

4

Resultados Experimentais

Para comprovação dos resultados teóricos foram realizados dez testes experimentais, os quais são apresentados neste capítulo. Todos os perfis utilizados são da mesma qualidade de material e foram cuidadosamente especificados para pertencerem à mesma remessa de chapa destinada à dobragem dos perfis.

4.1.

Propriedades dos Materiais

4.1.1.

Propriedades Mecânicas

As propriedades do aço utilizado nos testes foram obtidas através de ensaios de tração simples em uma Máquina INSTRON 5500R, com sensibilidade de 0,001% e com uma célula de carga com capacidade de 10 toneladas, (Figura 4.1). As deformações foram medidas através de um extensômetro mecânico (*clip-gage*), da marca INSTRON, com curso de 25 milímetros e sensibilidade de 0,0001%. (Figura 4.2).

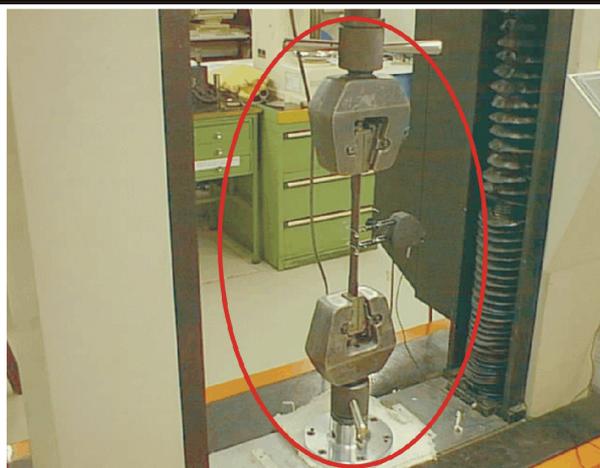


Figura 4.1 – Ensaio de tração – Máquina Universal.

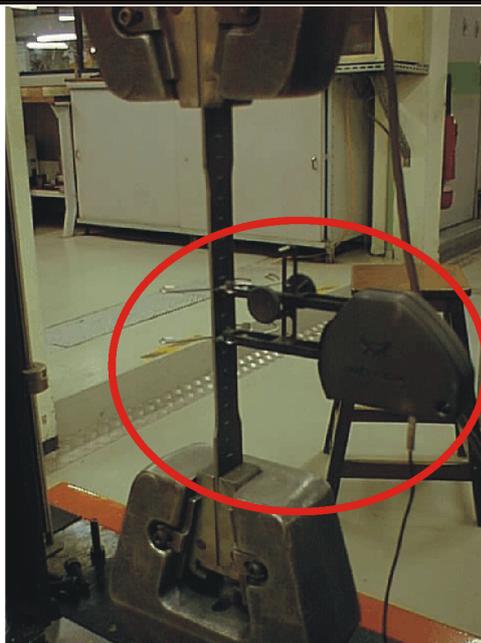


Figura 4.2 – Detalhe do *Clip-Gage* de medição.

Foram ensaiados nove corpos de prova separados em três blocos, conforme mostra a Figura 4.3. As dimensões dos corpos de prova, segundo a norma ASTM69 [8] (Figura 4.4), podem ser vistas na Tabela 4.1.

O Bloco 1 consiste de:

Três corpos de prova retirados de uma das mesas do perfil – A1, A2 e A3.

O Bloco 2 consiste de:

Três corpos de prova retirados da alma do perfil – B1, B2 e B3.

O Bloco 3 consiste de:

Três corpos de prova retirados da outra mesa do perfil – C1, C2 e C3.

As espessuras dos corpos de provas do aço tiveram variações desprezíveis e sua espessura média é de 2,10 mm.

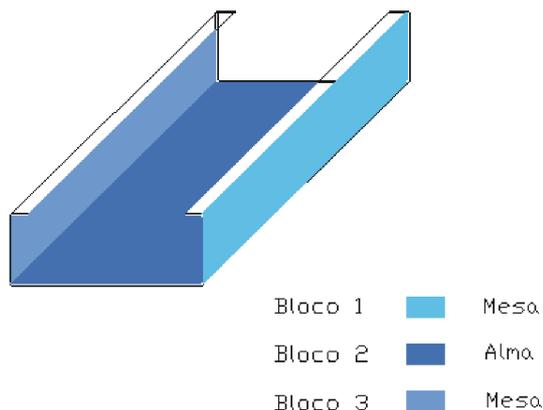


Figura 4.3 – Posições dos corpos de prova.

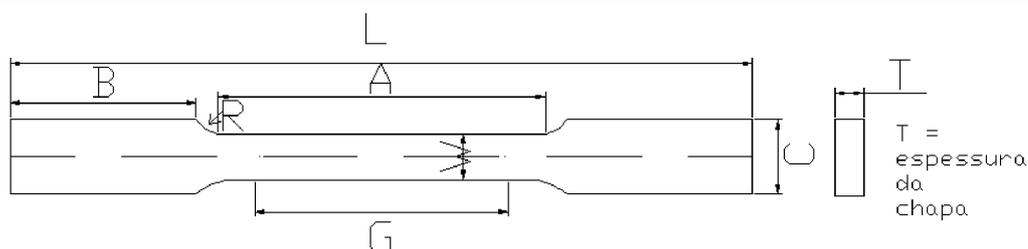


Figura 4.4 – Dimensões dos corpos de prova segundo ASTM69.

Dimensões do corpo de prova		Medidas do corpo de prova (mm)
Comprimento padrão	G	$100 \pm 0,10$
Largura	W	$20 \pm 0,10$
Espessura	T	Espessura da chapa
Raio de Curvatura Mínimo	R	25
Comprimento Total Mínimo	L	300
Comprimento de Redução Mínimo	A	120
Comprimento de Redução da Seção Mínimo	B	75
Largura de Agarrar a Seção Aproximada	C	25

Tabela 4.1 – Dimensões dos corpos de prova do aço [8].

O material exibiu um patamar de escoamento bem definido em todos os ensaios. As propriedades mecânicas do aço obtidas no ensaio podem ser vistas na Tabela 4.2.

Corpo de Prova	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Modulo de Elasticidade (MPa)
CP – A1	331,544	428,824	203.200,875
CP – A2	325,743	427,532	211.317,328
CP – A3	322,575	424,909	162.677,250 (*)
Média	326,621	427,088	192.398,484
Desvio Padrão	4,548	1,994	260.57,299
CP – B1	313,575	418,035	198.895,594
CP – B2	354,207	439,355	238.355,109
CP – B3	331,550	414,612	145.821,469 (*)
Média	333,111	424,001	194.357,391
Desvio Padrão	20,361	13,407	464.33,453
CP – C1	326,612	432,634	202.607,953
CP – C2	345,130	441,967	214.475,938
CP – C3	346,232	429,655	212.419,125
Média	339,325	434,752	209834,328
Desvio Padrão	11,023	6,423	6.342,169

Tabela 4.2 – Propriedades mecânicas do aço utilizado.

(*) Resultado sujeito erro de medição

4.2.

Resultados dos Testes das Lajes Mistas com Perfil Tipo Bandeja

Para comprovação dos resultados teóricos foram organizados dez testes em tamanho real, com características diversas de geometria, vão e com variação do número de séptos. Foram utilizadas placas soldadas dentro da canaleta do perfil “C”. Estas placas funcionaram como séptos da laje mista.

Os dez testes não foram escolhidos aleatoriamente. Inicialmente os parâmetros de variação dos testes seriam apenas o tamanho e a quantidade de bandejas. Contudo, foi observado, ao realizar os primeiros testes, que outros parâmetros deveriam também ser investigados. Nas seções seguintes os parâmetros utilizados em cada teste são apresentados.

A Tabela 4.3 abaixo lista as características dos testes realizados.

Teste	Vão (m)	Fck (MPa)	Largura (m)	Armadura	N. de séptos
BMP-1	4,8	22,1	0,2	Não	2
BMP-2	4,8	31,7	0,2	Não	2
BMP-3	2,8	37,8	0,2	Não	4
BMP-4	4,8	37,6	0,2	Não	4
BMP-5	4,8	39,34	0,2	Não	4
BMP-6	4,8	21,3	0,58	3 ϕ 8 mm	12
BMP-7	4,8	30,8	0,58	3 ϕ 8 mm	12
BMN-1	4,8	22,86	0,2	Não	2
BMN-2	2,3	35,6	0,2	3 ϕ 8 mm	Sem séptos
BMN-3	2,3	35,6	0,2	3 ϕ 8 mm	Sem séptos

Tabela 4.3 – Características dos testes realizados.

A avaliação dos testes foi feita através da análise dos gráficos que mostram a relação Carga x Deslocamento e da maneira como ocorreu a ruptura da laje. Como apresentado no Capítulo 2, basicamente os modos de ruptura (ruína) de uma laje podem ser:

- por flexão na seção de máximo momento;
- por deslizamento longitudinal quando a resistência à aderência é ultrapassada;
- por cisalhamento vertical.

4.2.1.

Teste da Laje BMP-1

A laje mista BMP-1, de dimensões de 0,2 × 5,0 metros, teve um comportamento praticamente linear tanto para os deslocamentos como para as deformações, como mostram as Figuras 4.5, 4.6 e 4.7. Vale lembrar que os deslocamentos são medidos pelo relógio e pelos LVDTs e as deformações pelos extensômetros.

