

3

Descrição dos Ensaios Experimentais

3.1

Introdução

A melhor forma de se obter o comportamento real das ligações estruturais em aço é através de ensaios experimentais realizados em laboratório. Com estes ensaios, torna-se possível calibrar os diversos modelos existentes para determinação do momento resistente, da rigidez inicial e de sua capacidade de rotação, a partir das propriedades mecânicas e geométricas destas ligações.

Todavia, o planejamento dos ensaios a serem realizados deve ser feito de forma bastante criteriosa para que se consiga extrair todas as informações necessárias para a avaliação do fenômeno em questão.

No caso do presente trabalho, tornava-se necessária a avaliação das diversas componentes presentes nas ligações para os diversos tipos de carregamentos efetuados.

Foram escolhidos dois tipos de ligações viga-coluna: o primeiro com placa de extremidade ajustada à altura da viga e o segundo, com placa de extremidade estendida, ou seja, com pelo menos uma linha de parafusos fora da região compreendida pelas mesas da viga. Três tipos de carregamentos foram efetuados: inicialmente, somente momento fletor seguido de momento fletor e esforço axial de compressão e, finalmente, momento fletor com esforço axial de tração.

3.2

Justificativa dos Ensaios Experimentais

A escolha dos perfis usados nos ensaios seguiu critérios que serão descritos a seguir. A viga adotada deveria ser tal que a sua resistência plástica não fosse muito grande tendo em vista que o esforço axial aplicado era um percentual deste valor e limitado pela capacidade dos equipamentos existentes no laboratório onde foram realizados os ensaios. Por outro lado, esta viga deveria ter altura suficiente para vencer um vão coerente com os utilizados em

edifícios de aço, da ordem de 6,0m [4]. Após alguns estudos preliminares, adotou-se um **IPE240** para as vigas, fabricado a partir de um aço S275, ou seja, com tensão nominal de escoamento igual a 275MPa e tensão nominal de ruptura igual a 430MPa.

Para a coluna, era necessário escolher-se um perfil que tivesse suficiente resistência ao momento fletor provocado pelo esforço axial imposto. Uma outra condicionante era que as componentes referentes a coluna, não atingissem o escoamento antes das demais. Considerando-se estas informações, após algumas análises iniciais, adotou-se um **HEB240** para a coluna, fabricado a partir do mesmo aço da viga. Ambos os perfis são laminados e detalhados na Figura 3.1 onde se apresenta também um perfil **HEB200** utilizado para travamento da sapata de reação conforme será descrito na seção 3.4.1 .

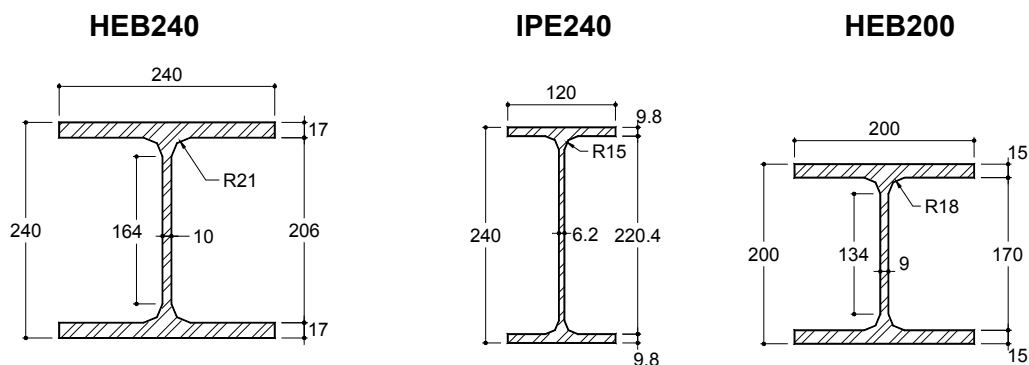


Figura 3.1 – Dimensões dos perfis laminados IPE240, HEB240 e HEB200

Adotou-se uma placa de extremidade com espessura de 15mm produzida com o mesmo tipo de aço da viga e da coluna. A ligação da viga com a placa de extremidade foi efetuada com solda de entalhe com espessura $a_w = 8\text{mm}$. Os parafusos eram M20 ($d = 19,05\text{mm}$), cl. 10.9 ($f_u = 1000\text{MPa}$) com rosca completa cujas dimensões nominais são apresentadas na Figura 3.2.

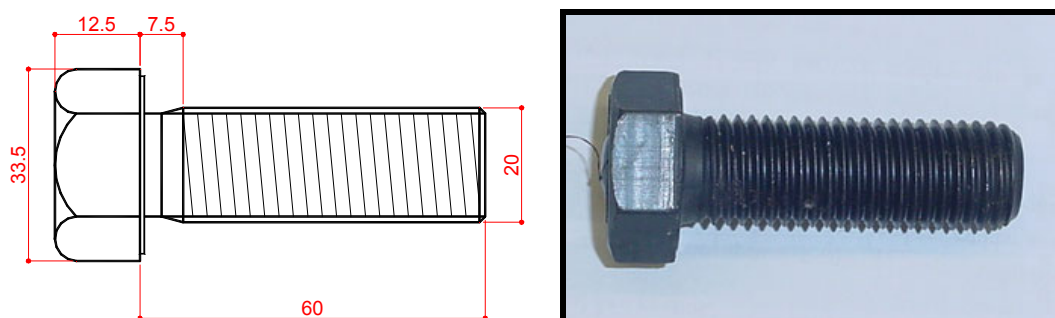
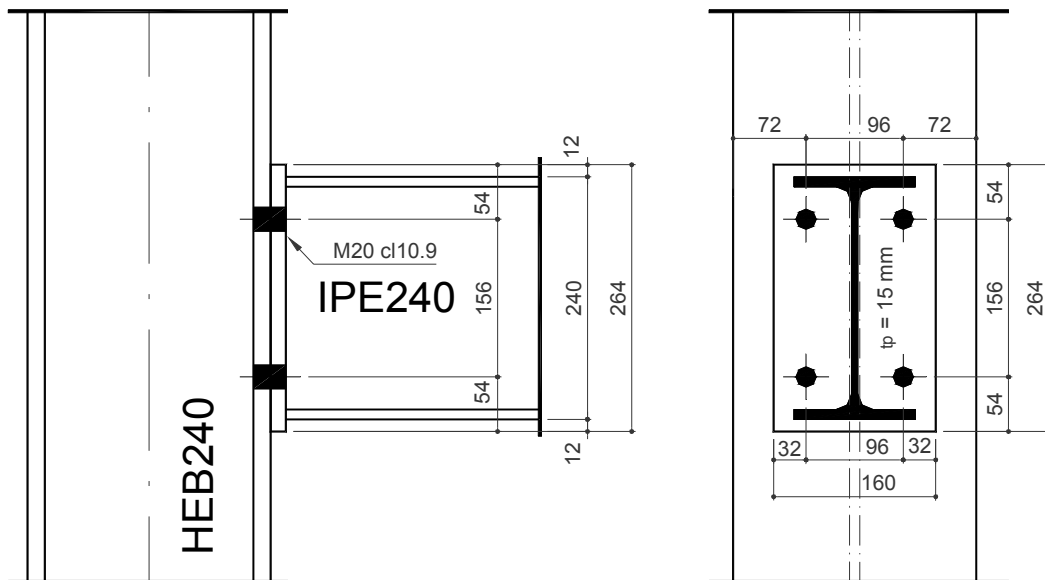
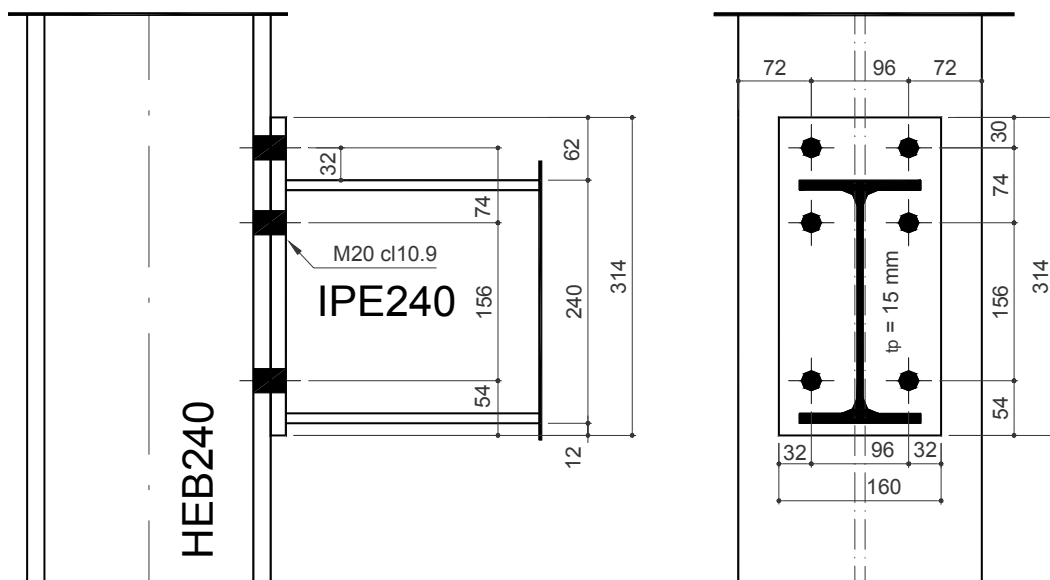


