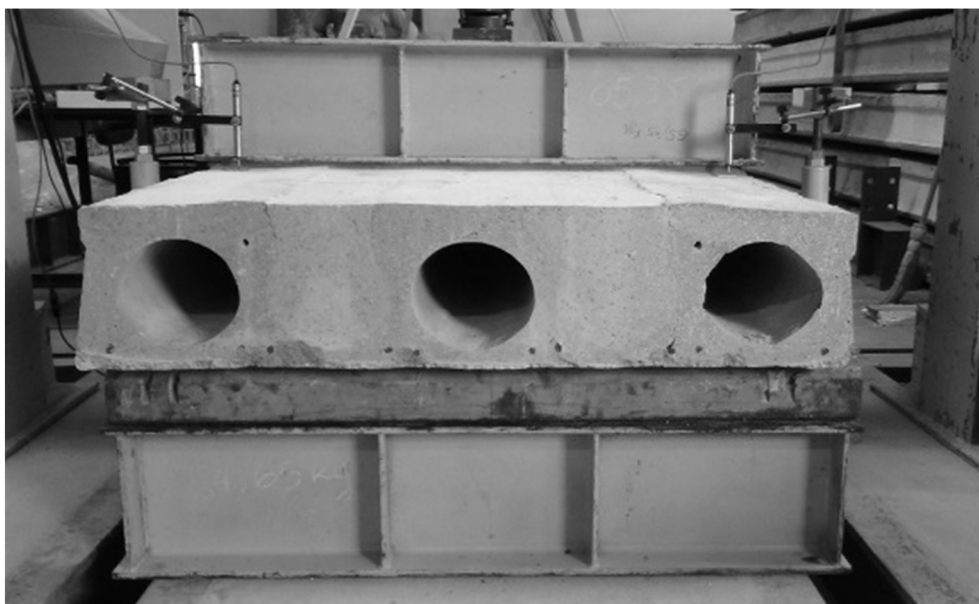


RELATÓRIO TÉCNICO - RT1399-12/LA2013-01: Avaliação do Desempenho de Lajes Alveolares Protendidas com Alvéolos Preenchidos



Detalhamento:

Avaliação da Resistência à Força Cortante de Lajes Alveolares Protendidas com Preenchimento de 02 Alvéolos com Concreto Melhorado com Adição (Dry1)

Responsável pelo Relatório:

Prof. Dr. Marcelo de Araujo Ferreira
Coordenador do NETPRE

Responsável pelos Ensaios:

Eng. MSc. Luis Augusto Bachega
Auxiliar de Pesquisa no NETPRE
Vitor Hugo Tresoldi
Graduando em Treinamento

Requerente:

Chimica Edile do Brasil

Abril de 2013

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente documento apresenta a AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO À FORÇA CORTANTE de elementos de lajes alveolares protendida H26 (com 26 cm de altura), os quais foram produzidos por meio de extrusão e foram doados pela empresa LEONARDI Construção Industrializada LTDA, com a finalidade de avaliar a qualidade no preenchimento de 02 alvéolos com concreto auto-adensável e adição do produto DRY1 (Chimica Edile do Brasil), onde se pretende avaliar a eficiência e contribuição dos alvéolos preenchidos para o aumento da resistência à força cortante. Além do concreto com adição DRY1 foram avaliados outras 02 variações de protótipos com alvéolos preenchidos com concreto auto-adensável empregando procedimento de uso corrente pela fabricante das lajes.

O procedimento de preenchimento ocorre ainda na pista de protensão, antes da liberação e corte das lajes. A norma brasileira para lajes alveolares, a NBR-14861:2011, permite que se considere apenas 50% da contribuição da largura dos alvéolos preenchidos para contribuição no aumento da resistência à força cortante. Ainda, esta norma permite um aumento na contribuição do preenchimento nos alvéolos para a força cortante no projeto estrutural desde que sejam feitas verificações experimentais. Na presente investigação se pretendeu determinar a contribuição efetiva que se pode alcançar com a utilização de um concreto para preenchimento com adição do produto DRY1.

