

## ENSAIOS À COMPRESSÃO EM PAINÉIS DE CONCRETO LAMINAR ENVELOPADO – CLE

Rodrigues, E.V.<sup>1</sup>; Carrasco, E.V.M.<sup>2</sup>; Queiroz, G.<sup>3</sup>; Ribeiro, G.O.<sup>4</sup>; De Paula, F.A.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Eng. Civil Mestre em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais  
<sup>2, 3, 4, 5</sup> Prof. Dr. Associado, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais



### RESUMO

*Este trabalho consiste na avaliação experimental de painéis de Concreto Laminar Envelopado (CLE), solicitados à compressão sob ação de cargas concêntricas. Esses painéis são caracterizados por utilizarem perfis metálicos do tipo U envolvendo uma placa de concreto com armadura composta por telas de aço soldadas aos perfis. No programa experimental foram avaliados dezessete painéis de CLE com diferentes índices de esbeltez. O arranjo experimental permitiu a execução de apoios aproximadamente engastados e a distribuição uniforme do carregamento ao longo da largura dos modelos. Foram obtidos: deformações nos materiais aço e concreto utilizando extensômetros elétricos de resistência, deslocamentos axiais e deslocamentos horizontais utilizando transdutores de deslocamento linear. Os resultados do estudo mostram as cargas axiais últimas de cada painel de CLE avaliado bem como apontam os tipos de colapso ocorridos nos modelos. Finalmente, são discutidos fenômenos observados a partir do tratamento dos dados experimentais.*

**Palavras-chave:** Análise experimental, resistência última, painel, pré-moldado, Concreto Laminar Envelopado.

### 1- INTRODUÇÃO

Painéis de Concreto Laminar Envelopado (CLE) são constituídos por placas pré-fabricadas de concreto envoltas por perfis metálicos do tipo U, em todo o perímetro, e armadura definida por telas de aço soldadas na parte interna da alma dos perfis. Os perfis metálicos, também denominados elementos envelopadores, proporcionam uma maior capacidade resistente aos painéis de CLE e permitem a execução de ligação soldada de modo a formar diferentes composições. Na fig. 1 é exibido o detalhe construtivo da tela dupla

soldada nos perfis U e na fig. 2 são apresentados painéis de CLE após a fabricação.



Fig. 1 – Tela dupla soldada aos perfis



Fig. 2 – Painéis de CLE

São normalmente fabricados painéis de CLE esbeltos e o estudo desses elementos axialmente comprimidos exige a consideração de efeitos de estabilidade. Para a determinação da resistência última à compressão de painéis levando em conta a instabilidade foram desenvolvidas muitas pesquisas. Em especial, os estudos que buscaram analisar painéis-parede de concreto armado à compressão serviram de base para a análise experimental de painéis de CLE, que se mostra como importante objeto de pesquisa.

### 1.1 - Dispositivos de ensaio

Para a execução de ensaios à compressão em painéis esbeltos muitos pesquisadores buscaram garantir aos apoios livre rotação na base e no topo (modo simplesmente apoiado).

Ernst (1952) conduziu ensaios em 10 painéis-parede de concreto armado simplesmente apoiados, restritos nas laterais, sob carregamento concêntrico. Em seu arranjo experimental, foram colocados perfis  $L$  50,8 x 50,8 x 6,35 mm na lateral dos painéis com o objetivo de impedirem a rotação ao longo do comprimento do painel, conforme a fig. 3.

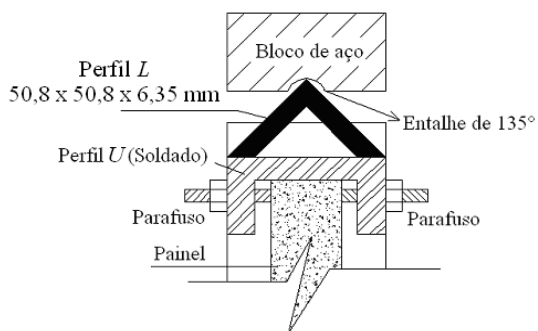


Fig. 3 – Dispositivo de apoio superior

Fonte: Adaptada de Ernst (1952)

A configuração de Ernst (1952) foi denominada lado-faca e uma desvantagem para o seu uso era a limitada capacidade de rotação oferecida ao painel.

Swartz *et al.* (1974) conduziram ensaios à compressão em 24 painéis de concreto armado restritos nas laterais. Para simular os apoios do topo e da base, dois perfis  $L$  50,8 x 50,8 x 6,35 mm foram conectados, por parafusos a uma chapa soldada uma barra de diâmetro 25,4 mm, conforme a fig. 4.

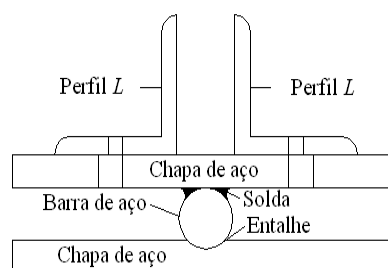


Fig. 4 – Detalhe do apoio inferior

Fonte: Adaptada de Swartz *et al.* (1974)

Saheb e Desayi (1989) ensaiaram 24 painéis de concreto armado à compressão excêntrica sem restrições nas laterais. A representação do apoio superior é mostrada na fig. 5.