Figura 3.2 – Detalhe do parafuso M20 cl. 10.9

Na Figura 3.3(a) apresenta-se a ligação adotada na primeira série de ensaios, denominados FE (“*flush endplate*”). Já na Figura 3.3(b), pode-se observar a ligação com placa de extremidade estendida utilizada na segunda série de ensaios, denominados EE (“*extended endplate*”). O Anexo C apresenta maiores detalhes das ligações e demais peças utilizadas nos ensaios.

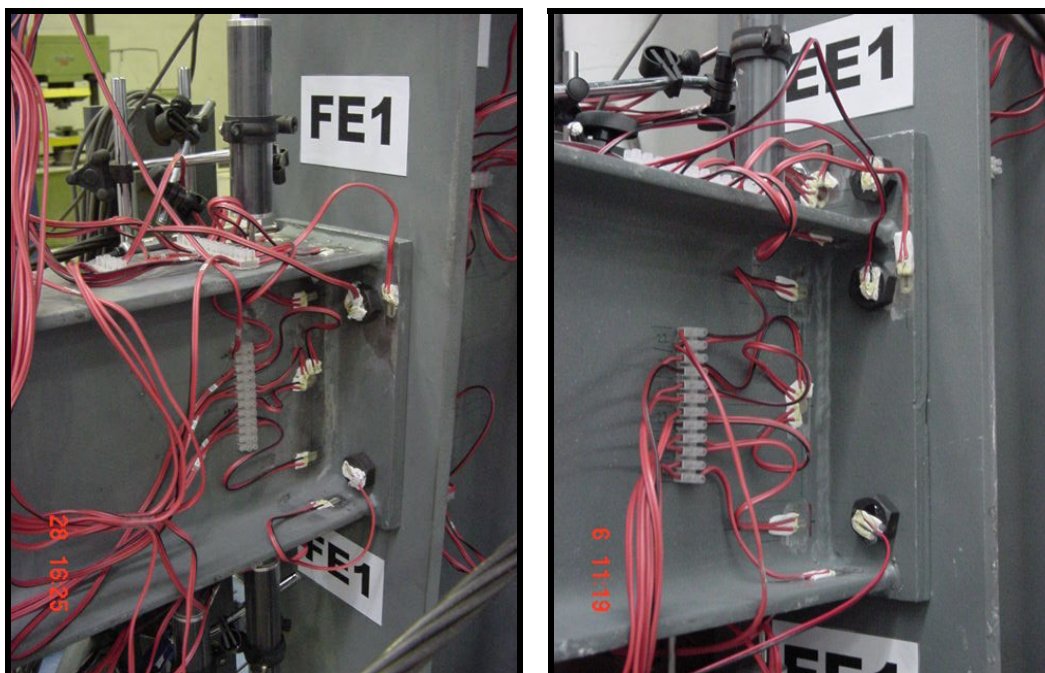


(a) ligação com placa de extremidade ajustada (série FE)



(b) ligação com placa de extremidade estendida (série EE)

Figura 3.3 – Detalhe das ligações utilizadas nos ensaios



(a) placa de extremidade ajustada

(b) placa de extremidade estendida

Figura 3.4 – Ligações com placa de extremidade (ambas as séries)

3.3

Cálculo das Ligações

Um dimensionamento prévio das ligações submetidas apenas a momento fletor, segundo as recomendações de projeto do Eurocode 3, foi realizado utilizando-se valores nominais para as propriedades mecânicas e geométricas das ligações e utilizando-se coeficientes de resistência iguais a 1,0.

Na Tabela 3.1 são apresentados os valores individuais de resistência e de rigidez de cada componente para as ligações com placa de extremidade ajustada. Vale ressaltar que, para garantir o equilíbrio interno das forças atuantes na ligação, as componentes em compressão aparecem em todas as linhas de parafusos em tração. Pode-se perceber que a componente que controla o dimensionamento na zona tracionada é a placa de extremidade à flexão (5) e na zona comprimida, a mesa da viga em compressão (7). O Anexo D apresenta o dimensionamento detalhado da ligação com placa de extremidade estendida utilizando-se os valores nominais para os aços utilizados na fabricação dos perfis.