A laje mista foi apoiada a 10 centímetros da extremidade, resultando um vão livre de 4,8 metros. A carga foi aplicada continuamente a cada 0,5 kN, distribuída em dois pontos até atingir o colapso. Esta distribuição de carga foi feita por uma viga de distribuição. Esta laje mista não possuía armadura. Os

séptos foram soldados dentro do perfil e foram posicionados somente nas extremidades. Não houve pré-carga neste teste.

Os séptos colocados nas extremidades tinham como objetivo fechar o perfil para que o vazamento do concreto não ocorresse na concretagem.

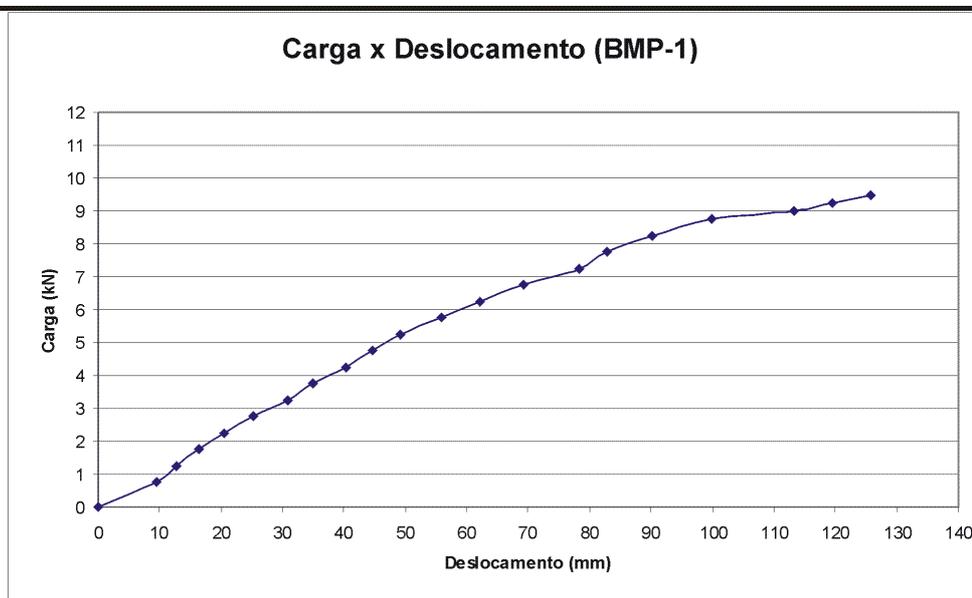


Figura 4.5 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir dos valores medidos pelo relógio analógico no centro do vão – BMP-1.

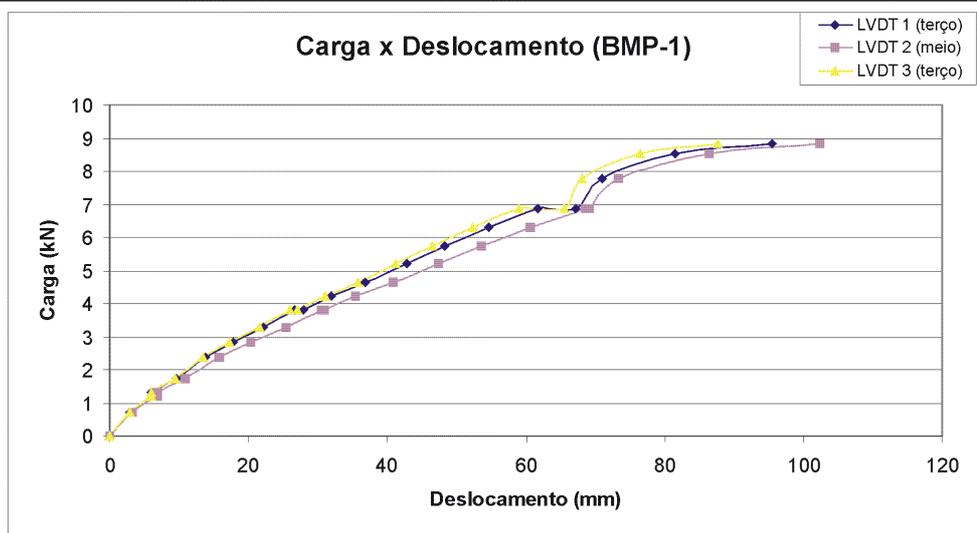


Figura 4.6 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir dos valores medidos pelos LVDTs, no centro e a cada terço do vão – BMP-1.

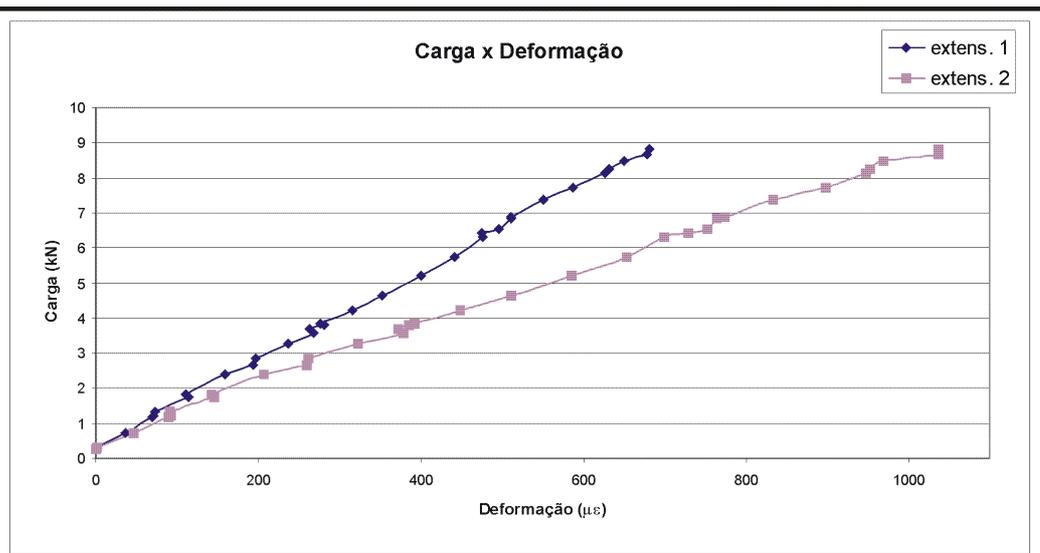


Figura 4.7 – Gráfico de Carga x Deformação, a partir de valores medidos pelos extensômetros no centro do vão – BMP-1.

O modo de ruína da laje se deu pela ruptura (esmagamento) do concreto, aproximadamente no meio do vão, conforme apresentado na Figura 4.8. Foi possível observar que não houve deslizamento do concreto nas extremidades (Figura 4.9), mas houve uma flambagem distorsional nas abas do perfil, como pode ser visto na Figura 4.10. Esta flambagem distorsional pode ter ocorrido por uma falha na concretagem ou simplesmente pelo fato de a largura de 20 milímetros da aba não ter sido suficiente para confinar o concreto. A carga última desta laje foi de 9,50 kN e a flecha máxima foi de 280 milímetros.



Figura 4.8 – Configuração final da laje após a ruptura do concreto – BMP-1.

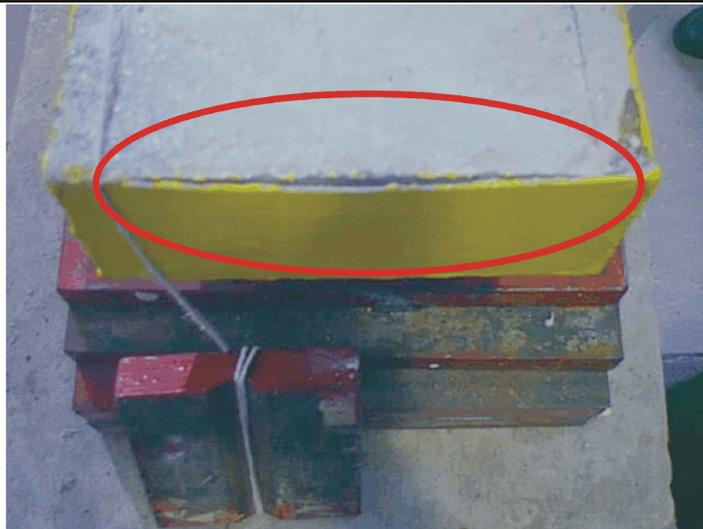


Figura 4.9 – Detalhe da extremidade da laje – BMP-1.



Figura 4.10 – Detalhe da flambagem distorsional – BMP-1.

4.2.2.

Teste da Laje BMP-2

O objetivo do teste BMP-2 foi comprovar o teste BMP-1.

A laje mista BMP-2, de dimensões de $0,2 \times 5,0$ metros, apresentava um vão livre de 4,8 metros devido aos apoios (um de primeiro e outro de segundo gênero) estarem a 10 centímetros das extremidades. A laje mista não tinha armadura e os séptos estavam, novamente, localizados somente nas

extremidades. A carga foi aplicada continuamente a cada 0,5 kN e distribuída em dois pontos por uma viga de distribuição. O comportamento da laje para os deslocamentos e para as deformações durante todo o ensaio é mostrado nos gráficos das Figuras 4.11, 4.12 e 4.13. Vale lembrar que os deslocamentos foram medidos pelo relógio e pelos LVDTs e as deformações pelos extensômetros.