2. Procedimentos Experimentais

Para os ensaios de resistência à força cortante nas lajes alveolares com alvéolos preenchidos foram empregados 02 arranjos de ensaios, conforme indicados na Figura 1, cujas distâncias foram consideradas para a obtenção da força cortante máxima aplicada junto ao apoio mais próximo da aplicação da carga. Na Figura 2 são apresentadas fotografias com vistas gerais dos ensaios realizados. Na Tabela 1 é apresentado um resumo com os 03 tipos de lajes alveolares com preenchimento de 02 alvéolos, com variação na composição do concreto (concreto auto-adensável já utilizado pela LEONARDI e concreto com adição DRY1) e no detalhamento do alvéolo (com e sem armadura de grampo). Antes de cada ensaio, a posições de cada cordoalha inferior foram medidas, a partir das quais se calculou o valor médio para a posição das cordoalhas, conforme valores apresentados na Tabela 2. Estes valores foram os valores considerados para as verificações da resistência efetiva das lajes analisadas.

Figura 1. Esquemas com Arranjos dos Ensaios para Resistência à Força Cortante em Lajes Alveolares

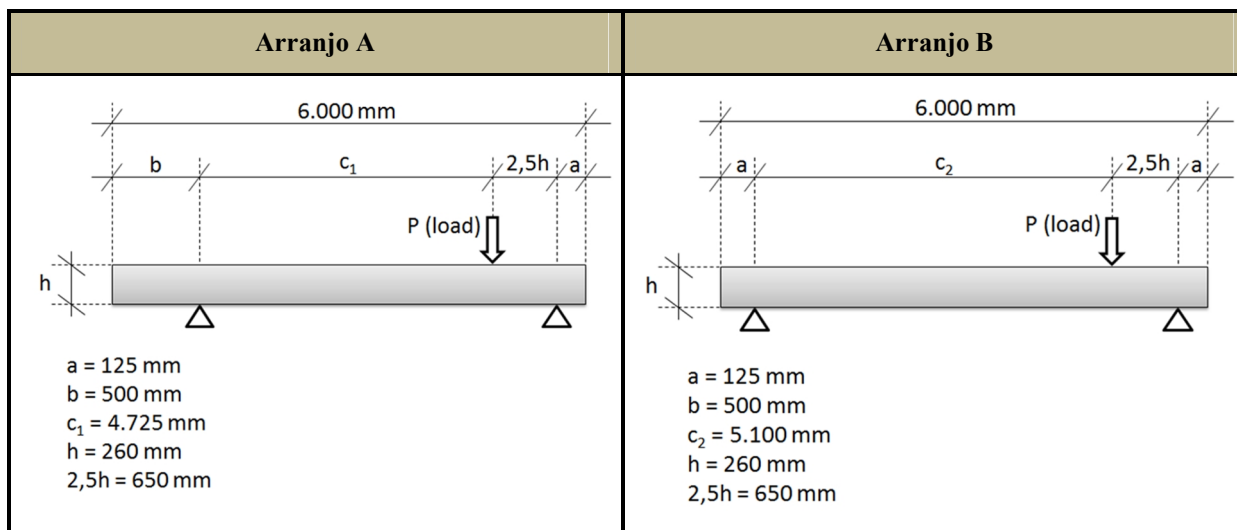


Figura 2. Vista de Laje Ensaçada

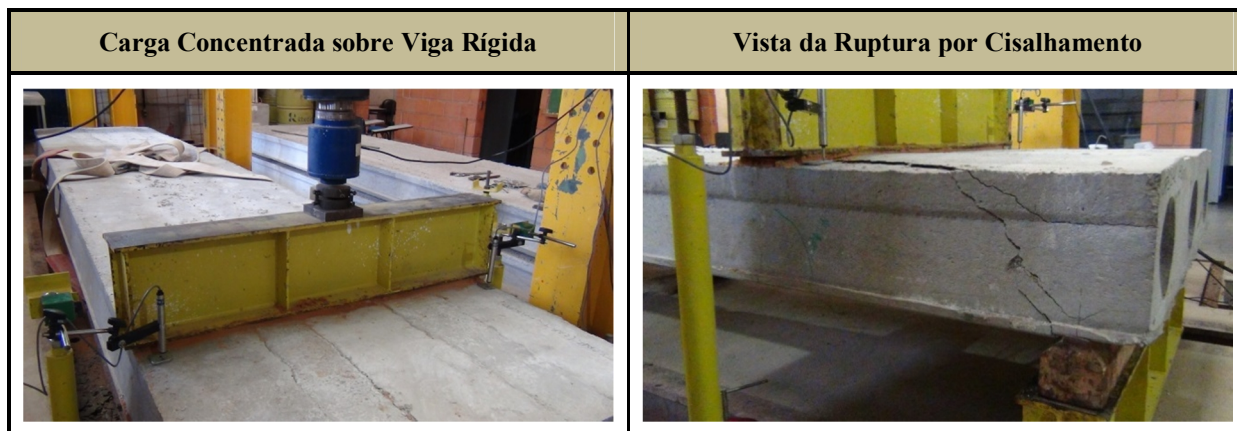


Tabela 1. Protótipos Ensaçados

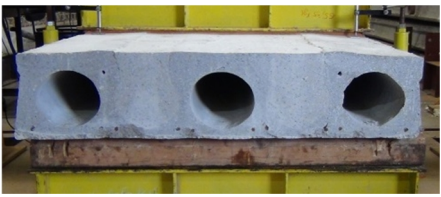

Protótipos com Alvéolos Preenchidos	Tipo 1 CAA + BAR (1 e 2)	Tipo 2 CAA (1 e 2)	Tipo 3 CAA + DRY1 (1)