Tabela 3.1 – Dimensionamento das componentes – Ensaios FE

	Componente	F_{Rd} (kN)	k / E (mm)
componentes na região em compressão	(1) alma da coluna ao corte	475,0	7,52
	(2) alma da coluna à compressão	506,3	10,13
	(7) mesa da viga à compressão	438,4	∞
linha 1 (h = 193,1 mm)	(1) alma da coluna ao corte	475,0	7,52
	(2) alma da coluna à compressão	506,3	10,13
	(7) mesa da viga à compressão	438,4	∞
	(3) alma da coluna à tração	394,2	7,03
	(4) mesa da coluna à flexão	375,5	38,22
	(5) placa de extremidade à flexão	305,7	13,35
	(8) alma da viga à tração	365,5	∞
(10) parafusos à tração	441,0	7,76	
linha 2 (h = 37,1 mm)	(1) alma da coluna ao corte	169,2	7,52
	(2) alma da coluna à compressão	200,5	10,13
	(7) mesa da viga à compressão	132,7	∞
	(3) alma da coluna à tração	310,8	7,03
	(4) mesa da coluna à flexão	375,5	38,22
	(5) placa de extremidade à flexão	293,3	13,35
	(8) alma da viga à tração	365,5	∞
(10) parafusos à tração	441,0	7,76	
$M_{j,Rd} = 305,7 \times 0,193 + 132,7 \times 0,037 = 63,96 \text{ kN.m}$ $S_{j,ini} = 11772,2 \text{ kN.m/rad}$ e $S_{j,ini}/\eta = 5886,1 \text{ kN.m/rad}$			

Tabela 3.2 – Dimensionamento das componentes – Ensaios EE

	Componente	F_{Rd} (kN)	k / E (mm)
componentes na região em compressão	(1) alma da coluna ao corte	475,0	5,68
	(2) alma da coluna à compressão	506,3	10,13
	(7) mesa da viga à compressão	438,4	∞
linha 1 (h = 267,1 mm)	(1) alma da coluna ao corte	475,0	5,68
	(2) alma da coluna à compressão	506,3	10,13
	(7) mesa da viga à compressão	438,4	∞
	(3) alma da coluna à tração	394,2	5,74
	(4) mesa da coluna à flexão	375,5	31,21
	(5) placa de extremidade à flexão	215,7	18,99
(10) parafusos à tração	441,0	7,76	
linha 2 (h = 193,1 mm)	(1) alma da coluna ao corte	259,3	5,68
	(2) alma da coluna à compressão	290,6	10,13
	(7) mesa da viga à compressão	222,7	∞
	(3) alma da coluna à tração	327,8	4,91
	(4) mesa da coluna à flexão	375,5	26,70
	(5) placa de extremidade à flexão	305,7	13,35
	(8) alma da viga à tração	365,5	∞
(10) parafusos à tração	441,0	7,76	
linha 3 (h = 37,1 mm)	(1) alma da coluna ao corte		5,68
	(2) alma da coluna à compressão		10,13
	(7) mesa da viga à compressão		∞
	(3) alma da coluna à tração		7,03
	(4) mesa da coluna à flexão		38,22
	(5) placa de extremidade à flexão		11,42
	(8) alma da viga à tração		∞
(10) parafusos à tração		7,76	
$M_{j,Rd} = 215,7 \times 0,267 + 222,7 \times 0,193 = 100,6 \text{ kN.m}$ $S_{j,ini} = 22740,4 \text{ kN.m/rad}$ e $S_{j,ini}/\eta = 11370,2 \text{ kN.m/rad}$			

Na Tabela 3.2 encontram-se os valores individuais das componentes da ligação com placa de extremidade estendida. Para a terceira linha de parafusos, não foi calculado o valor de sua contribuição na resistência global da ligação porque, segundo o Eurocode 3, se a altura de uma linha de parafusos em tração for inferior a 40% da altura da linha de parafusos mais afastada, esta pode ser desprezada no dimensionamento. Da mesma forma, para esta ligação, as componentes críticas são a placa de extremidade à flexão (zona tracionada) e a mesa da viga em compressão (zona em compressão). A Tabela 3.3 apresenta um sumário dos ensaios realizados com os respectivos carregamentos aplicados onde o esforço axial representa uma percentagem da resistência plástica da viga à força normal (1084 kN).

Tabela 3.3 – Descrição dos carregamentos aplicados nos ensaios

Ensaio FE			Ensaio EE		
ID	Esforço Axial		ID	Esforço Axial	
	(%N _{pl} da viga)	(kN)		(%N _{pl} da viga)	(kN)
FE1(teste)	-	-	EE1	-	-
FE1	-	-	EE2	- 10%	-137,0
FE3	- 4%	-52,7	EE3	- 20%	-259,6
FE4	- 8%	-105,6	EE4	- 27%	-363,0
FE5	- 20%	-265,0	EE5	- 15%	-195,4
FE6	- 27%	-345,0	EE6	+ 10%	+130,6
FE7	- 20%	-265,0	EE7	+ 20%	+257,1
FE8	+ 10%	+130,6			
FE9	+ 20%	+264,9			

3.4

Caracterização dos Ensaio

3.4.1

Preparação dos Ensaio e dos Sistemas de Aplicação de Carga

Os ensaios realizados no Laboratório de Mecânica Estrutural da Universidade de Coimbra tentaram reproduzir ligações reais conforme comentado anteriormente. A coluna foi considerada bi-rotulada e a viga em balanço. O pórtico de aplicação de carga utilizado é apresentado na Figura 3.5 onde pode-se observar as duas rótulas localizadas em ambas as extremidades da coluna.

As colunas deste pórtico de aplicação de carga eram constituídas por perfis HEB300, mesmo perfil utilizado na viga do pórtico composta por dois perfis. Utilizou-se um perfil HEB500 como viga de suporte do atuador hidráulico ligada à parede de reação através de uma ligação com placa de extremidade estendida com 30cm de espessura e oito barras rosqueadas, tipo DYWIDAG. A ligação desta viga com o pórtico de reação foi feita através da peça mostrada abaixo.