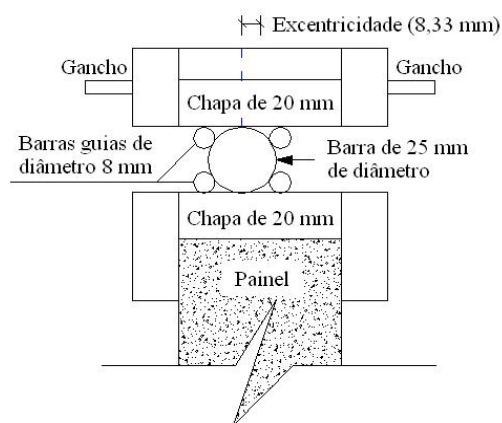


Fig. 5 – Dispositivo de apoio superior

Fonte: Adaptada de Saheb e Desayi (1989)

Sanjayan e Maheswaran (1999) ensaiaram 8 painéis na posição horizontal com restrições nas laterais. A carga aplicada foi transferida por meio de uma barra, de alta resistência, com 19 mm de diâmetro, conforme ilustrado na fig. 6. Como limitação do ensaio, o deslocamento medido poderia ser menor que o real, já que a direção desse era oposta à da gravidade.

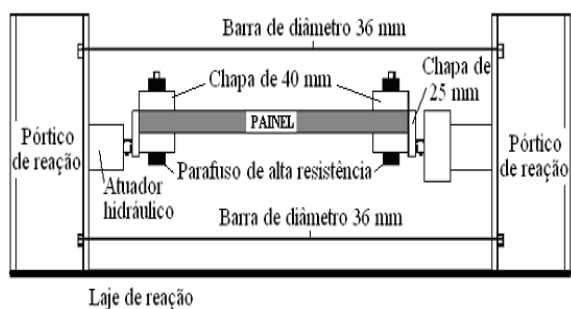


Fig. 6 – Configuração para ensaio de painéis

Fonte: Adaptada de Sanjayan e Maheswaran (1999)

Doh (2002) realizou ensaios à compressão em 18 painéis-parede de concreto armado. Foram elaborados apoios para a realização dos ensaios pelo uso de barras com 23 mm de diâmetro, com aço de alta resistência, sobre chapas de 50 mm de espessura. Detalhes de um dos apoios utilizados podem ser observados na fig. 7.

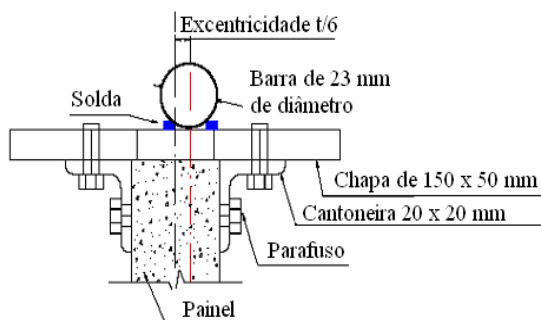


Fig. 7 – Apoio de topo dos painéis.

Fonte: Doh (2002)

Benayoune *et al.* (2006) estudaram o comportamento de 12 painéis sanduíche de concreto com conectores de cisalhamento do tipo treliça. Foram realizados ensaios experimentais à compressão com carga centrada e com carga excêntrica. A condição de apoio permitiu articulação ao topo e engaste à base.

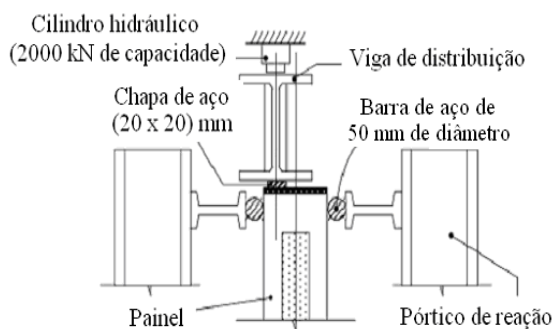


Fig. 8 – Detalhe do apoio superior

Fonte: Adaptada de Benayoune et al. (2006)

Neste trabalho, com o objetivo de realizar ensaios à compressão em painéis de CLE e analisar o comportamento estrutural foram projetados: um sistema para a aplicação das cargas e equipamentos auxiliares. Inicialmente, foram elaborados apoios bi-rotulados, semelhantes aos desenvolvidos por Saheb e Desayi (1989), mas, devido ao risco de acidentes ocasionada pela perda de estabilidade dos painéis a pequenos carregamentos, esse sistema foi alterado para o aproximadamente bi-engastado, conforme apresentado nos itens 3.3 e 3.4.

## 2- MATERIAIS

### 2.1 - Concreto e aço

A concretagem dos painéis foi realizada em duas etapas para cada tipo de modelo definido. O concreto utilizado apresentou em sua composição cimento do tipo CPII E-32 e características mecânicas conforme a Tabela 1, sendo  $f_c$  a resistência média à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto e  $E_c$  o módulo de elasticidade longitudinal do concreto. As características mecânicas do concreto foram determinadas experimentalmente, para cada etapa, a partir dos valores médios de três corpos-de-prova cilíndricos com dimensões 10x20 cm, seguindo os procedimentos da NBR 5739.

Tabela 1 – Características do concreto

Concreto	$f_c$ (MPa)	$E_c$ (MPa)
Etapa 1	24,78	14362
Etapa 2	20,80	12199

Todos os painéis foram armados com tela soldada Q196 (1,96 cm<sup>2</sup> de área por metro de tela), aço CA 60, com barras de 5 mm de diâmetro nominal espaçadas a cada 10 cm nas direções vertical e horizontal. As telas foram dispostas em duas camadas, simétricas em relação ao centro geométrico da seção transversal, com 1 cm de cobrimento. Para envolver as placas de concreto armado foram utilizados perfis formado a frio do tipo U (50,8 x 25,4 x 2) mm. Na Tabela 2 são apresentadas as

características do aço componente da tela Q196 e dos perfis, sendo  $E_s$  o módulo de elasticidade longitudinal do aço. Para a obtenção de tais propriedades mecânicas foram utilizados seis corpos-de-prova de cada item avaliado, seguindo os procedimentos da NBR 6892: 2002.