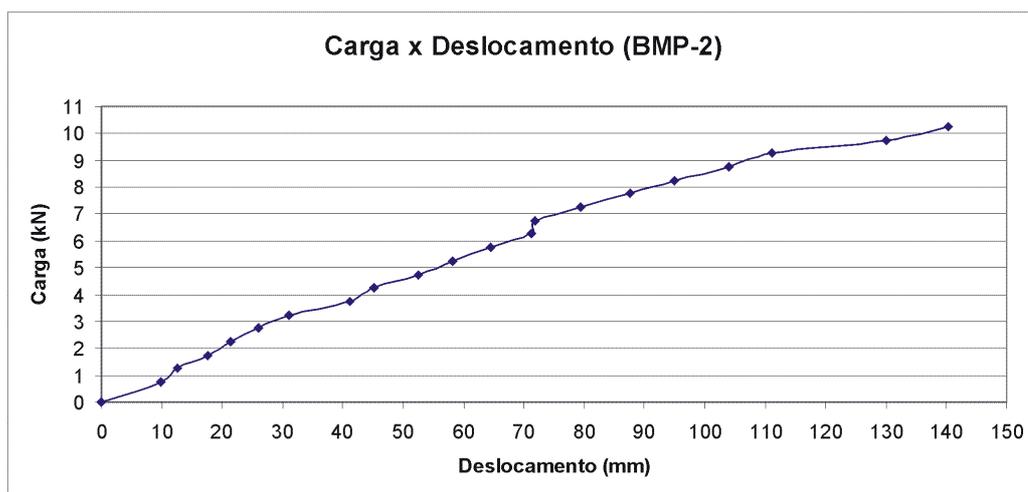


Figura 4.11 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir dos valores medidos pelo relógio analógico no centro do vão – BMP-2.

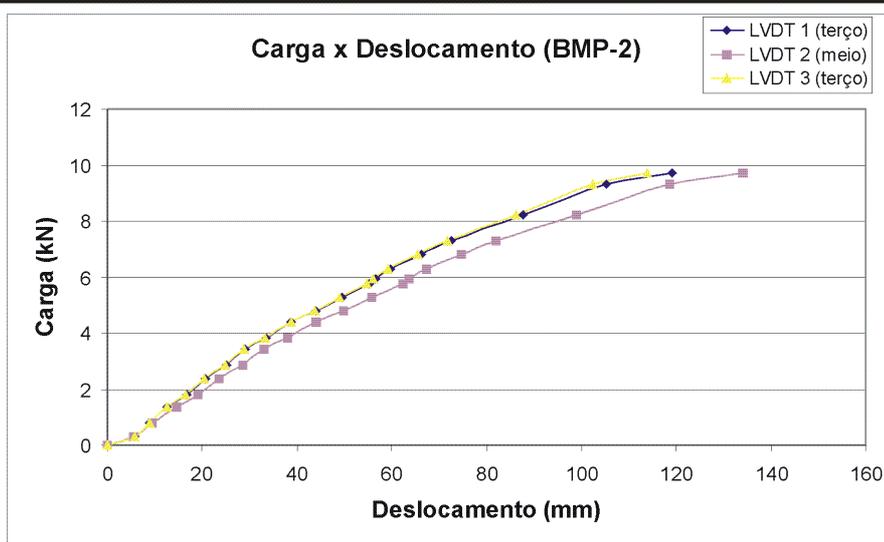


Figura 4.12 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir dos valores medidos pelos LVDTs no centro e em cada terço do vão – BMP-2.

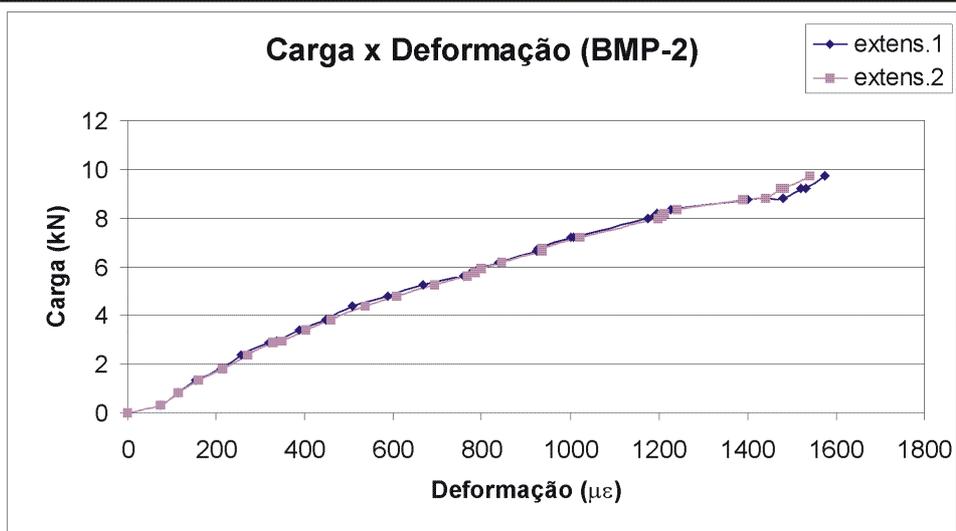


Figura 4.13 – Gráfico de Carga x Deformação, a partir de valores medidos pelos extensômetros no centro do vão – BMP-2.

A ruína da laje foi também pela ruptura (esmagamento) do concreto no meio do vão. Novamente não ocorreu o deslizamento do concreto nas extremidades (Figura 4.14), mas ocorreu a flambagem distorsional da aba do perfil, como mostra a Figura 4.15. A carga última foi de 9,75 kN e a flecha máxima foi de 126 mm.



Figura 4.14 – Detalhe da extremidade da laje – BMP-2.

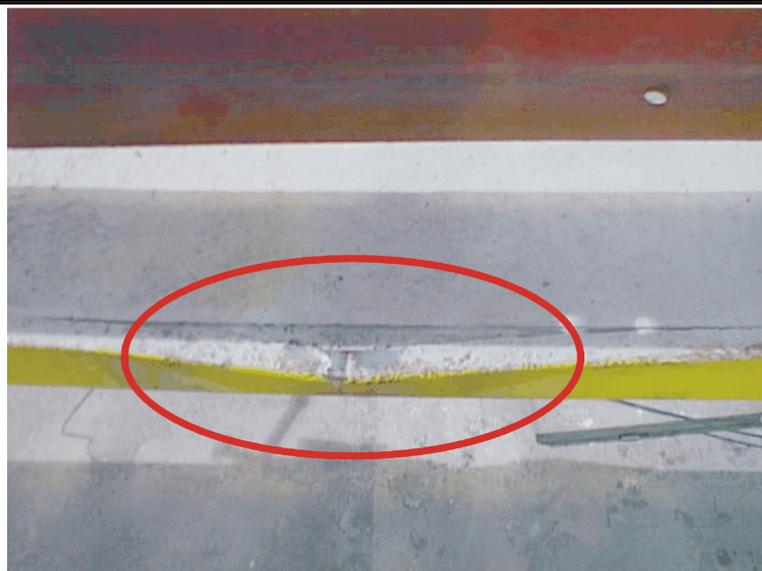


Figura 4.15 – Detalhe da flambagem distorsional – BMP–2.

Os séptos tinham como objetivo evitar o vazamento do concreto na concretagem. Contudo, após a realização destes dois testes, foi observado que os séptos funcionaram como um impedimento para o não deslizamento do concreto.

4.2.3.

Teste da Laje BMN–1

O objetivo do teste BMN–1 era avaliar o comportamento da laje para o momento negativo com as mesmas características dos testes BMP–1 e BMP–2.

Os gráficos das Figuras 4.16, 4.17 e 4.18 mostram o comportamento da carga com relação ao deslocamento e a deformação da laje BMN–1. Esta laje tinha dimensões de $0,2 \times 5,0$ metros, e vão livre de 4,8 metros, pelo fato dos apoios estarem localizados a 10 centímetros das extremidades. A carga foi aplicada continuamente a cada 0,25 kN até o colapso da estrutura e distribuída em dois pontos por uma viga de distribuição. A laje mista não possuía armadura e os séptos eram somente os das extremidades.

Com uma carga de 1,5 kN apareceram as primeiras fissuras no meio do vão. Depois, com uma carga de 3,5 kN, apareceram novas fissuras em um dos terços da laje. A ruptura dos extensômetros se deu com uma carga de 5,5 kN. A Figura 4.16 mostra o deslocamento da laje medido pelo relógio analógico. A Figura 4.17 mostra o deslocamento medido pelos LVDTs e a Figura 4.18 mostra as deformações do concreto medidas pelos extensômetros.