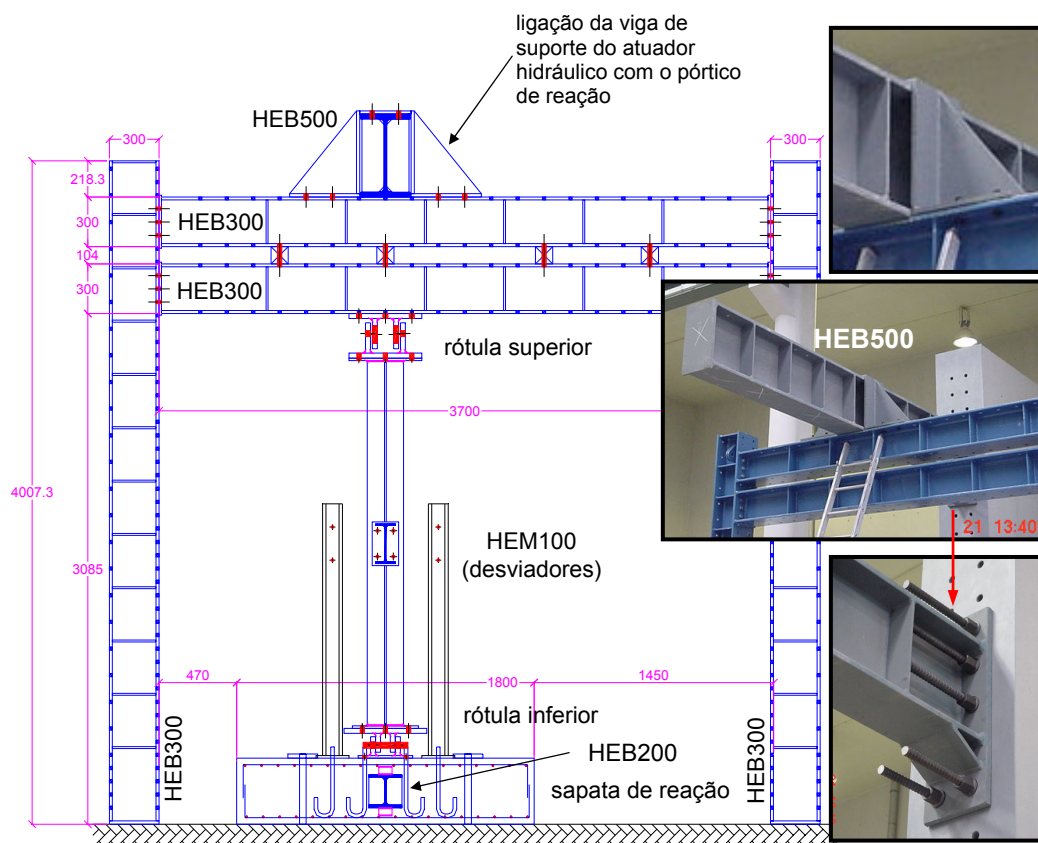
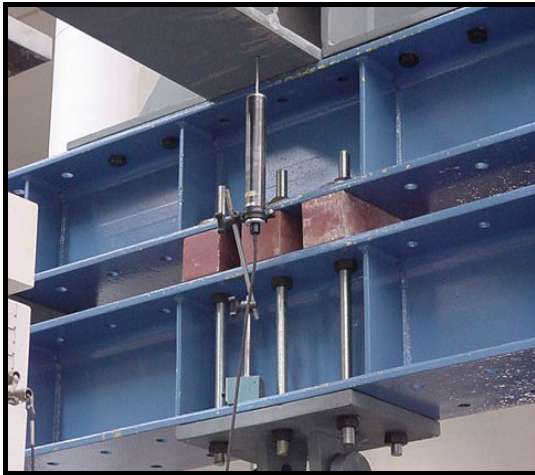


Figura 3.5 – Pórtico de aplicação de carga

Alguns enrijecedores constituídos por barras rosqueadas foram introduzidos no pórtico de reação com o intuito de evitar que, deformações sofridas por este, pudessem esconder possíveis erros na avaliação dos ensaios experimentais. Estes enrijecedores podem ser visualizados na Figura 3.6.

Uma sapata em concreto armado foi construída para garantir o nivelamento da estrutura a ser ensaiada devido a irregularidades existentes no piso do laboratório, Figura 3.7, além de servir de base para fixação das barras rosqueadas utilizadas nas ligações das peças de apoio ao ensaio tais como desviadores e travamentos. Também se pode observar o gabarito usado para

garantir o posicionamento destas barras rosqueadas. Esta sapata também serviu para transmitir o esforço axial aplicado na ligação para a parede de reação através de um perfil HEB200 (Figura 3.1) aparafusado à parede por quatro barras rosqueadas iguais as utilizadas para a ligação da viga de suporte do atuador hidráulico.



(a) enrijecedores nas mesas da viga do pórtico

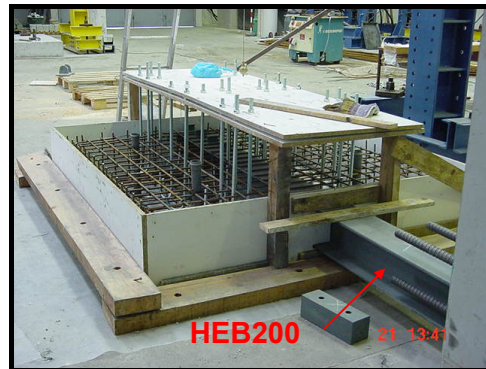


(b) travamento lateral da viga do pórtico

Figura 3.6 – Reforços introduzidos no pórtico de reação



(a) confecção da armadura



(b) forma e gabarito



(c) concretagem



(d) sapata concluída

Figura 3.7 – Preparação e concretagem da sapata de reação

Para a aplicação do momento fletor, utilizou-se um atuador hidráulico DARTEC com capacidade de 600kN e curso de 100mm, Figura 3.8.

3.4.1.1

Sistema para aplicação de esforço axial de compressão

Algumas hipóteses diferentes da adotada foram analisadas antes de se optar pelo sistema de aplicação de esforço axial de compressão utilizado. Inicialmente, estudou-se a possibilidade de se utilizar um sistema semelhante ao adotado por Wald [14] mas como neste sistema, o esforço axial aplicado crescia simultaneamente ao momento fletor, descartou-se esta possibilidade tendo em vista que se desejava aplicar todo o esforço axial na ligação e antes do momento fletor.

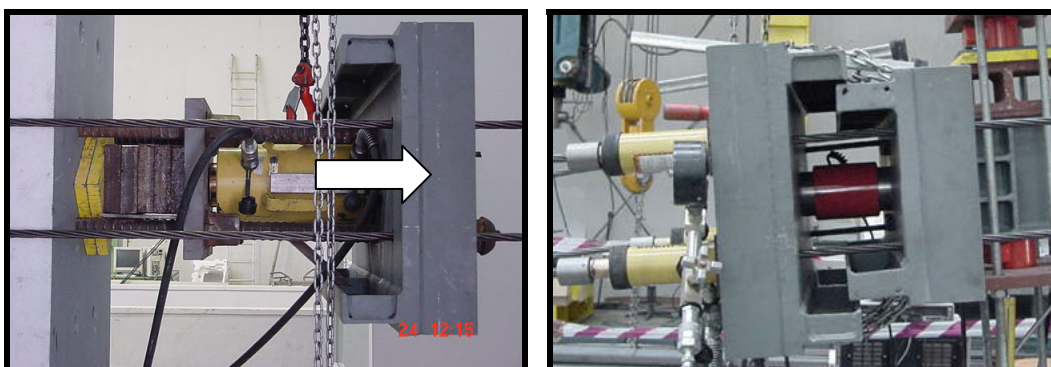
Uma nova alternativa foi estudada onde o esforço axial seria aplicado por um atuador hidráulico posicionado entre a extremidade da viga e a parede de reação – neste caso a ligação estaria de frente para a parede de reação - mas a dificuldade de manter este atuador paralelo a viga durante a realização do ensaio fez com que esta hipótese também fosse descartada.