	Preenchimento com Concreto Auto-Adensável + 2 Barras de 12,5 mm (Paper Clip)	Preenchimento com Concreto Auto-Adensável	Preenchimento com Concreto Auto-Adensável + Dryl

Tabela 2. Consideração da posição efetiva dos cabos de protensão (C_m)

Protótipos com Alvéolos Preenchidos	Tipo 1 – CAA + Grampos	Tipo 2 – CAA	Tipo 3 – CAA + Dry1
	C_m entre 3 e 3,5 cm (50% com 3 cm e 50% com 3,5 cm)	C_m entre 2,5 e 3 cm (50% com 2,5 cm e 50% com 3,0 cm)	C_m entre 2,5 e 3 cm (50% com 2,5 cm e 50% com 3,0 cm)

3. Resultados Experimentais

Os resultados das resistências á força cortante estão apresentados na Tabela 3. Nestes valores já está computada a parcela do peso próprio da laje. Os gráficos com as leituras de força por deslocamento nos ensaios de cisalhamento estão apresentados nas Figuras 3 a 9. As configurações de fissuração nos modelos ensaiados estão registradas nas Figuras 10 a 20.

Tabela 3. Resultados dos Ensaios

Laje Ensaçada	Arranjo de Ensaio	$P_{u.exp}$ kN	$V_{u.exp}$ kN
Protótipo Tipo 1 - CAA + BAR (1)	B ($L_{vão} = 5,75$ m)	341,5	314,2
Protótipo Tipo 1 - CAA + BAR (2)	A ($L_{vão} = 5,375$ m)	347,9	316,6
Protótipo Tipo 2 - CAA (1)	A ($L_{vão} = 5,375$ m)	372,1	338,6
Protótipo Tipo 2 - CAA (2)	A ($L_{vão} = 5,375$ m)	446,5	406,3
Protótipo Tipo 3 - CAA + DRY1 (1)	A ($L_{vão} = 5,375$ m)	386,8	352,0
Protótipo Tipo 3 - CAA + DRY1 (2)	A ($L_{vão} = 5,375$ m)	365,1	332,2

Fig. 3 – Curva Força no Atuador x Deslocamento - Protótipo Tipo 1 CAA + BAR (1)