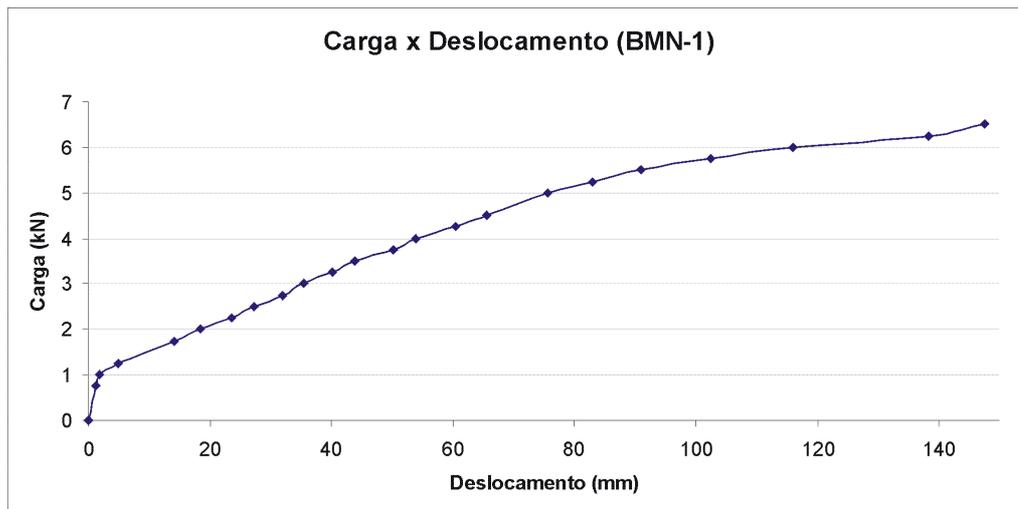


Figura 4.16 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelo relógio analógico no centro do vão – BMN-1.

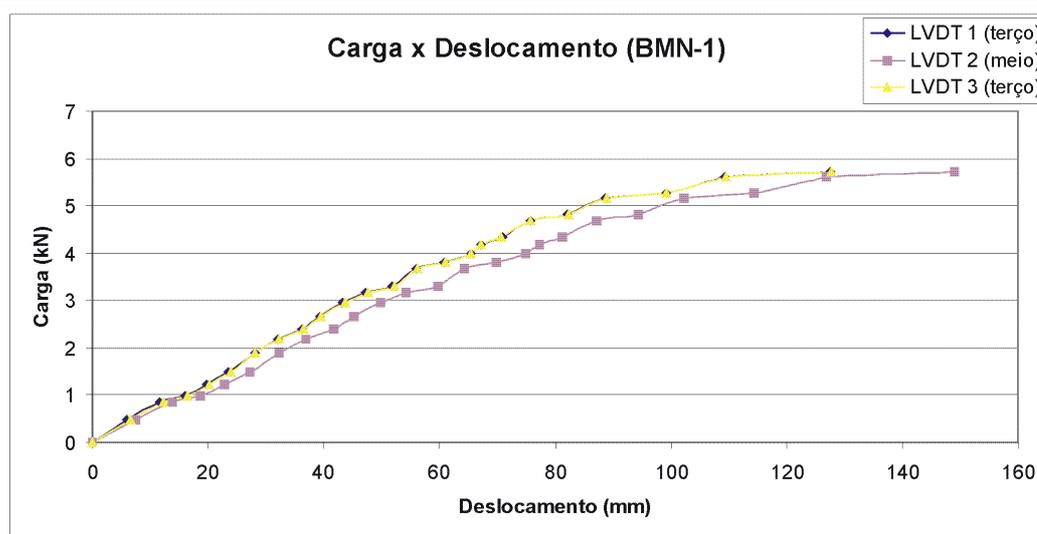


Figura 4.17 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelos LVDTs no centro e nos terços do vão – BMN-1.

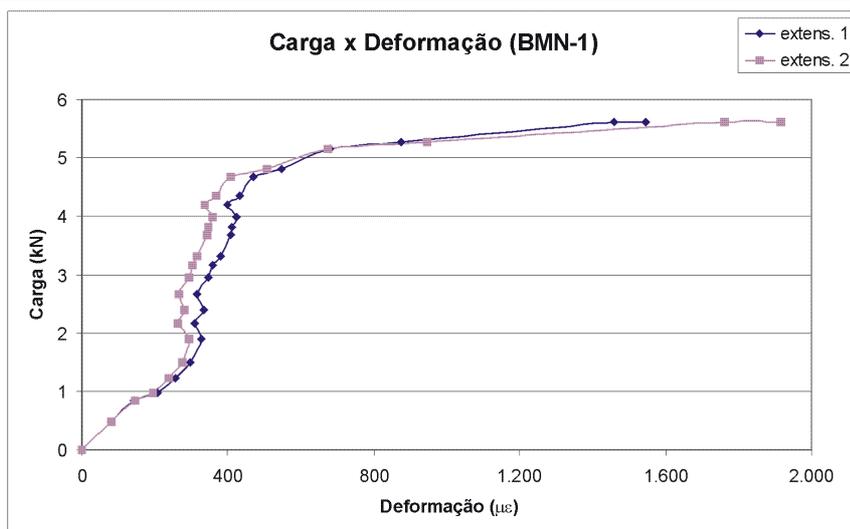


Figura 4.18 – Gráfico de Carga x Deformações, a partir de valores medidos pelos extensômetros no centro do vão – BMN-1.

A ruína da laje, apesar de não ter sido muito visível, ocorreu novamente pela ruptura do concreto (aproximadamente no meio do vão). Obteve-se a certeza dessa ruína através das fissuras e da ruptura dos extensômetros observadas na laje, como mostram, respectivamente, as Figuras 4.19 e 4.20. Novamente não foi observado qualquer deslizamento do concreto nas extremidades da laje. A carga última foi de 8,62 kN, com flecha máxima de 325 mm (Figura 4.21).



Figura 4.19 – Detalhes das fissuras – BMN-1.



Figura 4.20 – Detalhe da ruptura dos extensômetros – BMN-1



Figura 4.21 – Vista da flecha da laje BMN-1.

Os séptos tinham como objetivo evitar o vazamento do concreto na concretagem. Contudo, após a realização destes três testes, foi observado que os séptos funcionaram como um impedimento para o não deslizamento do concreto. Assim, surgiu a idéia de colocar os séptos em cada terço do vão.

4.2.4.

Teste da Laje BMP-3

O objetivo do teste BMP-3 foi avaliar o comportamento da laje com os séptos nas extremidades e em cada terço do vão.

Os gráficos das Figuras 4.22 e 4.23 mostram o comportamento da laje de $0,2 \times 3,0$ metros, com um vão livre de 2,8 metros, em relação ao deslocamento medido pelo relógio analógico e pelos LVDTs. Esta laje mista possuía séptos nas extremidades e em cada terço do vão. A carga foi aplicada continuamente a cada 0,5 kN até a estrutura atingir o colapso, e distribuída em dois pontos por uma viga de distribuição. A laje não possuía armadura.

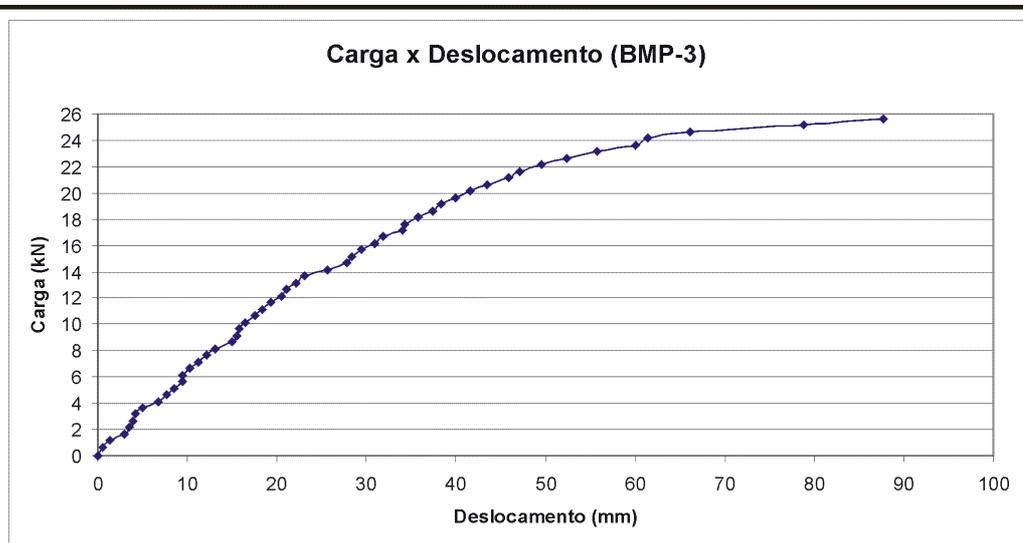


Figura 4.22 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelo relógio analógico no centro do vão – BMP-3.