Tabela 2 – Características dos aços

Aço	Resistência ao escoamento (MPa)	Resistência à ruptura (MPa)	$E_s$ (kN/cm <sup>2</sup> )
Tela Q196	600	660	20500
Perfis	280	370	20532

## 2.2 - Painéis de CLE

Foram projetados 17 painéis para o estudo à compressão. Os modelos foram definidos em função das restrições de altura do pórtico de reação, dimensões dos acessórios, além de terem sido projetados para oferecerem facilidade ao transporte e manuseio. Na Tabela 3 são apresentados: as características geométricas dos painéis e seus componentes assim como os resultados dos ensaios experimentais à compressão centrada. Os painéis CLE1 a CLE8 constituíram a etapa 1, enquanto os painéis M1a a M3c, a etapa 2.

Tabela 3 – Características dos painéis e resultados da carga de ruptura

Painel	Altura	Largura	Espessura	Razão altura/espessura	Área da seção transversal de Perfis U (cm <sup>2</sup> )	Área de Armadura vertical (cm <sup>2</sup> )	Carga de ruptura (kN)
CLE1	40	60	5	8	3,86	1,96	632
CLE2	60			12			731
CLE3	80			16			627
CLE4	100			20			684
CLE5	120			24			494*
CLE6	140			28			626*
CLE7	160			32			689
CLE8	180			36			541*
M1a	40	50	5	8	3,86	1,57	501
M1b	40			8			507
M1c	40			8			526
M2a	100			20			503
M2b	100			20			534
M2c	100			20			558
M3a	160			32			435
M3b	160			32			465
M3c	160			32			325*

\* Ruptura por flexo-compressão na altura média.

## 3- EQUIPAMENTOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Análise Experimental de Estruturas da Escola de Engenharia da UFMG (LAEES/UFMG). O arranjo experimental permitiu a execução de apoios aproximadamente engastados e a distribuição uniforme do carregamento ao longo da largura dos painéis. A fig. 9 apresenta a sua configuração e os demais

itens fazem uma descrição de cada componente.

### 3.1 - Pórtico de reação

O pórtico de reação foi constituído por dois pilares *I* (400 x 250 x 16) mm, com 3500 mm de comprimento e bases enrijecidas, soldadas a chapas (640 x 640 x 45) mm. Esses pilares possuíam ligação parafusada com uma viga transversal *I* (400 x 250 x 16 x 12,5) mm, o que

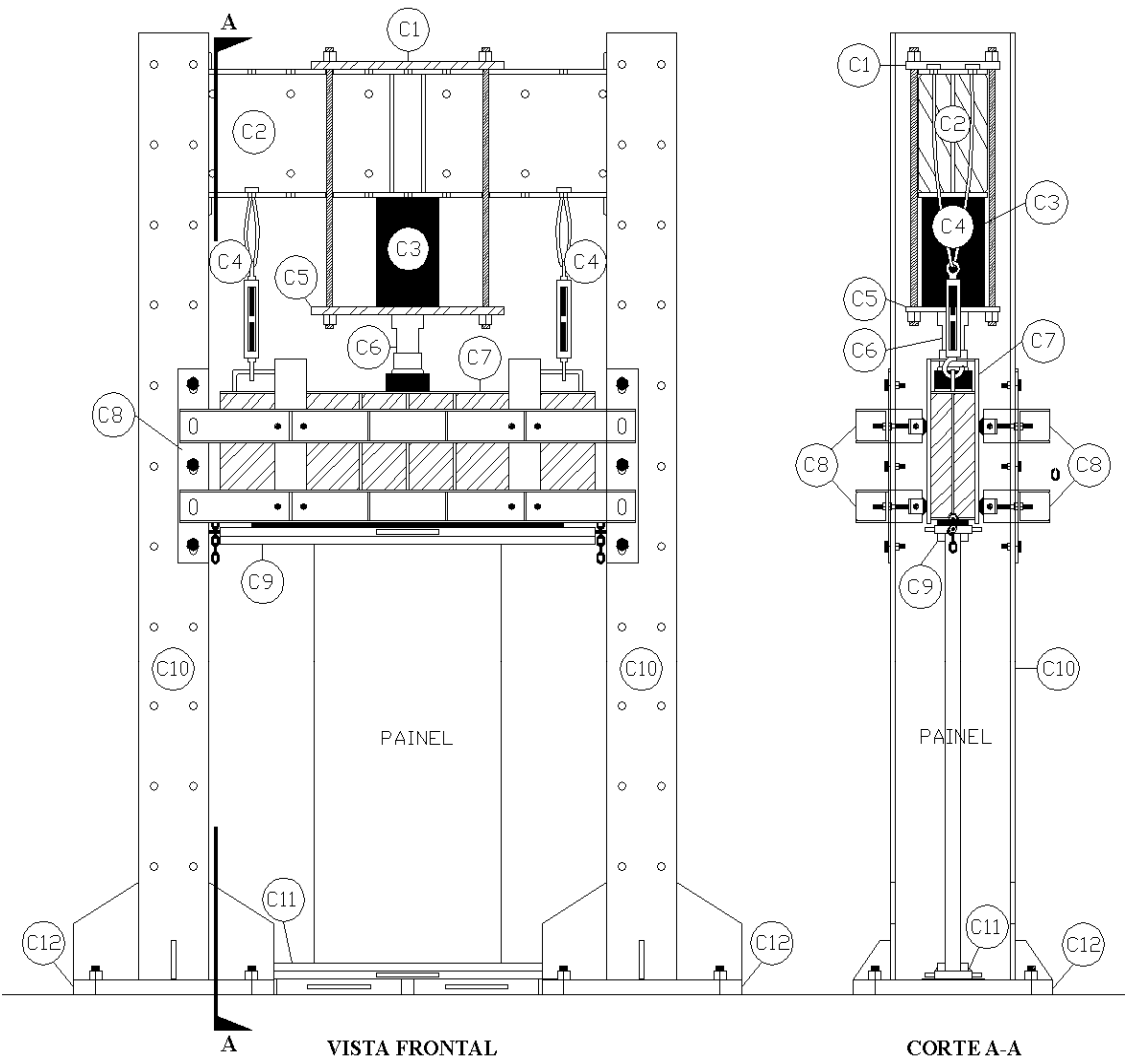
permitiu a instalação da mesma em diferentes alturas, de modo a se ajustar à altura dos painéis para realização dos ensaios.