Finalmente, optou-se pelo sistema de aplicação de esforço axial de compressão apresentado na Figura 3.8, ressaltando-se que este sistema é inédito, sem referência na literatura. Este sistema foi composto por um macaco hidráulico, Figura 3.9(a), posicionado na parte posterior da parede de reação que traciona quatro cabos de protensão com diâmetro $\phi = 15,2\text{mm}$. A transmissão deste esforço para a ligação foi feita através de uma célula de carga localizada dentro de uma peça aparafusada à extremidade da viga, Figura 3.9(b). Outras quatro células de carga, uma para cada cabo de protensão, foram utilizadas com a finalidade de se verificar o esforço aplicado em cada um dos mesmos. Utilizou-se também, um desviador composto por um perfil HEM100 para garantir que os cabos acompanhassem a inclinação da viga mantendo o esforço axial aplicado sempre no eixo da viga, durante todo o ensaio.

Nos primeiros ensaios, FE3 a FE5, apenas as células-de-carga tinham sido instaladas nos cabos de protensão e percebeu-se que, para níveis elevados de deslocamentos na extremidade da viga, a força nos cabos superiores (cabos 1 e 2) começava a aumentar, diminuindo a força atuante nos cabos inferiores (cabos 3 e 4). Todavia, como a transmissão do esforço axial era feita por uma célula de carga central (5), não ocorreu variação deste esforço ao longo do ensaio, Figura 3.10.



Figura 3.8 – Sistema de aplicação de esforço axial de compressão



(a) macaco hidráulico atrás da parede

(b) célula de carga central e macacos utilizados para correção do esforço axial

Figura 3.9 – Macacos hidráulicos e célula de carga central

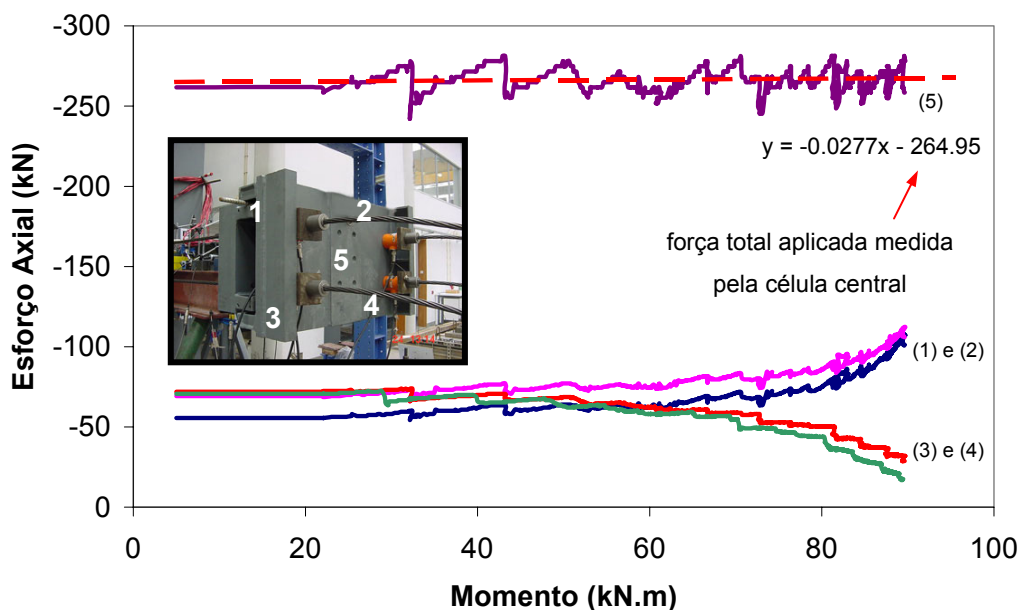


Figura 3.10 – Variação da carga aplicada em cada um dos cabos de protensão

Para solucionar este problema, foi colocado um macaco hidráulico em cada cabo com a finalidade de se manter a força constante nos mesmos, interligando-os ao mesmo circuito hidráulico. No entanto, como a compensação da força aplicada nestes macacos era feita de forma manual, optou-se por ligar todo o sistema hidráulico a uma bomba injetora equipada com uma eletro-válvula que fazia a distribuição automática do óleo entre os quatro macacos. Esta eletro-válvula permitia a calibração prévia do esforço axial aplicado não sendo mais necessária a compensação manual efetuada nos primeiros ensaios. O resultado obtido pode ser observado na Figura 3.11 onde se percebe que a força nos cabos ficou praticamente constante durante todo o ensaio.

Com a finalidade de se comprovar esta análise, um outro ensaio, denominado FE7 foi realizado, repetindo-se o carregamento axial aplicado no ensaio FE5 e as curvas momento *versus* rotação se mostraram semelhantes, descartando-se a necessidade de se efetuar a correção do momento aplicado na ligação. Estas curvas serão apresentadas na Figura 4.7 no capítulo quatro.

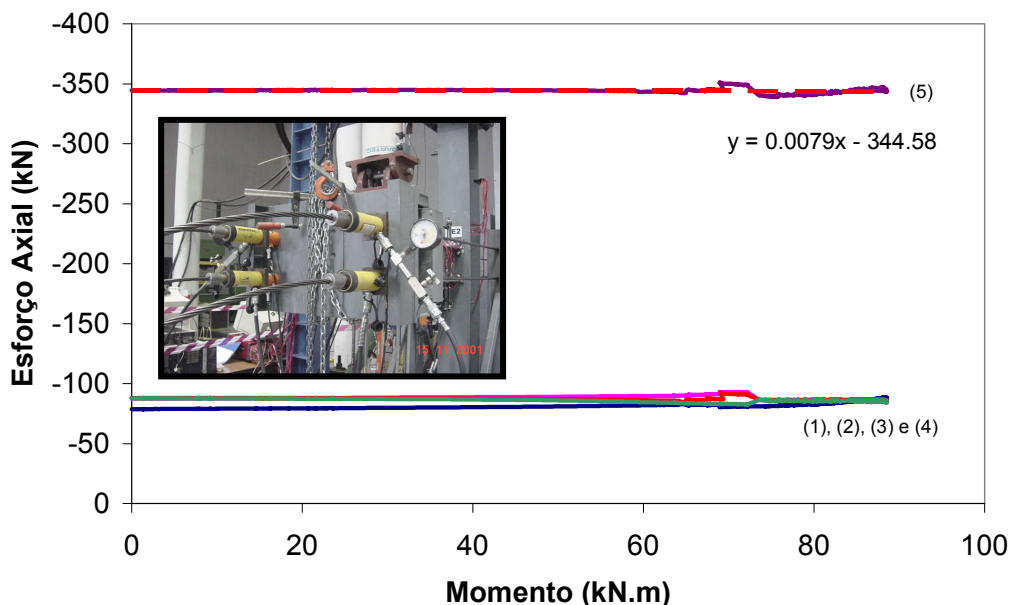


Figura 3.11 – Correção da carga aplicada em cada um dos cabos de protensão

3.4.1.2 Sistema para aplicação de esforço axial de tração

Para a concepção do sistema de aplicação de esforço axial de tração, Figura 3.12, foram utilizados quatro macacos hidráulicos, interligados entre si, posicionados entre um perfil tubular e uma peça aparafusada à extremidade da viga.

Neste caso, também foi utilizado o sistema com a eletro-válvula para compensação automática da força em cada macaco hidráulico. Ao se aplicar a carga nestes macacos, deslocava-se a peça colocada na extremidade da viga, fazendo com que um esforço axial de tração fosse transmitido para a ligação.