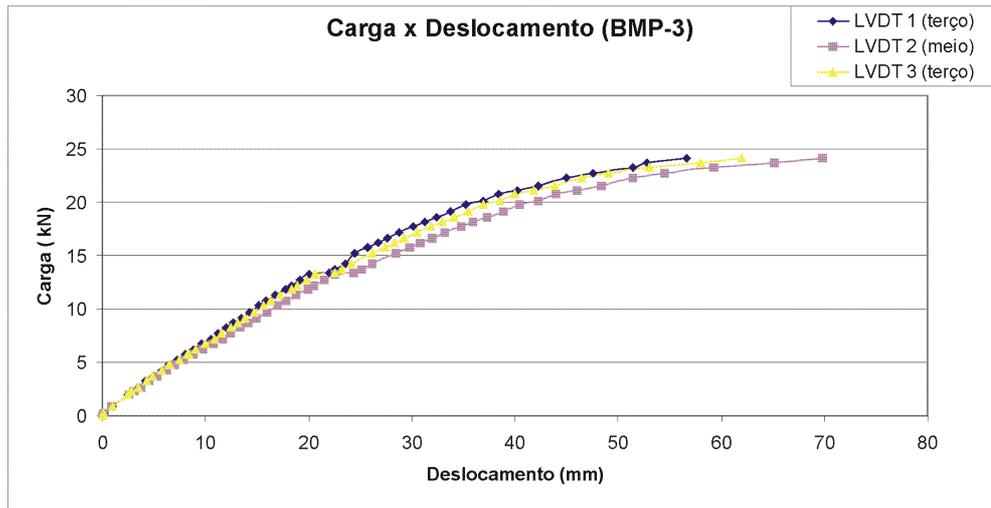


Figura 4.23 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelos LVDTs no centro e em cada terço do vão – BMP-3.

A ruína da laje se deu pela ruptura do concreto, conforme apresentado na Figura 4.24, em um dos terços (onde havia uma placa funcionando como conector de cisalhamento). Foi notado que houve flambagem distorsional das abas do perfil (Figura 4.25). Novamente não ocorreu o deslizamento do concreto nas extremidades da laje. A carga última foi de 26,65 kN, com flecha total de 160 mm (Figura 4.26).

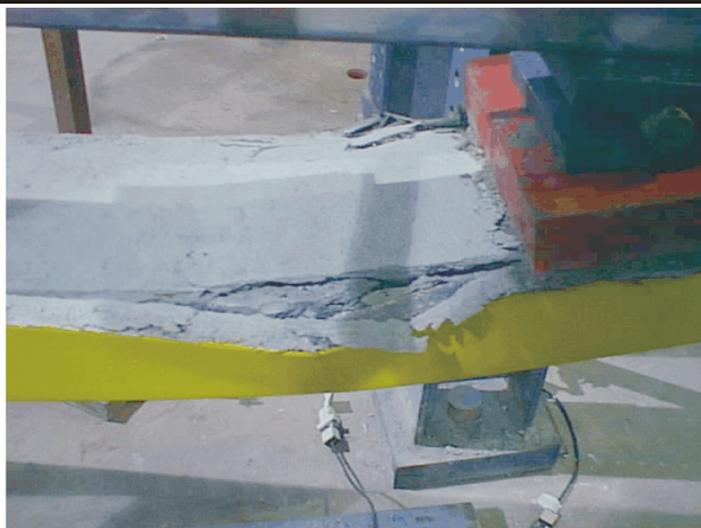


Figura 4.24 – Detalhe da ruptura do concreto – BMP-3.



Figura 4.25 – Detalhe da flambagem distorsional – BMP-3.



Figura 4.26 – Vista da flecha da laje – BMP-3.

4.2.5.

Teste da Laje BMN-2

O objetivo do teste BMN-2 foi avaliar o comportamento da laje sem séptos.

As Figuras 4.27 e 4.28 mostram o comportamento da laje de $0,2 \times 2,5$ metros, com um vão livre de 2,3 metros, em relação aos deslocamentos medidos pelo relógio analógico e pelos LVDTs. A carga foi aplicada continuamente a cada 0,5 kN e distribuída em dois pontos por uma viga de distribuição. Nesta laje mista não havia séptos nas extremidades e nem a cada terço do vão. No entanto, nela havia uma armadura que era composta por 3 ϕ de 8 milímetros,

espaçados a 30 milímetros da fôrma. Com uma carga de 5.65 kN apareceram as primeiras fissuras.

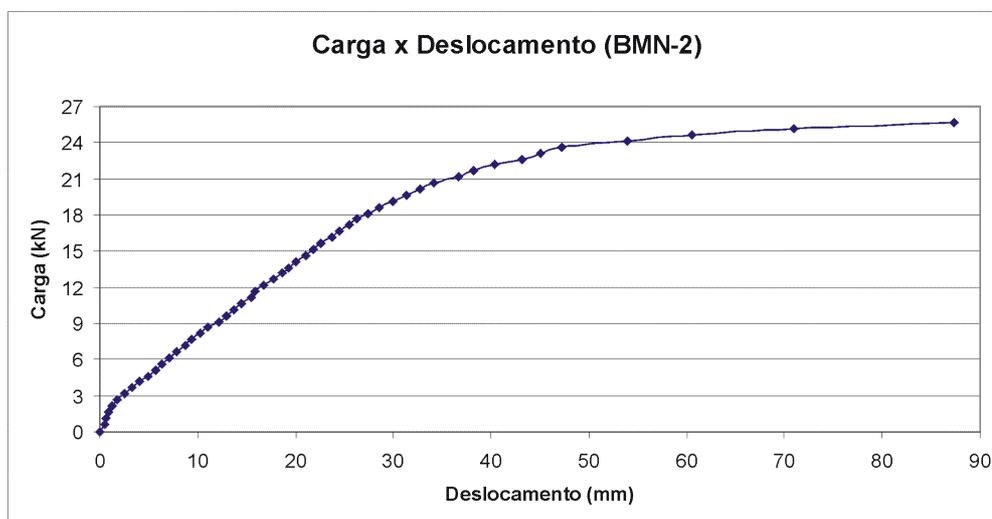


Figura 4.27 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelo relógio analógico no centro do vão – BMN-2.

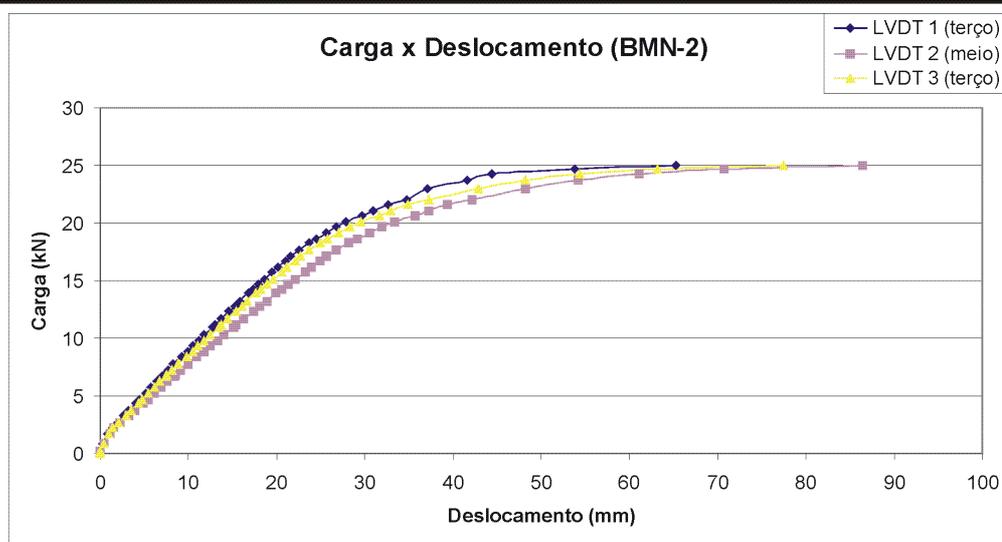


Figura 4.28 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelos LVDTs no centro e em cada terço do vão – BMN-2.

Neste caso, houve apenas grandes fissuras (Figura 4.29) mas não ocorreu a ruptura do concreto. Mesmo sem os séptos nas extremidades não houve deslizamento do concreto, como pode ser verificado na Figura 4.30. A carga última foi de 26,95 kN, apesar de não ter sido a carga de ruptura. O teste foi

interrompido sem ruína, quando o deslocamento no centro do vão atingiu 200 mm, ou seja, $\text{vão}/12,5$. A flecha da laje pode ser vista na Figura 4.31.



Figura 4.29 – Detalhe das fissuras da laje – BMN-2.



Figura 4.30 – Foto mostrando a ausência de deslizamento do concreto – BMN-2.



Figura 4.31 – Vista da flecha da laje – BMN-2.

4.2.6.

Teste da Laje BMN-3

O objetivo do teste BMN-3 foi comprovar os resultados do teste BMN-2.

Os gráficos das Figuras 4.32 e 4.33 mostram o comportamento da laje de $0,2 \times 2,5$ metros, com um vão livre de 2,3 metros (como a laje mista BMN-2), em relação ao deslocamento medido pelo relógio analógico e pelos LVDTs. A carga foi aplicada em dois pontos por uma viga de distribuição, em intervalos de 0,5 kN até a sua ruptura. Não havia qualquer tipo de séptos. Havia somente uma armadura composta por 3 ϕ de 8 milímetros, espaçados a 30 milímetros da fôrma. As primeiras fissuras apareceram com uma carga de 15,5 kN.