Para ancoragem do pórtico à laje de reação, foram utilizadas 8 barras roscadas presas por porcas e arruelas. A laje de reação apresentava 500 mm de altura e

armadura adequada para suportar os esforços solicitantes do pórtico.

3.2 - Sistema de aplicação de cargas

O sistema de aplicação de cargas com capacidade máxima de 100 toneladas foi composto por unidade de atuação hidráulica e cilindro associado a uma rótula universal.



LEGENDA DE COMPONENTES			
ITEM	DESCRIÇÃO	ITEM	DESCRIÇÃO
C1	CHAPA (300 x 260 x 25) mm	C7	VIGA DE DISTRIBUIÇÃO - W 410 x 38,8
C2	VIGA TRANSVERSAL - I (400x 250x 16x 12,5) mm	C8	SISTEMA DE ROLETES E TRAVAMENTO LATERAL
C3	CILINDRO HIDRÁULICO	C9	APOIO SUPERIOR
C4	GANCHO REGULÁVEL COM CABO DE AÇO	C10	PILAR - I (400 x 250 x 16 x 12,5) mm
C5	CHAPA VAZADA (300 x 260 x 25) mm	C11	APOIO INFERIOR
C6	RÓTULA UNIVERSAL	C12	CHAPA (640 x 640 x 45) mm

Fig. 9 – Arranjo experimental para ensaios em painéis de CLE

### 3.3 - Apoio superior

O apoio superior foi composto por duas chapas de espessuras 16 mm e 25 mm, ligadas por solda (fig.10). Sob a segunda chapa foram soldadas duas barras de seção transversal quadrada, de modo que, entre elas, houvesse um espaço de 50 mm, para permitir um adequado encaixe ao topo dos painéis.

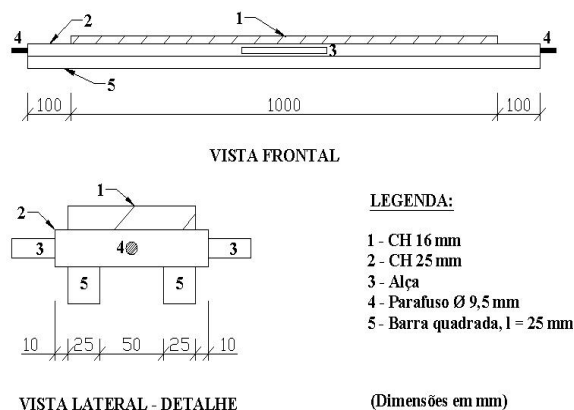


Fig. 10 – Apoio superior

### 3.4 - Apoio inferior

O apoio inferior foi constituído por duas barras de seção transversal quadrada soldadas em uma chapa de 25 mm. Sob a chapa de 25 mm, foram também soldadas duas chapas de 50 mm, conforme a fig. 11.

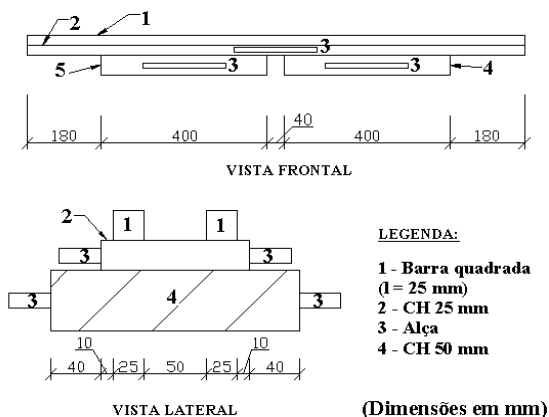


Fig. 11 – Apoio inferior

### 3.5 - Viga de distribuição

A viga de distribuição promovia a transmissão da força de compressão uniformemente ao longo da largura dos painéis e foi composta por perfil W 410 x 38,8 enrijecido (fig. 12). A viga foi sustentada por ganchos reguláveis de diâmetro nominal 9,5 mm.

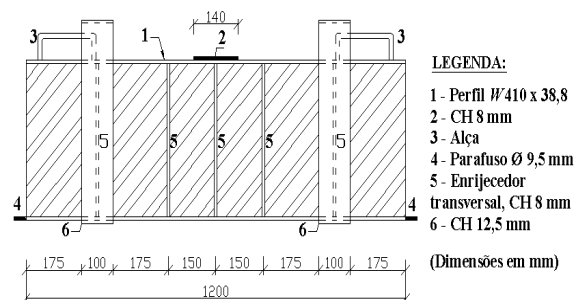


Fig. 12 – Viga de distribuição

Durante os ensaios os ganchos permaneciam instalados nas alças da viga, com folga mínima de 70 mm, para não impedirem o seu deslocamento vertical e suportarem o peso próprio da mesma, quando ocorria a ruptura dos painéis.