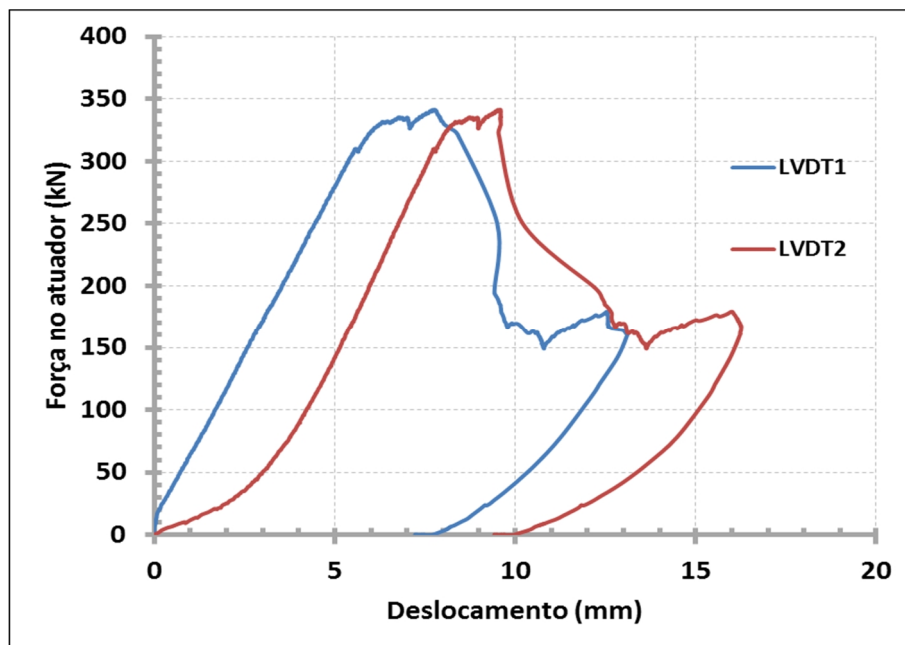


Fig. 4 – Curva Força no Atuador x Deslocamento - Protótipo Tipo 1 CAA + BAR (2)

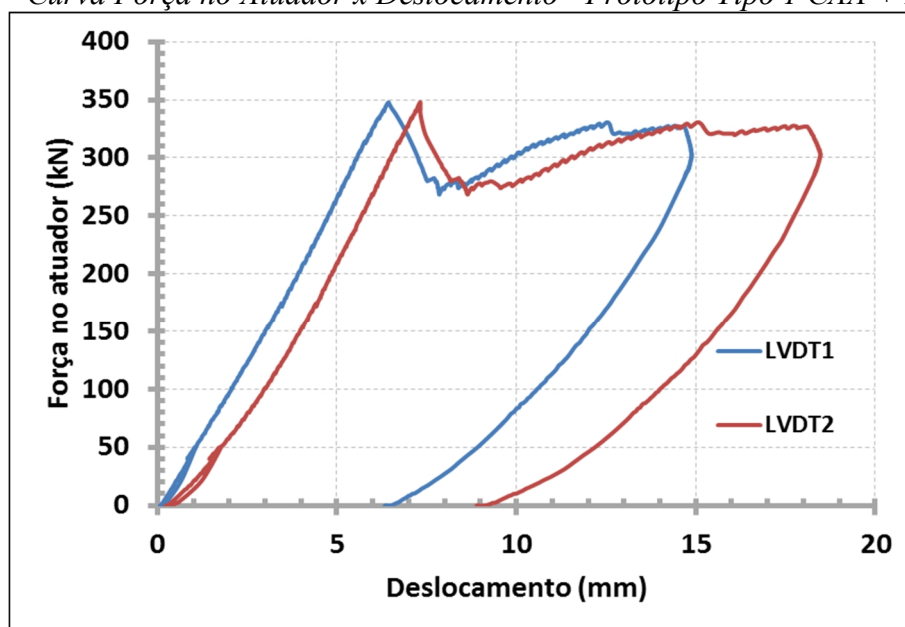


Fig. 5 – Curva Força no Atuador x Deslocamento - Protótipo Tipo 2 CAA (1)