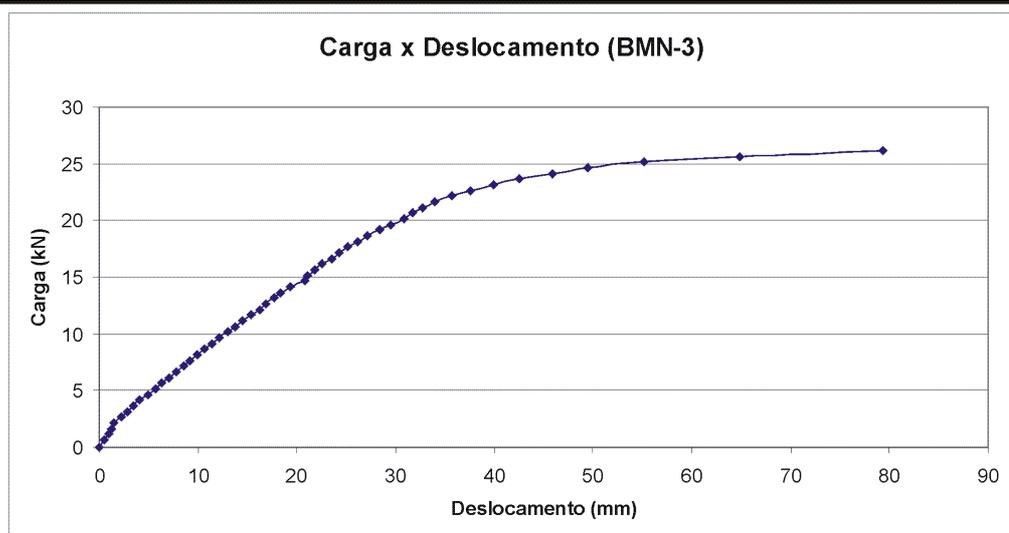


Figura 4.32 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelo relógio analógico no centro do vão – BMN-3.

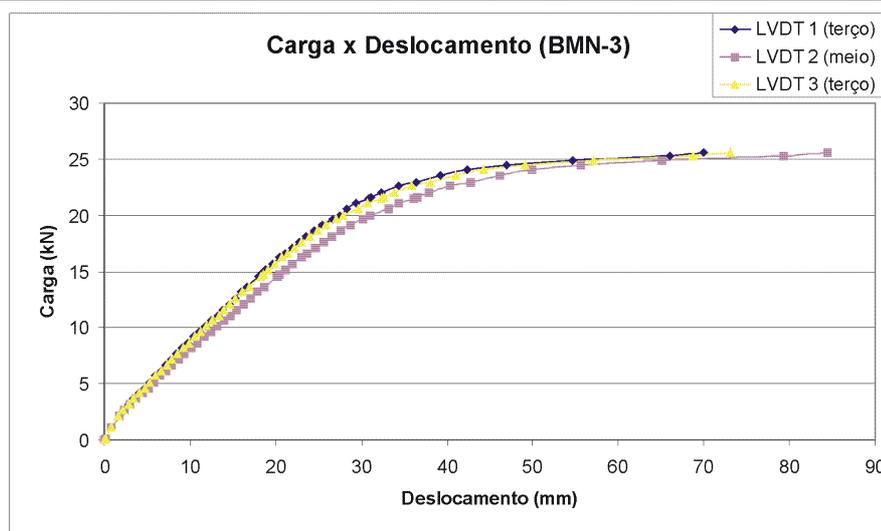


Figura 4.33 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelos LVDTs no centro e em cada terço do vão – BMN-3.

A ruína da laje se deu pela ruptura do concreto (Figura 4.34), aproximadamente no meio do vão. Mesmo sem os séptos nas extremidades, não houve qualquer deslizamento do concreto, como pode ser observado na Figura 4.35. Foi possível notar uma pequena flambagem distorsional na fôrma (que estava sujeita à compressão), situada em uns dos terços (Figura 4.36). A carga última foi de 26.65 kN, com flecha máxima de 160 mm.



Figura 4.34 – Detalhe da ruptura do concreto – BMN-3.



Figura 4.35 – Foto mostrando a ausência de deslizamento do concreto – BMN-3.



Figura 4.36 – Detalhe da flambagem distorsional da fôrma da laje – BMN-3.

4.2.7.

Teste da Laje BMP-4

Com os resultados obtidos dos testes BMP-1, BMP-2 e BMP-3, surgiu a necessidade de realizar um teste para um vão maior, o teste BMP-4.

Os gráficos das Figuras 4.37 e 4.38 apresentam o comportamento da laje de $0,2 \times 5,0$ metros, com um vão livre de 4,8 metros, em relação aos deslocamentos medidos pelo relógio analógico e pelos LVDTs. A carga foi aplicada a cada 0,5 kN e distribuída em dois pontos por uma viga de distribuição, até a estrutura atingir o colapso. Este teste foi realizado com a colocação de séptos nas extremidades e em cada terço do vão. Não havia qualquer armadura nesta laje mista.

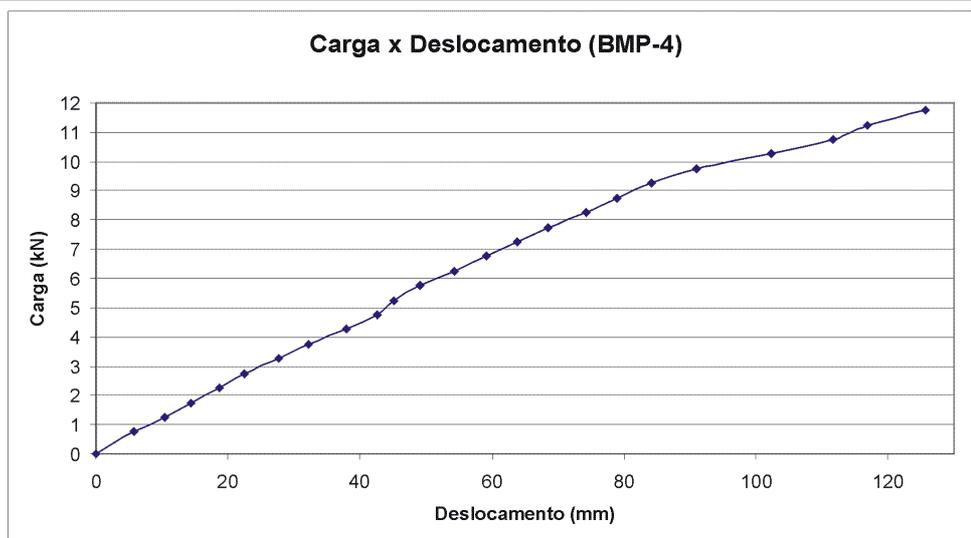


Figura 4.37 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelo relógio analógico no centro do vão – BMP-4.

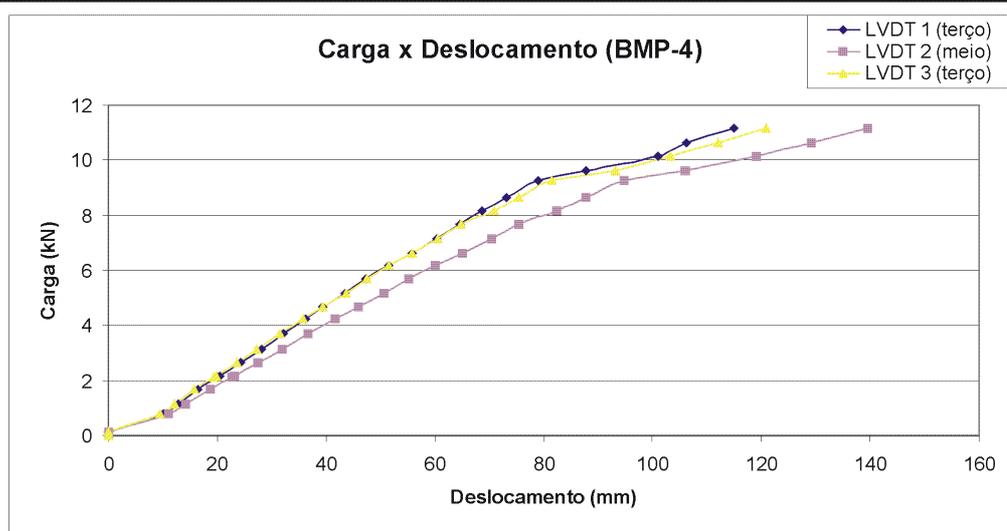


Figura 4.38 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelos LVDTs no centro e a cada terço do vão – BMP-4.

A ruína da laje se deu pela ruptura do concreto (Figura 4.39), aproximadamente no terço do vão (onde se localizavam os séptos). Nas extremidades, não houve qualquer deslizamento do concreto. Foi possível notar uma pequena flambagem distorsional nas abas da fôrma situada em uns dos terços, conforme mostra a Figura 4.40. A Figura 4.41 apresenta a flecha da laje. A carga última foi de 13,75 kN, com flecha máxima de 286 mm.



Figura 4.39 – Foto da ruptura do concreto – BMP-4.



Figura 4.40 – Detalhe da flambagem distorsional da aba da fôrma – BMP-4.



Figura 4.41 – Vista da flecha da laje – BMP-4.

4.2.8.