### 3.6 - Sistema de roletes e travamento lateral

O sistema de roletes e travamento lateral foi projetado de modo a permitir o deslocamento vertical da viga de distribuição e impedir que a mesma, sob ação da carga de compressão, fosse sujeita à rotação, ocasionada pela liberdade de movimento imposta ao sistema pela rótula universal. Ele foi composto por duas peças principais, denominadas traves, cujas especificações são apresentadas na fig. 13. Na fig. 14 podem ser observados detalhes desse sistema de roletes e travamento lateral.

O mecanismo projetado para os rolamentos possibilitou a fixação desses elementos na posição correta para o seu adequado funcionamento. Após o ajuste, foram realizados pequenos pontos de solda nas extremidades superiores dos perfis L (44,45 x 6,35) mm de modo a garantir uma maior resistência da ligação parafusada ao deslocamento dos rolamentos.

### 3.7 - Aquisição de dados

Para a monitoração dos ensaios foi utilizado um Sistema de Aquisição de Dados ADS 2000, com 16 canais independentes, ligado a um computador portátil. Para a análise e o tratamento das informações foram utilizados os softwares AqDados 7.0.2 e AqAnalysis 7.0.2.

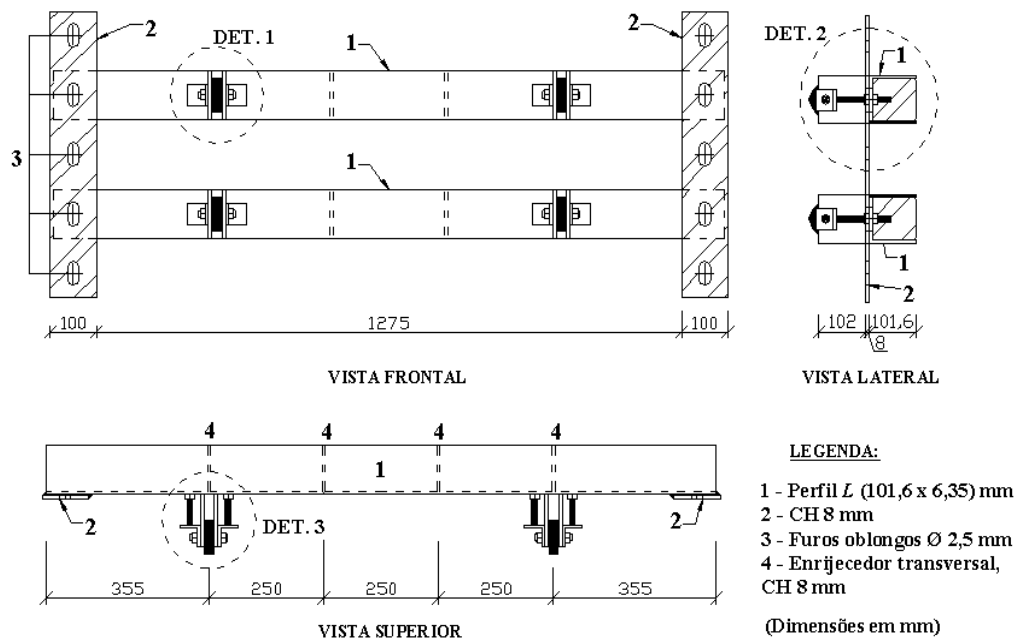


Fig. 13 – Sistema de roletes e travamento lateral

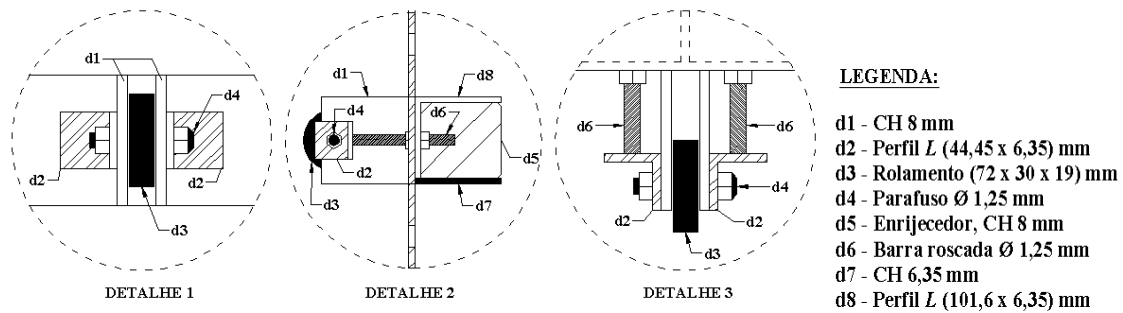


Fig. 14 – Detalhes do sistema de roletes e travamento lateral

## 4- INSTRUMENTAÇÃO

### 4.1 - Transdutores de deslocamento

Para determinar os deslocamentos da superfície dos painéis, na altura média, e os encurtamentos axiais, foram utilizados sete Transdutores de Deslocamento (DTs) na etapa 1 e cinco na etapa 2. Esses equipamentos foram instalados por meio de bases magnéticas fixadas em chapas de aço ou em elementos auxiliares, tais como vigas e mesas metálicas. De todos os DTs utilizados, somente um foi do tipo 50-A (curso de 50 mm) e os demais do tipo 100-A (curso de 100 mm). Na fig. 15 é exibida a disposição geral dos Transdutores de Deslocamento nos experimentos à compressão, sendo *H1*, *H2*, *H3*, *H4* e *H5*: DTs utilizados para captarem

deslocamentos horizontais. *V1* e *V2*: DTs para registro de deslocamentos verticais.

