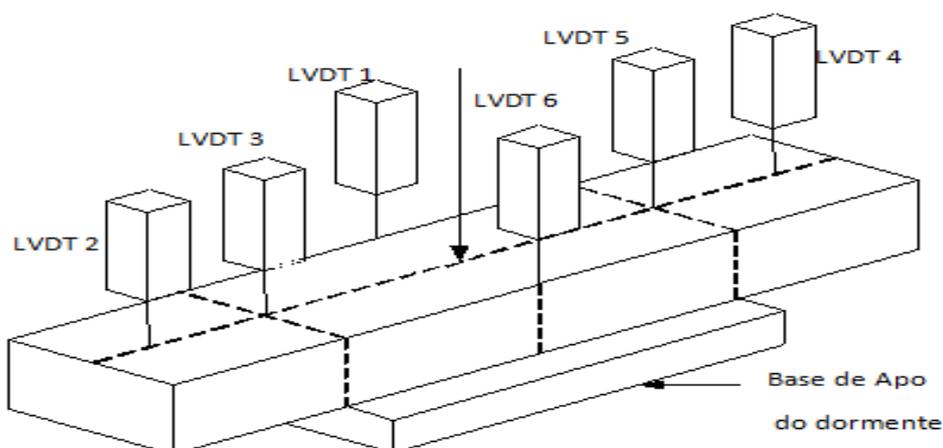


Figura 3-20 Detalhes da montagem e localização dos LVDTs no ensaio de carga estática.

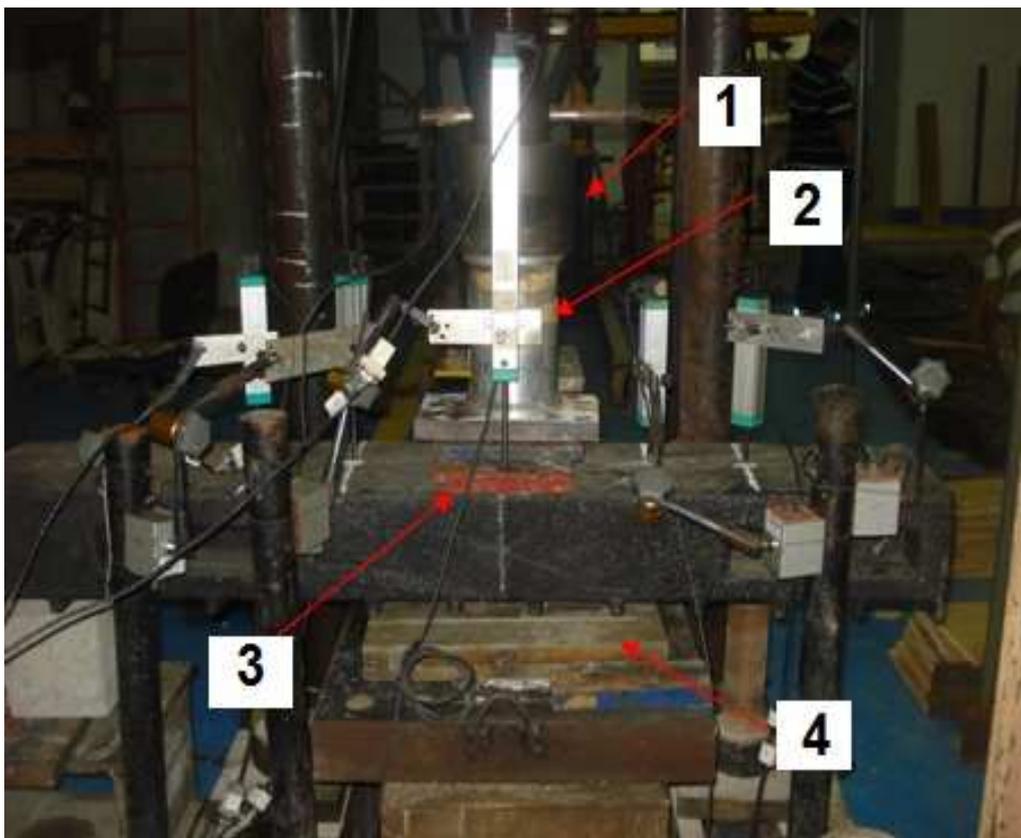


Figura 3-21 Detalhes da montagem e localização dos transdutores de deslocamento no ensaio de carga estática.

3.6.2

Ensaio de impacto.