Na Figura 3.13(a) pode-se observar este sistema onde os perfis tubulares tinham uma de suas extremidades rotuladas para garantir que a força aplicada fosse sempre paralela ao eixo da viga.

Um outro perfil tubular foi utilizado como travamento deste sistema junto à parede de reação. Já na Figura 3.13(b), apresenta-se a compensação efetuada pelos macacos hidráulicos mantendo constante o esforço axial aplicado à ligação.



Figura 3.12 – Sistema de aplicação de esforço axial de tração



(a) perfis tubulares rotulados em uma das extremidades



(b) compensação da pressão nos macacos hidráulicos

Figura 3.13 – Componentes para os ensaios com esforço axial de tração

A peça colocada na extremidade da viga para transmitir o esforço axial para a ligação teve seu dimensionamento realizado com o auxílio do programa de elemento finitos LUSAS [57] para garantir que nenhum dos componentes utilizados no sistema de aplicação de carga pudesse interferir nos resultados dos ensaios, Figura 3.14.

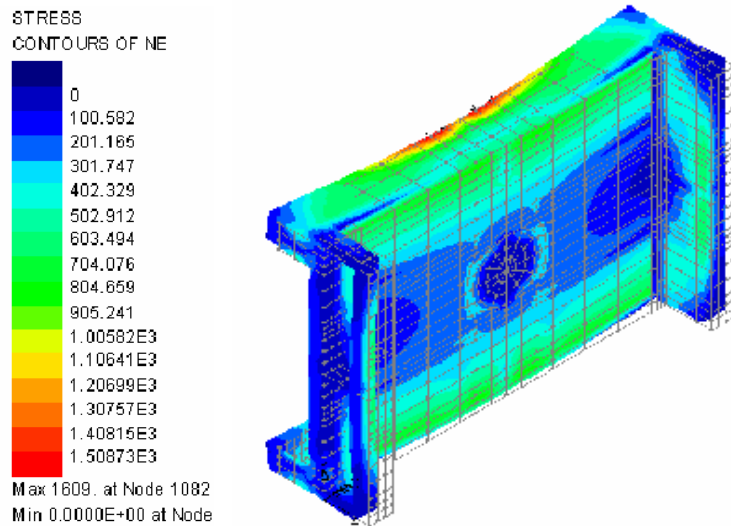


Figura 3.14 – Peça para aplicação do esforço axial [57]

3.4.2

Instrumentação, Aquisição de Dados e Planos de Carga dos Ensaios

A medição das deformações ocorridas nos ensaios foi efetuada com a utilização de extensômetros elétricos lineares (FLK6-11-TML), rosetas a 45° (FRA5-11-TML) e extensômetros para parafusos (BTM6-C-TML). O processo de instalação dos extensômetros dos parafusos, consistiu das etapas descritas a seguir e podem ser observadas na Figura 3.15:

- Furação dos parafusos com uma broca de diâmetro igual a 3mm e profundidade superior a 36mm,
- Feito isto, o próximo passo consistia da limpeza interna do furo para evitar que as impurezas existentes prejudicassem a aderência da cola a ser utilizada,
- A preparação da cola era realizada na proporção de uma (1) quantidade da substância A para cada dez (10) da substância B,

- A seguir, injetava-se esta cola no orifício feito no parafuso e introduzia-se o extensômetro;
- Finalmente, aquece-se o parafuso a uma temperatura de 140°C durante duas horas e aguarda-se mais dez horas em temperatura ambiente até que o parafuso esteja pronto para ser utilizado.



Figura 3.15 – Instrumentação dos parafusos

O posicionamento destes extensômetros para as ligações com placa de extremidade ajustada pode ser observado na Figura 3.16. Já a Figura 3.17 apresenta a configuração utilizada para o controle das deformações medidas nos ensaios com placa de extremidade estendida. Entretanto, os extensômetros e rosetas utilizados na alma dos perfis foram colocados em apenas um dos lados.

Vale ressaltar que se aplicou uma protensão nos parafusos da ordem de 150N.m com o auxílio de um torquímetro conforme pode ser observado na Figura 3.18.

Foram utilizados transdutores de deslocamentos para a medição dos deslocamentos necessários para calibração de algumas componentes conforme apresentado na Figura 3.19. O registro destas medições foi feito através de um sistema de aquisição de dados *DATA LOGGER TDS602-TML*.