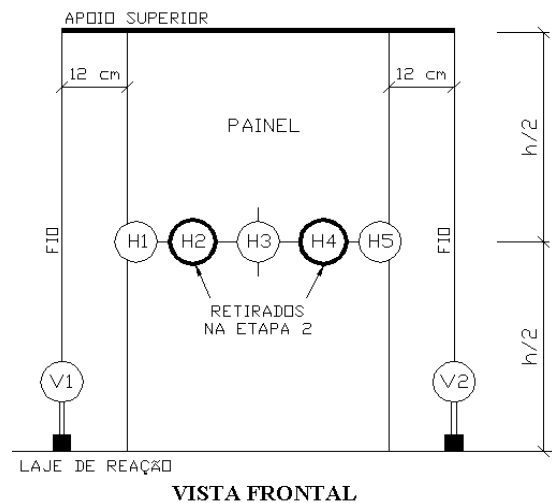


Fig. 15 – Disposição geral dos DTs



#### 4.1.1 Medida dos encurtamentos axiais

A determinação dos encurtamentos axiais dos painéis, foi realizada por meio da ligação dos DTs a fios de poliamida de diâmetro nominal 0,5 mm. Cada fio foi fixado a uma chapa de aço, presa ao apoio superior. O fio percorria paralelamente à altura do painel desde o apoio superior até 15 cm da laje de reação, onde passava por uma roldana e era ligado ao seu correspondente DT, perpendicularmente à altura do painel. A partir desse mecanismo, qualquer variação de deslocamento vertical poderia ser captado pelos DTs.

#### 4.1.2 Medida dos deslocamentos horizontais

Foram instalados DTs num mesmo plano horizontal, por meio de duas configurações. A configuração 1 utilizou cinco DTs igualmente espaçados (fig. 16). O cursor era deixado em sua posição média de leitura e tocava diretamente a superfície frontal. Tal configuração, no entanto, oferecia risco aos equipamentos e, portanto, foi estabelecida uma carga limite para a captura dos dados, definida como sendo 70% da carga de ruptura estimada. Atingido esse limite, os DTs da posição horizontal eram imediatamente retirados.



Fig. 16 – Configuração 1 para captar os deslocamentos horizontais

Após o ensaio do modelo CLE7, modificou-se a configuração dos DTs para a configuração 2, visando simplificar a aquisição e permitir que o registro dos deslocamentos até a ruptura dos painéis (fig. 17). Essa configuração caracterizou-se pela fixação de fios na superfície do painel por meio de massa plástica, ligados a três DTs igualmente espaçados.



Fig. 17 – Configuração 2 para captar os deslocamentos horizontais

## 4.2 - Extensômetros elétricos

Para a pesquisa foram utilizados 64 extensômetros elétricos de resistência de forma a registrar as deformações do concreto, do aço das armaduras e dos perfis. Somente os painéis da etapa 1 foram instrumentados.

#### 4.2.1 Instrumentação da tela soldada

Foram instalados 4 extensômetros elétricos nas telas Q196 de cada painel. Em cada tela foram colados 2 extensômetros em duas barras transversais a 5 cm da extremidade lateral. A primeira barra localizava-se imediatamente abaixo do topo do painel e a segunda na altura média do mesmo, fig. 18, sendo *B1a* e *B2a*: barras transversais voltadas para a superfície frontal do painel e *B1b* e *B2b*: barras voltadas para a superfície anterior. Esse tipo de instrumentação foi adotado para determinar as deformações nas barras transversais quando o painel fosse sujeito à compressão.

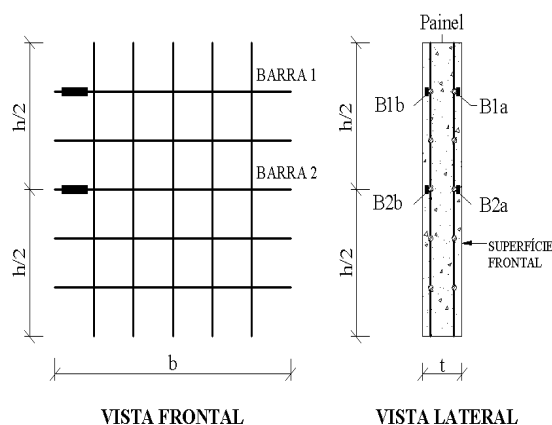


Fig. 18 – Disposição dos extensômetros na tela Q196



#### 4.2.2 Perfis de aço

Os perfis de aço foram instrumentados com 2 extensômetros, por painel, localizados a 5 cm do topo e na metade da espessura, sendo utilizado um extensômetro em cada lado. Como nomenclatura adotaram-se as siglas *PE* e *PD*, indicando os sensores colados nos perfis, situados nas laterais esquerda e direita do painel, respectivamente.

#### 4.2.3 Concreto

Para a captura das deformações no concreto, foram utilizados 2 extensômetros elétricos, por painel, situados a 10 cm do topo e distantes a 10 cm das extremidades laterais. A nomenclatura adotada foi *CE* e *CD*, representando os extensômetros dos lados esquerdo e direito, respectivamente. A fig. 19 mostra a disposição geral da instrumentação com os extensômetros elétricos utilizados.