Neste ensaio pretendeu-se observar a capacidade do dormente para absorver forças de descarrilhamento. A realização deste ensaio foi feita seguindo o processo experimental feito por Gupta (2003). O dormente foi colocado em um ângulo de 30° sobre uma base horizontal Figura 3-25. Gupta (2003) descreveu que o dormente deve receber os impactos sobre a aresta do dormente sempre impactando no mesmo lugar, para impactar o dormente a roda deve ser suspensa de uma altura de 17 cm. O peso foi de 5 kN. Gupta (2003) também descreveu que o peso deve ser transmitido por uma roda de dimensões iguais às do trem. Para simular esta roda no laboratório foi feito um aparelho com uma barra de um diâmetro de 2,54 cm para simular a parte externa da roda, Figura 3-24. Os três dormentes foram analisados com um único impacto, isto devido a problemas com o eletroímã que sustentava a carga utilizada para impactar o corpo de prova. A montagem é descrita na Figura 3-23 e os resultados obtidos foram todas as

medidas da trinca deixada pelo impacto do peso, (Figura 3-22), Sendo: (a) comprimento da ranhura na parte larga (b) o comprimento na profundidade da ranhura (c) largo da trinca (d) profundidade da ranhura.

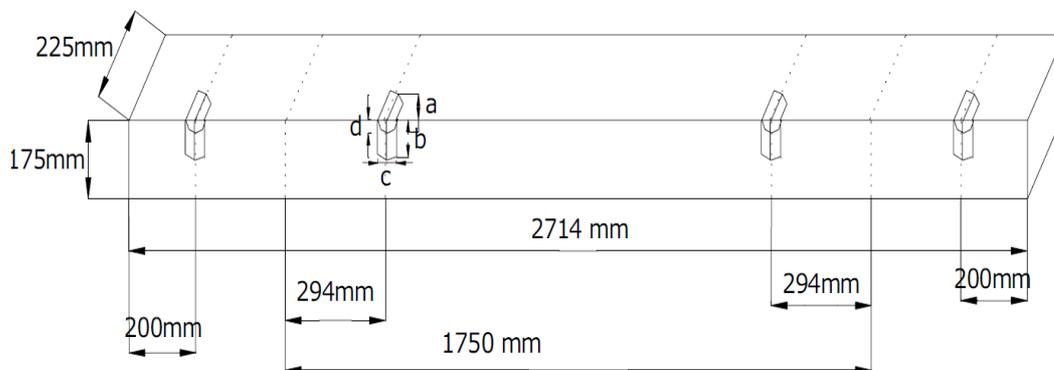


Figura 3-22 local de queda da roda para verificar o desempenho dos dormentes em descarrilamento (Gupta, 2003).

Na figura 3-23 apresentamos a montagem geral do ensaio de impacto sobre o dormente.



Figura 3-23 Montagem do ensaio de impacto.



Figura 3-24 Perfil do peso que impactou o dormente no ensaio de impacto.

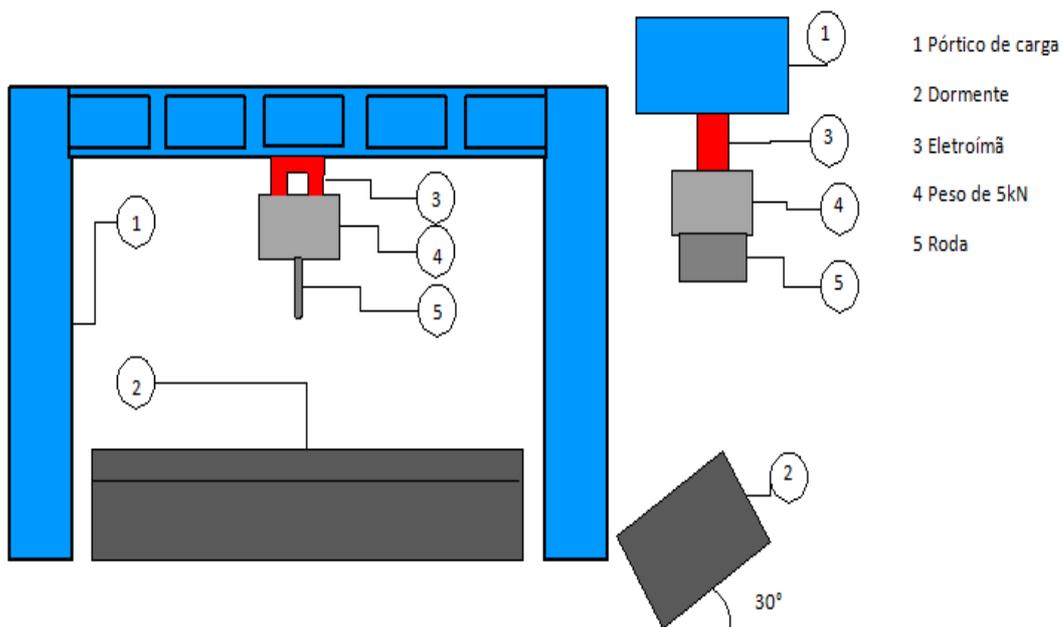


Figura 3-25 Sistema para a aplicação do impacto no dormente.