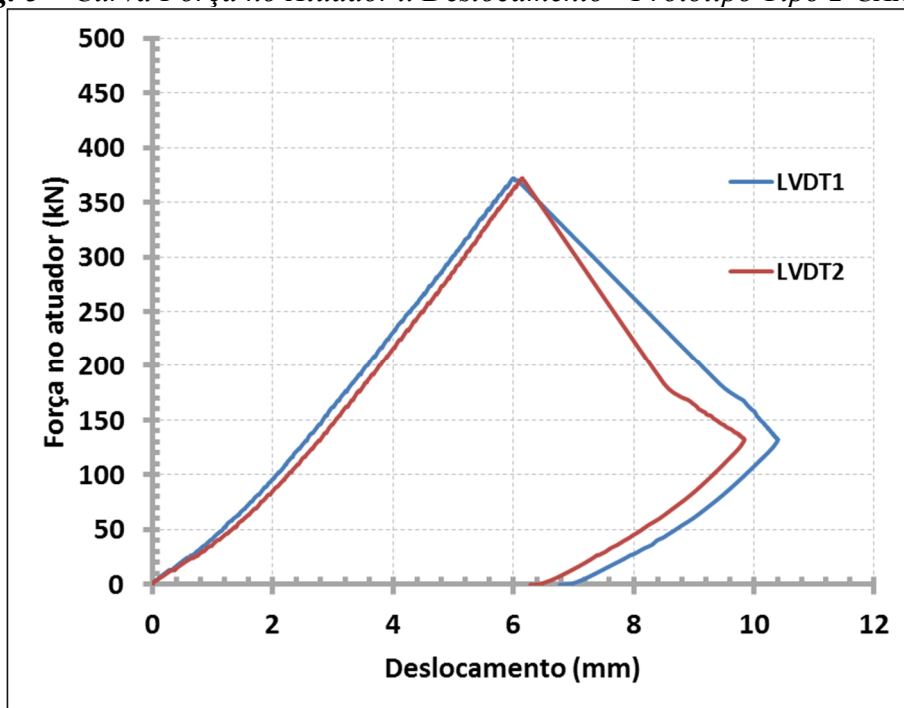


Fig. 6 – Curva Força no Atuador x Deslocamento - Protótipo Tipo 2 CAA (2)

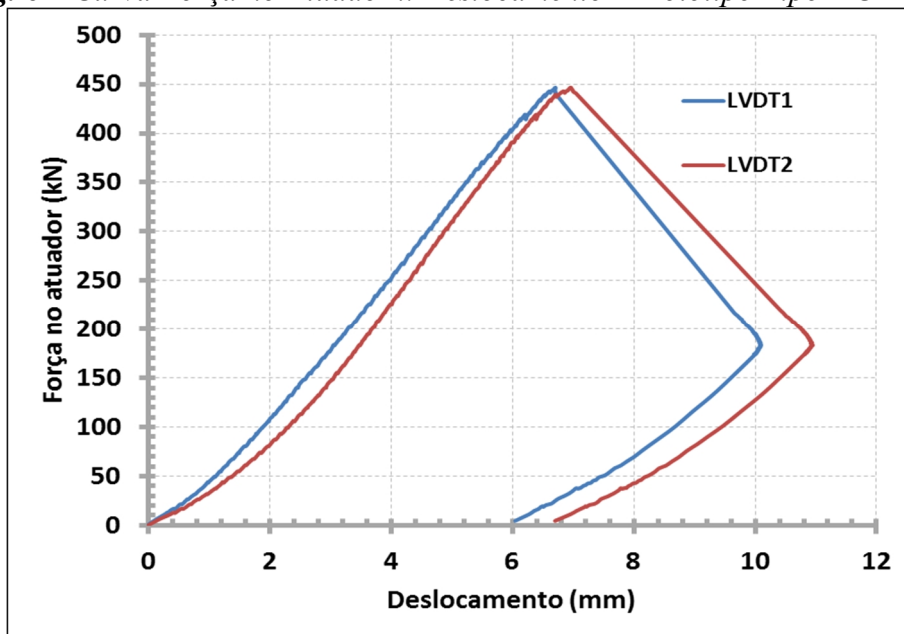


Fig. 7 – Curva Força no Atuador x Deslocamento - Protótipo Tipo 3 CAA + DRYI (1)