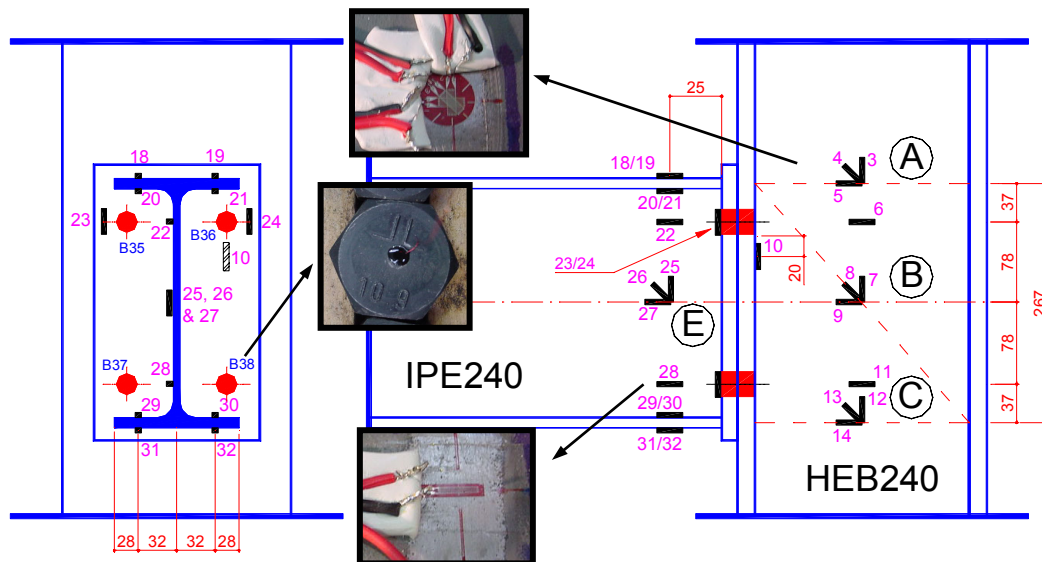


Figura 3.16 – Posicionamento de extensômetros e rosetas – Ensaios FE

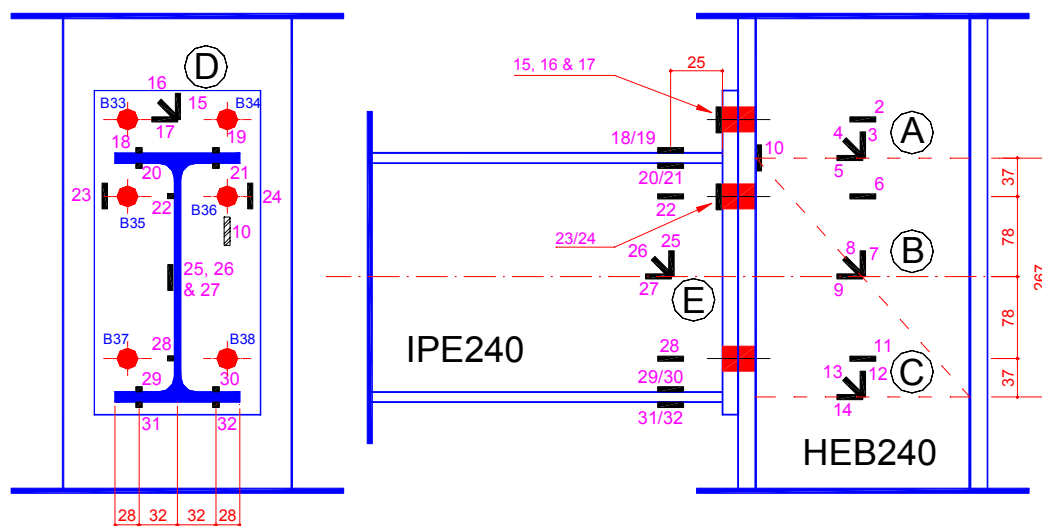


Figura 3.17 – Posicionamento de extensômetros e rosetas – Ensaios EE

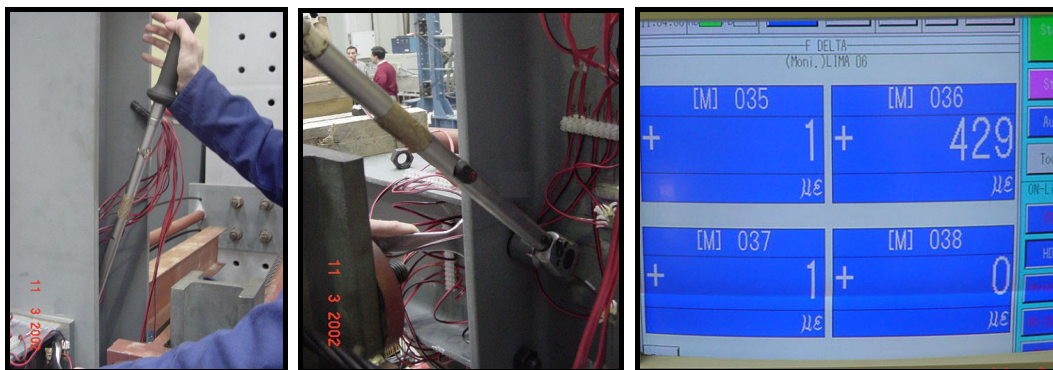


Figura 3.18 – Aplicação da protensão nos parafusos

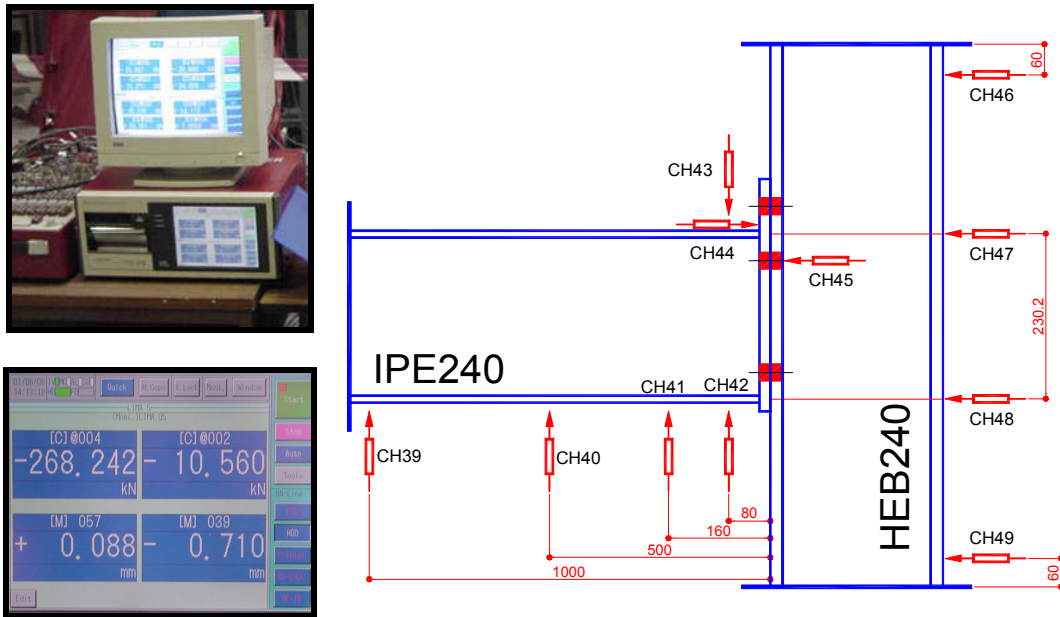


Figura 3.19 – Transdutores de deslocamentos e sistema de aquisição de dados

Estes transdutores de deslocamentos foram utilizados para medição da rotação da ligação sendo obtida pela diferença entre a rotação da viga e a rotação do painel de alma da coluna submetido a cisalhamento. A rotação da viga obtida através dos transdutores nº 39 a 42 e a rotação do painel de alma da coluna através dos transdutores 47 e 48. Vale ressaltar que estes transdutores foram fixados a uma estrutura totalmente independente da estrutura que foi testada.

Para os ensaios da primeira série, ligações com placa de extremidade ajustada, foram efetuadas duas descargas: a primeira para uma carga de 25kN e, a segunda, para uma rotação de 15mrad conforme apresentado na Figura 3.20.

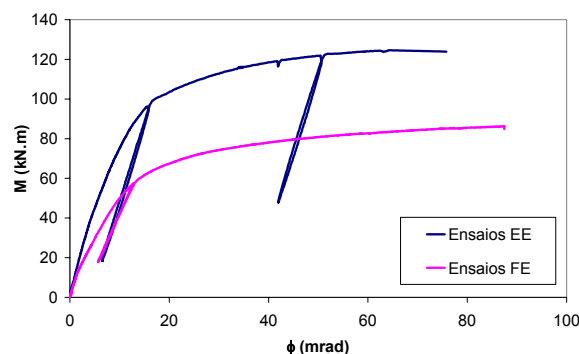


Figura 3.20 – Ciclos de carga utilizados nos ensaios

Na primeira parte do ensaio foi usado controle de força, passando a controle de deslocamentos na parte subsequente do mesmo. Nos ensaios da

segunda série, ligações com placa de extremidade estendida, também se efetuaram duas descargas: a primeira para uma carga de 100kN e, a segunda, para uma rotação de 50mrad.

3.4.3

Propriedades Mecânicas e Geométricas

Com a finalidade de se obter as propriedades mecânicas reais dos materiais utilizados nos ensaios, testes de corpos-de-prova à tração foram efetuados além de ensaios de parafusos à tração - Figura 3.21. Os resultados obtidos, para ambas as séries de ensaios, são apresentados na Tabela 3.4. Estes ensaios foram executados de acordo com as especificações existentes nos códigos europeus para controle de materiais, [46-48].