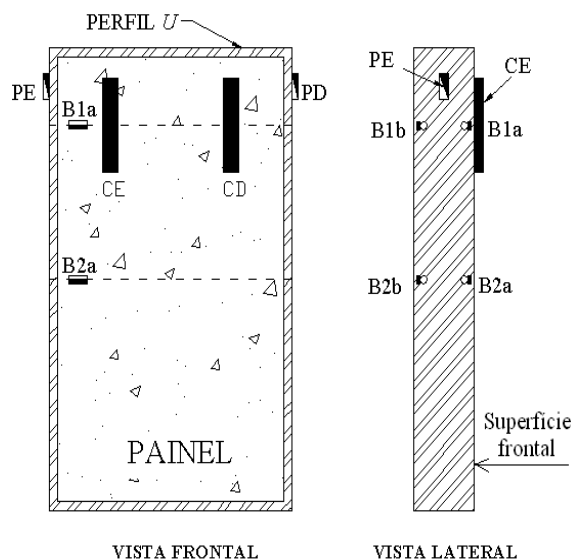


Fig. 19 – Disposição geral dos extensômetros elétricos

#### 4.3 - Célula de pressão

Para a leitura da carga aplicada foi instalada uma célula de pressão junto à unidade de atuação hidráulica, constituída por um elemento sensor em forma de difragma contendo extensômetros elétricos instalados em forma de espiral. A calibração foi realizada com uma célula de carga certificada.

### 5- PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Os painéis foram ensaiados na posição vertical, sob carregamento centrado uniformemente distribuído e condição de apoio aproximadamente engastada. Após todo o preparo da montagem e instrumentação, uma carga de 100 kN foi aplicada para acomodar cada painel adequadamente nos apoios, sendo mantida por cerca de dois minutos. Após este tempo, a carga foi retornada a zero e, então, o ensaio iniciava-se a incrementos de, aproximadamente, 20 kN de carga.

Todos os painéis foram solicitados de forma semelhante e o comportamento de cada um foi cuidadosamente observado durante a aplicação do carregamento. A fig. 20 mostra a execução do ensaio para um painel de CLE.



Fig. 20 – Execução do ensaio à compressão no painel CLE6

### 6- RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 6.1 - Modo de falha

Em relação ao modo de falha, observaram-se rupturas tipicamente dúcteis nos painéis de CLE. Em geral, as rupturas mostraram explosões acompanhadas de deslocamento do concreto. As falhas ocorriam predominantemente nas extremidades de topo e base dos painéis, caracterizando ruptura por esmagamento, e

na altura média dos mesmos, ruptura por flexo-compressão. Somente os modelos CLE5, CLE6, CLE8 e M3c apresentaram esse segundo tipo de ruptura.

## 6.2 - Deformações nas telas soldadas

Com os resultados das deformações das barras transversais das telas soldadas na carga última obteve-se a Tabela 4. Observa-se nessa tabela que as deformações nos extensômetros situados nas telas transversais, próximas ao topo dos painéis (B1a e B1b), foram menores que as das barras localizadas na altura média (B2a e B2b). Esse fato foi praticamente independente do aumento da razão altura/espessura.

Tabela 4 – Deformações das armaduras transversais na carga última dos painéis ( $\times 10^{-6}$ )

Painel	Barra transversal			
	B1a	B1b	B2a	B2b
CLE1	318	525	591	701
CLE2	413	522	1428	1268
CLE3	445	216	970	338
CLE4	192	122	229	275
CLE5	323	392	745	675
CLE6	429	455	1032	720
CLE7	145	458	839	298
CLE8	120	221	481	208

## 6.3 - Deformações no concreto e nos perfis de aço

Foram obtidas relações de carga x deformação no concreto e aço dos perfis, para os painéis da etapa 1. As deformações foram determinadas a partir da média das duas leituras adquiridas pelos extensômetros CE e CD no concreto e PE e PD nos perfis de aço. A fig.21 mostra a relação da carga com as deformações nesses materiais.

A partir dos valores das deformações nos materiais concreto e aço da fig. 21 foram obtidas regressões polinomiais que melhor representaram os dados. Com base nessas regressões, pôde-se observar que até o limite de 200 kN as deformações em ambos os materiais mostraram valores próximos entre si. Após esse limite, foram apresentados valores diferentes, indicando que esses materiais deixaram de trabalhar em conjunto sob compressão. Dessa forma,

os painéis de CLE não assumiram um comportamento semelhante a pilares mistos, em que a interação entre tais materiais é considerada completa.

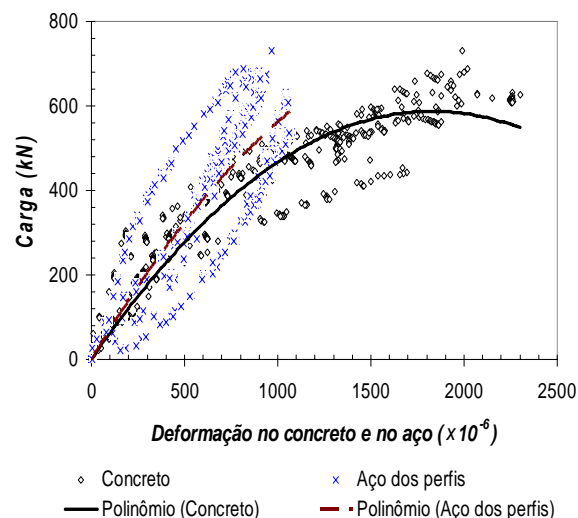


Fig. 21 –Carga x deformação no concreto e no aço (painéis da etapa 1)

## 6.4 - Deslocamentos horizontais

Para o estudo da superfície deformada dos painéis de CLE, os resultados das últimas medições dos deslocamentos horizontais, na altura média dos painéis, associados às cargas são apresentados nas Tabelas 5 e 6. Como convenção, os valores positivos indicam deslocamentos em direção ao lado frontal do painel enquanto os valores negativos, em direção contrária. Com os resultados de deslocamentos horizontais dos painéis da etapa 1, foi elaborado o gráfico da fig. 22, em que se observa a forma típica da superfície fletida, na altura média.