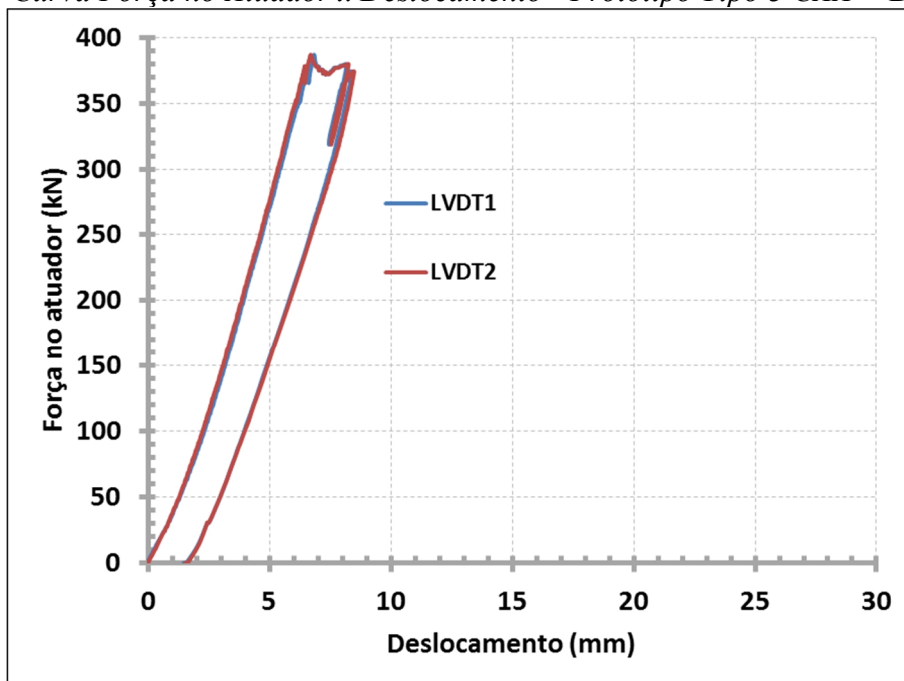


Fig. 8 – Curva Força no Atuador x Deslocamento - Protótipo Tipo 3 CAA + DRYI (2)

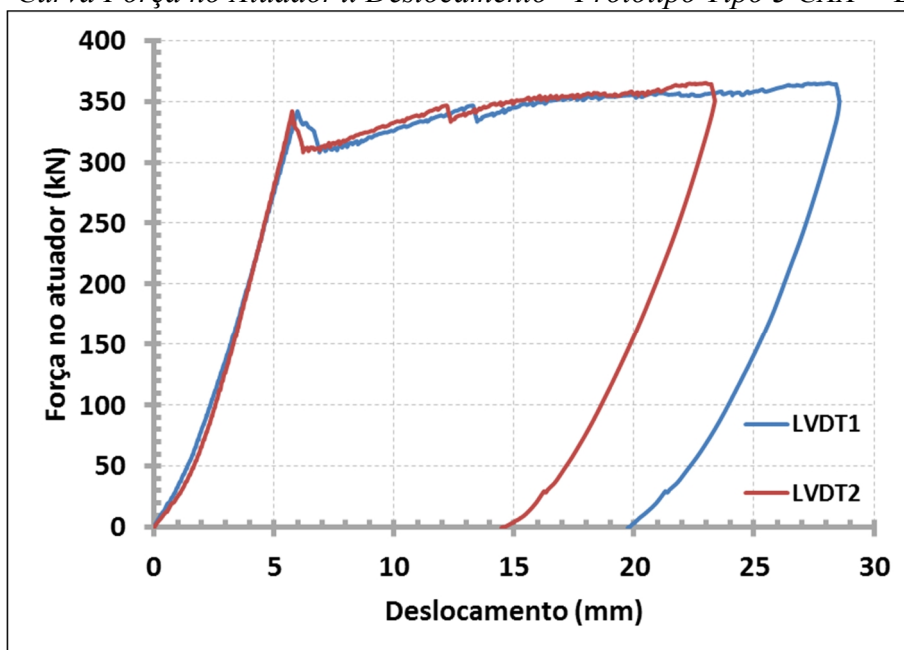


Fig. 9 – Fissura por flexão – Protótipo 1 CAA + BAR (1)



Fig. 10 – Ruptura por cisalhamento – Protótipo 1 CAA + BAR (1)