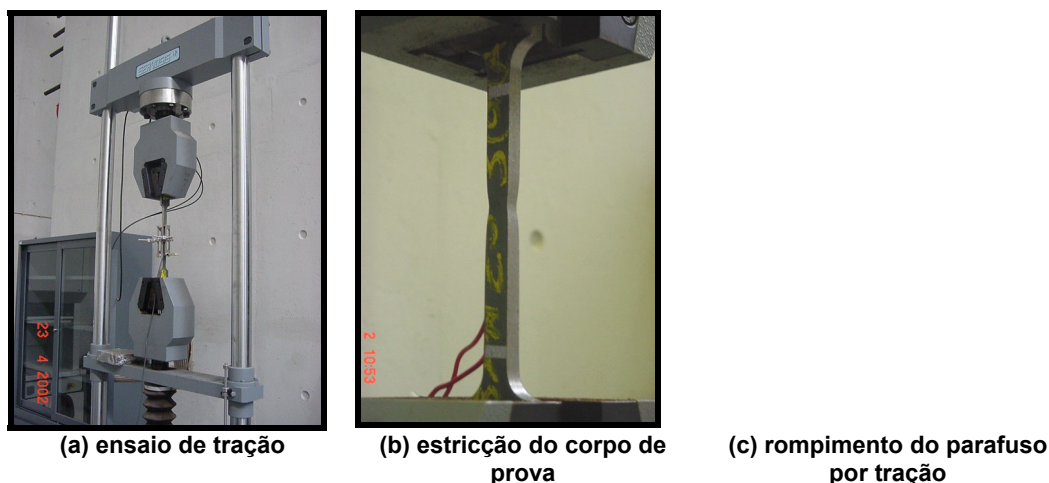


Figura 3.21 – Ensaios de tração de corpos-de-prova dos perfis e parafusos

Ao se observar os valores obtidos, nota-se que os mesmos apresentaram uma tensão de escoamento bastante superior a nominal, enquanto que a tensão de ruptura encontrou-se dentro de limites mais coerentes, exceto para os corpos-de-prova das placas de extremidade. Algumas considerações devem ser feitas para um melhor esclarecimento do ocorrido.

Todos os corpos-de-prova foram extraídos de pedaços dos perfis já ensaiados tendo em vista que a empresa que fabricou a estrutura a ser ensaiada não enviou sobras de material. Entretanto, tentou-se extrair os corpos-de-prova de partes dos perfis que não tivessem sido muito solicitadas. Porém, para as placas de extremidade, os corpos-de-prova foram extraídos conforme apresentado na Figura 3.22, o que provavelmente pode ter acarretado um

acréscimo na tensão de escoamento devido às deformações elevadas sofridas por esta placa [49].

Uma outra hipótese para a diferença encontrada pode estar relacionada com a velocidade utilizada nos ensaios. Mesmo que a escolha da velocidade tenha sido feita de acordo com as especificações de norma, a máquina utilizada podia não estar com a sua calibração realizada de forma correta.

Tabela 3.4 – Propriedades mecânicas dos materiais

Corpo de Prova nominal	f_y (MPa) 275	f_u (MPa) 430	E (MPa) 210000
VIGA – IPE240			
ALMA 1	366,45	460,36	201483
ALMA 2	358,93	454,70	202836
ALMA 3	371,86	449,32	211839
ALMA 4	380,25	455,99	201544
ALMA 5	375,79	459,49	211308
ALMA 6	379,12	461,98	210128
ALMA 7	342,72	453,40	190443
ALMA 8	332,32	438,76	200127
MÉDIA	363.43	454.25	203714
MESA 1	365,83	444,52	215739
MESA 2	331,62	448,30	213809
MESA 3	340,75	448,77	212497
MESA 4	346,42	450,50	216924
MESA 5	355,40	458,90	221813
MESA 6	349,22	455,88	213589
MESA 7	312,13	443,81	214147
MESA 8	319,73	435,20	213257
MÉDIA	340.14	448.24	215222
COLUNA – IPE240			
EE1_ALMA_1	392,63	491,82	205667
EE1_ALMA_2	399,38	495,29	204567
FE1_ALMA_1	340,16	454,39	218456
FE1_ALMA_2	355,92	467,69	199055
MÉDIA	372.02	477.30	206936
EE1_MESA_1	344,92	410,06	232937
EE1_MESA_2	350,09	472,93	210434
FE1_MESA_1	337,94	450,53	222665
FE1_MESA_2	338,84	461,63	217132
MÉDIA	342.95	448.79	220792
PLACA DE EXTREMIDADE – t = 15 mm			
placa 1 - FE1	365,39	504,45	198936
placa 2 - FE1	374,75	514,44	-
placa 1 - EE1	380,91	497,81	199648
placa 2 - EE1	356,71	497,08	202161
MÉDIA	369,44	503,45	200248
PARAFUSOS – M20			
nominal	900	1000	210000
parafuso 1	914,00	980,00	-
parafuso 2	931,00	1009,00	-
parafuso 3	974,00	1067,00	-
MÉDIA	939,67	1018,67	-

O controle dimensional dos ensaios foi realizado com a ajuda de um aparelho de ultra-som para medição de espessuras - Figura 3.23 - e de um paquímetro para medição de distâncias. Os valores obtidos são apresentados nas tabelas existentes no Anexo E onde as dimensões medidas podem ser observadas na Figura E.1 presente no mesmo anexo.

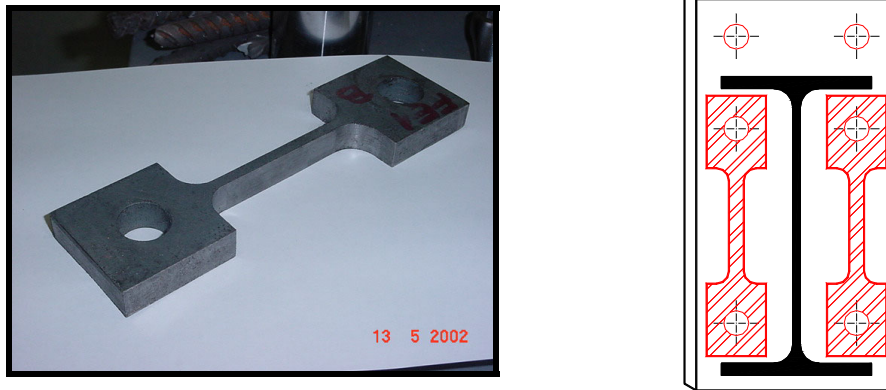


Figura 3.22 – Posição dos corpos-de-prova das placas de extremidade



Figura 3.23 – Medição de espessuras

Neste capítulo foram apresentadas algumas considerações sobre a realização dos ensaios experimentais, obtenção das características mecânicas e geométricas dos ensaios, além da instrumentação dos mesmos. No capítulo seguinte, apresentar-se-á a análise dos resultados obtidos nos ensaios de ligações com placa de extremidade ajustada – série FE.