Tabela 5 – Deslocamentos horizontais na altura média dos painéis da etapa 1 (mm)

Painel	Carga (kN)	Transdutor de Deslocamento				
		H1	H2	H3	H4	H5
CLE1	563	-0,37	-0,32	-0,22	0,04	0,33
CLE2	515	-1,27	-1,11	-0,91	-0,55	-0,17
CLE3	523	-0,95	-0,31	-0,06	0,18	0,45
CLE4	355	-0,14	0,13	0,84	0,70	0,98
CLE5	375	3,37	2,74	2,40	3,24	3,49
CLE6	278	1,03	1,00	1,47	1,18	1,24
CLE7	334	0,08	0,00	0,29	0,50	0,79
CLE8	541	4,80	4,58	5,69	4,59	4,75

Tabela 6 – Deslocamentos horizontais na altura média dos painéis da etapa 2 (mm)

Painel	Carga (kN)	Transdutor de Deslocamento		
		H1	H3	H5
M1a	501	1,26	2,09	2,27
M1b	507	-0,24	-0,35	-0,21
M1c	526	0,15	0,24	0,08
M2a	503	-3,46	-2,78	-2,81
M2b	534	-0,65	-0,83	-1,24
M2c	558	-0,12	0,17	0,05
M3a	435	5,74	6,12	6,66
M3b	465	-6,04	-5,03	-4,74
M3c	325	18,29	17,81	18,66

A partir das Tabelas 5 e 6 e do gráfico da fig. 22, constata-se que os painéis mais esbeltos apresentaram maiores deslocamentos horizontais e tais valores são mais expressivos nos modelos cuja razão altura/espessura é igual ou superior a 24.

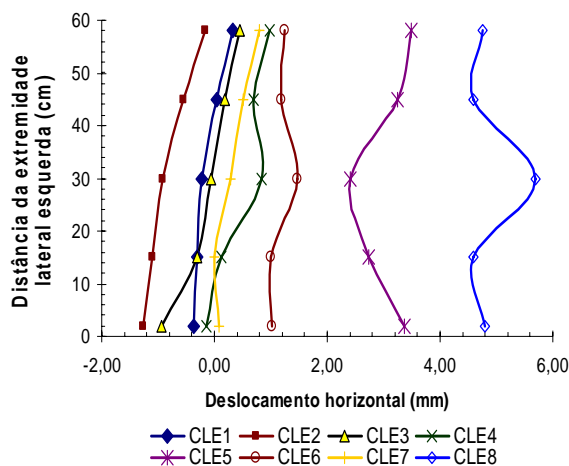


Fig. 22 – Forma deslocada dos painéis, na altura média

Um fenômeno importante notado na fig. 22 é a sutil diferença entre os deslocamentos do centro (*H3*) e os deslocamentos adjacentes (*H1*, *H2*, *H4* e *H5*) para os painéis CLE4 a CLE8. Isso mostra uma contribuição dos perfis de aço por oferecerem ganhos em rigidez lateral aos painéis esbeltos quando solicitados à compressão. Tal fenômeno, no entanto, não foi tão expressivo nos painéis de CLE componentes da etapa 2, que possuem menor largura e, assim, permitem que os perfis metálicos das extremidades laterais contenham de modo mais eficiente a massa de concreto em seu interior por meio.

## 7- CONCLUSÕES

A partir do sistema de aplicação de cargas e dos equipamentos elaborados foi possível executar ensaios à compressão em painéis de CLE, sob a condição de apoio aproximadamente engastada. Os dispositivos de ensaio ofereceram maior segurança à execução e a instrumentação proposta permitiu captar os fenômenos físicos envolvidos nos experimentos.

Os modos de falha mostraram que a instabilidade dos painéis de CLE foi pouco significativa nos modelos da etapa 2 em relação aos da etapa 1. As deformações do concreto e do aço dos perfis indicaram que após certo limite os materiais deixam de trabalhar em conjunto sob ação de cargas de compressão, o que permitiu concluir que não houve interação completa, como ocorre em pilares mistos.

Finalmente, observou-se que os perfis metálicos contribuem para o ganho em rigidez lateral dos painéis de CLE, fato que também pode indicar ganho em resistência à compressão.

## 8- REFERÊNCIAS

- Benayoune, A.; Samad, A.A.A.; Trikha, D.N.; Abang Ali, A.A.; Ashrabov, A.A. Structural behaviour of eccentrically loaded precast sandwich panels. *Journal of Construction and Building Materials*. Guildford, n. 20, p. 713-724, 2006.
- Doh, J. H. Experimental and theoretical studies of normal and high strength concrete wall panels. Thesis (PHD) - Griffith University, Cold Coast Campus, 2002.
- Ernst, G. C. Stability of thin-shelled structures. *ACI Structural Journal*, Detroit, v. 49, n. 20, p. 227-292, 1952.
- NBR 5739. Concreto - Ensaio de compressão em corpos-de-prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1994.
- NBR 6892. Materiais metálicos: ensaio de tração à temperatura ambiente. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2002.
- Rodrigues, E.V. Determinação da resistência última à compressão de painéis de Concreto Laminar Envelado - CLE. Dissertação

(Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

Saheb, S. M.; Desayi, P. Ultimate strength of reinforced concrete wall panels in one-way in-plane action. Journal of Structural Engineering, New York, v. 115, n. 10, p. 2617-2630, 1989.

Sanjayan, J. G.; Maheswaran, T. Load capacity of slender high-strength concrete walls with side supports. ACI Structural Journal, Detroit, v. 96, n. 4, p. 571-576, 1999.

Swartz, S. E.; Rosebraugh, V. H.; Berman, M.Y. Buckling tests on rectangular concrete

panels. ACI Structural Journal, Detroit, v. 71, Jan, p. 33-39, 1974.

## **9- AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à CAPES pela concessão da bolsa de estudos, à CEMIG e FAPEMIG pelo subsídio financeiro à pesquisa