Fig. 11 – Fissura por cisalhamento – Protótipo 1 CAA + BAR (2)



Fig. 12 – Ruptura por cisalhamento – Protótipo 1 CAA + BAR (2)

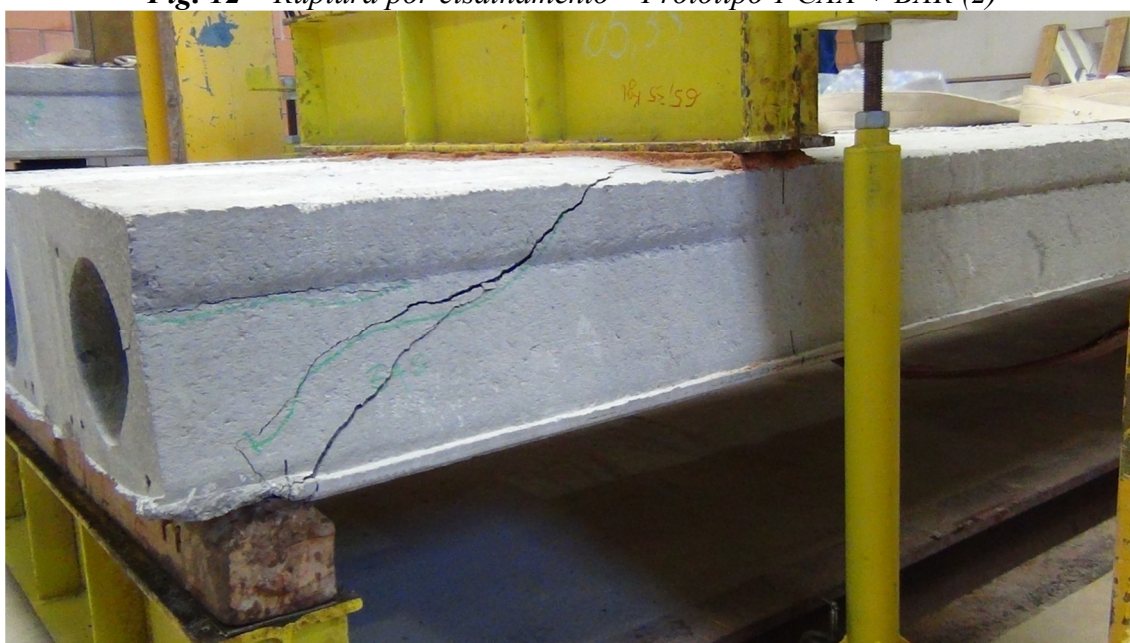


Fig. 13 – Ruptura por cisalhamento – Protótipo 2 CAA (1)



Fig. 14 – Ruptura por cisalhamento – Protótipo 2 CAA (1)