Teste da Laje BMP-5

O objetivo do teste BMP-5 foi comprovar os resultados do teste BMP-4.

Os gráficos das Figuras 4.42 e 4.43 mostram o comportamento da laje de $0,2 \times 5,0$ metros, com um vão livre de 4,8 metros (como a laje mista BMP-4), em relação ao deslocamento medido pelo relógio analógico e pelos LVDTs. A carga foi aplicada como na laje BMP-4. Esta laje tinha séptos nas extremidades e em cada terço. Não foi colocado nenhum tipo de armadura no concreto.

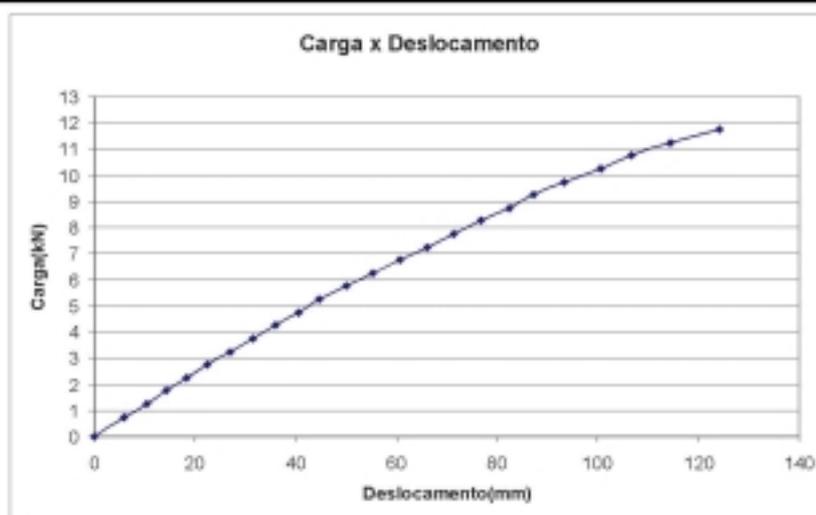


Figura 4.42 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelo relógio analógico no centro do vão – BMP-5.

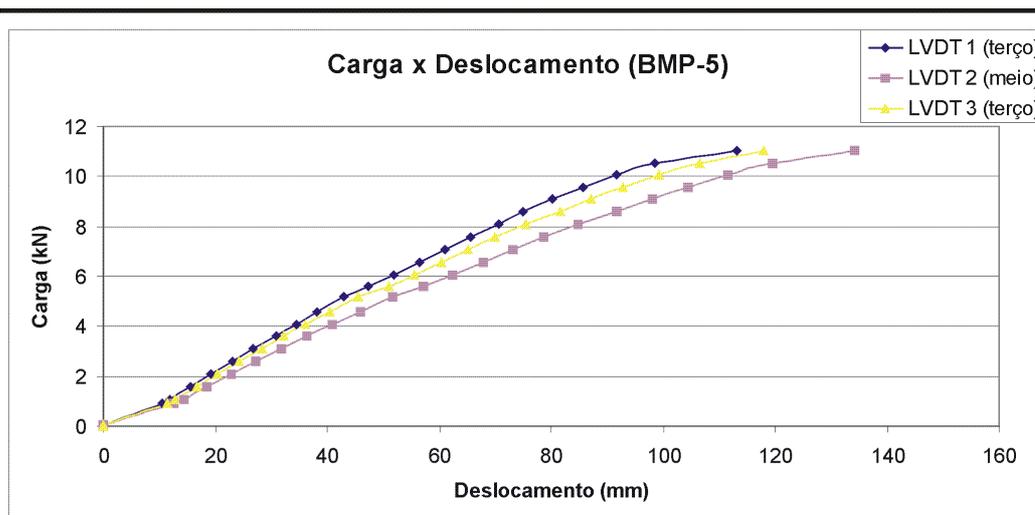


Figura 4.43 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelos LVDTs no centro e em cada terço do vão – BMP-5.

Conforme apresentado na Figura 4.44, a ruína da laje se deu pela ruptura do concreto, aproximadamente no terço do vão (onde localizavam os séptos). Nas extremidades, não houve qualquer deslizamento do concreto. Foi possível notar uma pequena flambagem distorsional nas abas da fôrma situada em uns dos terços (Figura 4.45). A carga última foi de 14,15 kN, com flecha máxima de 310 mm.



Figura 4.44 – Foto da ruptura do concreto – BMP-5.



Figura 4.45 – Detalhe da flambagem distorsional – BMP-5.

4.2.9.

Teste da Laje BMP-6

O objetivo do teste BMP-6 foi avaliar o comportamento da laje para três bandejas com os séptos nas extremidades e em cada terço do vão.

Este teste consistiu em uma laje mista composta por três perfis soldados entre si. Esta laje apresentava dimensões de $0,58 \times 5,0$ metros, com vão livre de 4,8 metros devido aos apoios estarem localizados a 10 centímetros das extremidades. Foram colocados séptos nas extremidades e nos terços em cada bandeja, somando um total de 12 séptos.

A princípio, a carga foi aplicada a cada 1,0 kN até atingir uma carga de 46 kN. Depois a carga passou a ser aplicada a cada 2,0 kN, até atingir o colapso da estrutura. Esta carga foi distribuída em dois pontos, com o auxílio de uma viga de distribuição. Nesta laje havia também uma armadura composta de 3 ϕ de 8 milímetros, espaçados a 30 milímetros da fôrma. Esta armadura estava localizada somente na bandeja mais baixa da estrutura.

A Figura 4.46 mostra o comportamento da laje mista BMP-6 em relação ao deslocamento medido pelo relógio analógico.

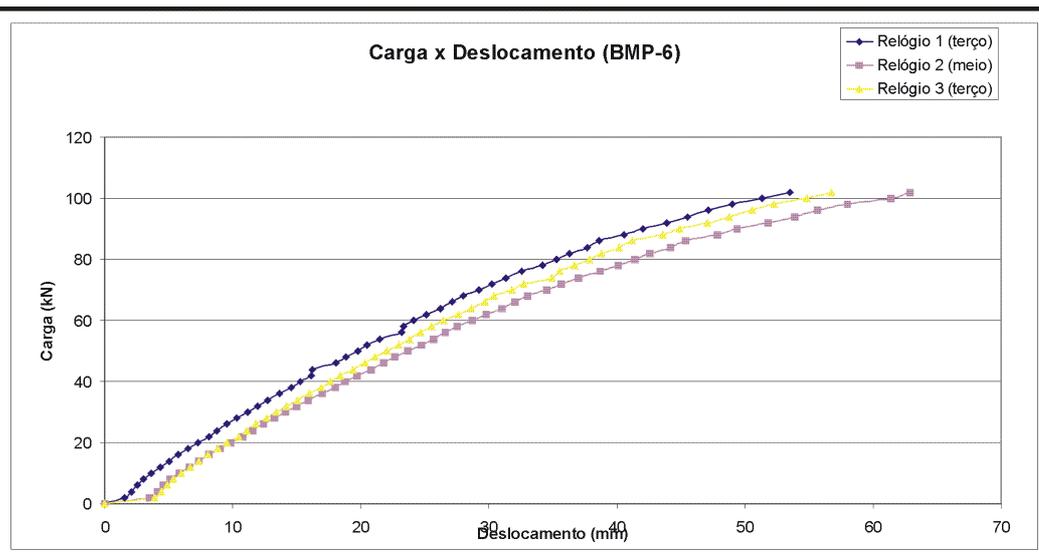


Figura 4.46 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelo relógio analógico no centro e em cada terço do vão – BMP-6.

A ruína da laje se deu pela ruptura do concreto (Figuras 4.47, 4.48 e 4.49), aproximadamente no terço do vão (onde estavam os séptos). Nas extremidades, não houve qualquer deslizamento do concreto. A carga última foi de 118 kN, com flecha máxima de 253 mm.



Figura 4.47 – Foto 1 da ruptura do concreto – BMP-6.



Figura 4.48 – Foto 2 da ruptura do concreto – BMP-6.

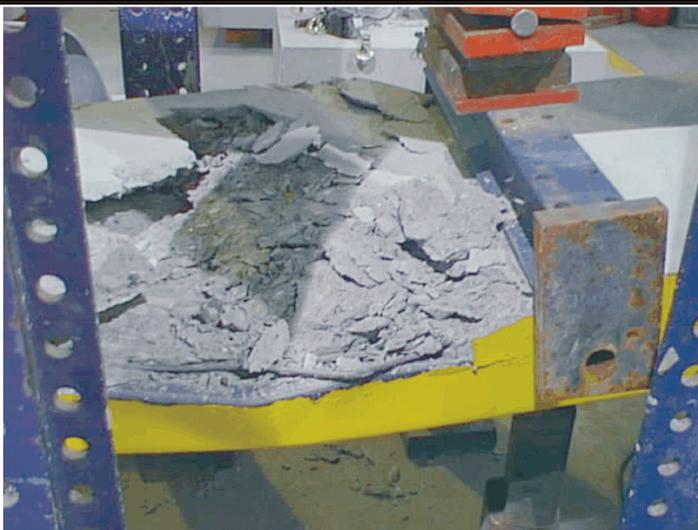


Figura 4.49 – Foto 3 da ruptura do concreto – BMP-6.

4.2.10.

Teste da Laje BMP-7

O objetivo do teste BMP-7 foi comprovar os resultados do teste BMP-6.

Este teste foi com uma laje mista composta por três perfis soldados entre si. A laje tinha dimensões de $0,58 \times 5,0$ metros, com vão livre de 4,8 metros. Este teste foi realizado com séptos nas extremidades e nos terços em cada bandeja, sendo ao todo 12 séptos (como a laje mista BMP-6).

Neste teste foi aplicada uma pré-carga de 20 kN aplicadas a cada 0,5 kN. Depois de aplicada a carga (20 kN), foi esperado um tempo de 30 minutos até a retirada total da mesma.

Após o teste de pré-carga, se deu o início do teste. Como já se conhecia o comportamento da estrutura e já se tinha a idéia da carga de ruptura, a carga inicialmente foi aplicada a cada 2,50 kN até a carga de 70 kN. Posteriormente a carga passou a ser aplicada a cada 2,0 kN, até atingir 100 kN. A partir disso, a carga foi aplicada a cada 1,0 kN até atingir o colapso da estrutura.

A Figura 4.50 mostra o comportamento da laje de, $0,58 \times 5,0$ metros (composta por três bandejas), em relação ao deslocamento medido pelo relógio analógico no teste de pré-carga.

O gráfico da Figura 4.51 apresenta o comportamento da laje de, $0,58 \times 5,0$ metros (composta por três bandejas), em relação ao deslocamento medido pelo relógio analógico no teste final.

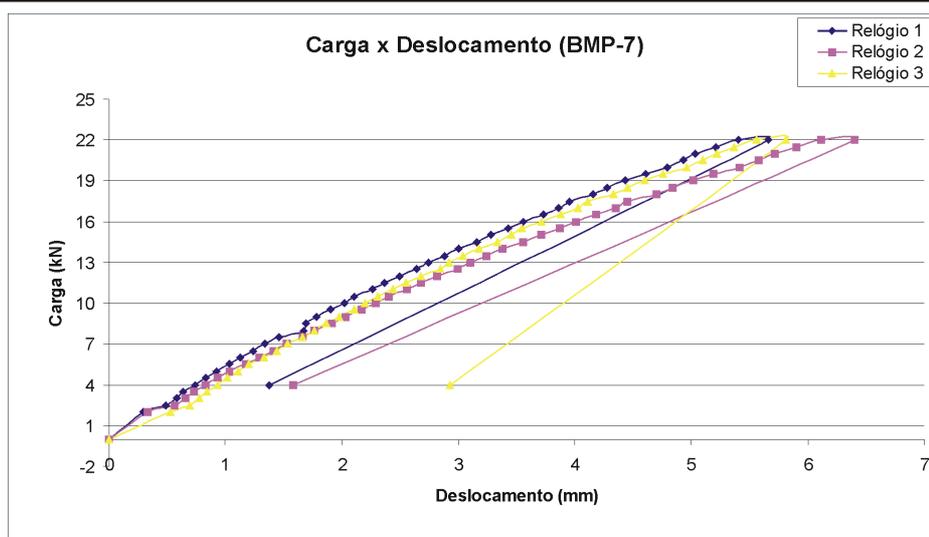


Figura 4.50 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelo relógio analógico no centro e em cada terço do vão – BMP-7 (pré-teste).

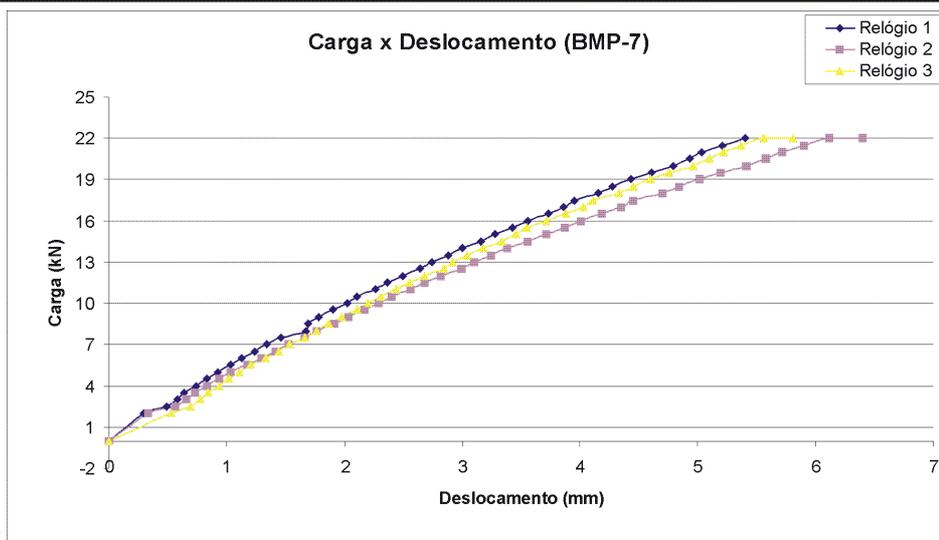


Figura 4.51 – Gráfico de Carga x Deslocamento, a partir de valores medidos pelo relógio analógico no centro e em cada terço do vão – BMP-7.

A ruína da laje se deu pela ruptura do concreto, aproximadamente no terço do vão (onde estavam localizados os séptos), conforme mostram as Figuras 4.52 e 4.53. Nas extremidades, não houve qualquer deslizamento do concreto. A carga última foi de 129 kN, com flecha máxima de 214 mm (Figura 4.54).

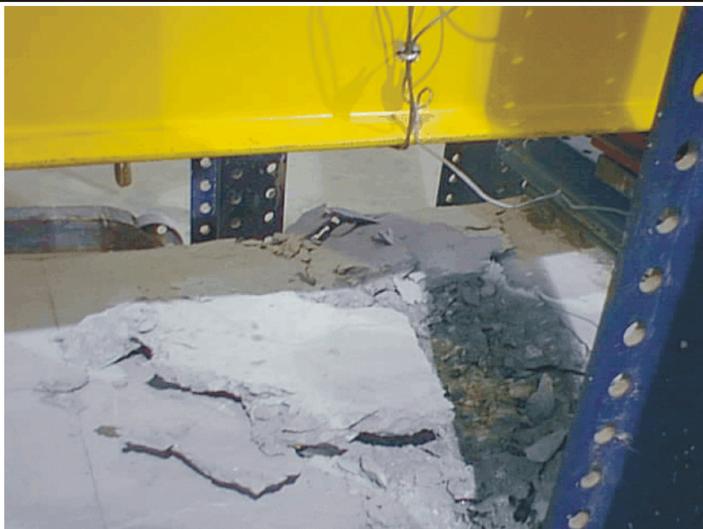


Figura 4.52 – Foto 1 da ruptura do concreto – BMP-7.



Figura 4.53 – Foto 2 da ruptura do concreto – BMP-7.



Figura 4.54 – Vista da flecha da laje – BMP-7.

A Tabela 4.4 apresenta um resumo dos resultados dos testes realizados.

Teste	Carga Última (kN)	M _{Último} (kN.m)	Modo de Ruína	Vão (m)	Quant. Séptos
BMP-1	9,5	7,91	Esmagamento do concreto	4.8	2
BMP-2	9,75	8,12	Esmagamento do concreto	4.8	2
BMP-3	26,65	13,325	Esmagamento do concreto	2.8	4
BMP-4	13,75	11,45	Esmagamento do concreto	4.8	4
BMP-5	14,15	11,79	Esmagamento do concreto	4.8	4
BMP-6	118	98,33	Esmagamento do concreto	4.8	12
BMP-7	129	107,5	Esmagamento do concreto	4.8	12
BMN-1	8,62	7,18	Esmagamento do concreto	4.8	2
BMN-2	26,95	11,22	Deformação plástica excessiva	2.3	Sem séptos
BMN-3	26,65	11,10	Esmagamento do concreto	2.3	Sem séptos

Tabela 4.4 Resultados dos testes realizados.

A partir dos dez testes realizados, algumas conclusões podem ser tiradas:

- a ruína da laje se deu pela ruptura do concreto em quase todos os testes, como era previsto;
- o local no qual ocorreram as ruínas dependeu da posição dos séptos na laje. Quando estes séptos foram colocados nas extremidades, a ruptura da laje ocorreu no meio do vão. Quando foram colocados nas extremidades e em cada terço do vão, a ruptura do concreto ocorreu em um dos terços;
- em todos os testes BMPs ocorreu flambagem distorsional, pelo fato de a largura de 20 milímetros da aba não ter sido suficiente para confinar o concreto;
- nos testes BMPs que utilizaram séptos nas extremidades e nos terços do vão, as lajes suportaram uma maior carga com pouca variação da flecha. Na Seção 5.3 serão apresentados mais detalhes desta conclusão;
- para os testes BMNs de pequenos vãos não é necessário o uso de séptos, pois não ocorreram deslizamentos do concreto durante os testes. Contudo, não é possível afirmar o mesmo para grandes vãos, pois testes não foram realizados para comprovação;

- em todos os testes BMPs havia séptos que contribuíram para o não deslizamento do concreto. Contudo, é interessante realizar testes BMPs sem séptos.