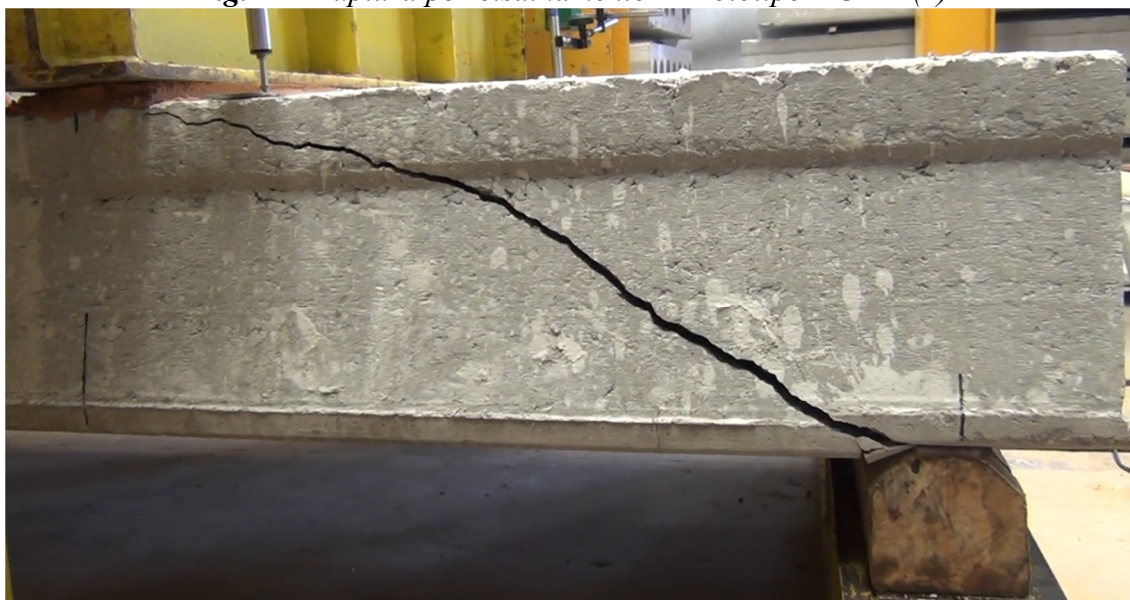


Fig. 15 – Ruptura por cisalhamento – Protótipo 2 CAA (2)



Fig. 16 – Ruptura por cisalhamento – Protótipo 2 CAA (2)



Fig. 17 – Fissura por flexo-cisalhamento – Protótipo 3 CAA + DRYI (1)



Fig. 18 – Fissura por flexo-cisalhamento – Protótipo 3 CAA + DRYI (1)



Fig. 19 – Fissura por flexo-cisalhamento – Protótipo 3 CAA + DRYI (2)



Fig. 20 – Fissura por flexo-cisalhamento – Protótipo 3 CAA + DRYI (2)



4. Comparação dos Valores Experimentais com Teóricos

Os resultados experimentais obtidos nos ensaios de cisalhamento (apresentados na Tabela 2) foram comparados com os valores teóricos de cálculo, considerando as resistências efetivas do concreto e do aço (sem coeficientes de minoração da resistência), medidas efetivas das lajes ensaiadas (com aumento de cerca de 7% da área de concreto em relação à seção teórica de projeto) e posição média das cordoalhas conforme apresentado na Tabela 2.

Na Tabela 4 estão apresentadas as relações entre as resistências experimentais e teóricas, considerando a expressão exata para a contribuição do preenchimento de 02 alvéolos em fábrica, conforme a NBR14861:2001, onde se considera a contribuição de somente 50% da largura dos alvéolos. Como se pode observar, as resistências experimentais foram bem superiores aos valores teóricos previstos. Por esta razão, na Tabela 5 são apresentadas novas comparações com os valores teóricos, mas desta vez considerou-se 100% da contribuição dos alvéolos no cálculo da resistência ao cisalhamento, onde se pode observar que todos os modelos apresentaram resistência satisfatória.

Tabela 4. Comparação de Resultados Experimentais x Valores Teóricos (NBR-14861:2011)

Laje Ensaçada	Exp / Teor	$V_{u.exp}$	$V_{u.teór(NBR14861)}$
		kN	kN
Protótipo Tipo 1 - CAA + BAR (1)	1,35	314,2	233
Protótipo Tipo 1 - CAA + BAR (2)	1,36	316,6	233
Protótipo Tipo 2 - CAA (1)	1,43	338,6	237
Protótipo Tipo 2 - CAA (2)	1,71	406,3	237
Protótipo Tipo 3 - CAA + DRY1 (1)	1,49	352,0	237
Protótipo Tipo 3 - CAA + DRY1 (2)	1,40	332,2	237

$V_{u.teór(NBR14861)}$ – Considerando 50 % da contribuição dos alvéolos preenchidos

Tabela 5. Comparação de Resultados Experimentais x Valores Teóricos (NBR-14861:2011 ajustado)

Laje Ensaçada	Exp / Teor	$V_{u.exp}$	$V_{u.teór(NBR14861)}$
		kN	kN
Protótipo Tipo 1 - CAA + BAR (1)	1,01	314,2	311
Protótipo Tipo 1 - CAA + BAR (2)	1,02	316,6	311
Protótipo Tipo 2 - CAA (1)	1,07	338,6	316
Protótipo Tipo 2 - CAA (2)	1,29	406,3	316
Protótipo Tipo 3 - CAA + DRY1 (1)	1,11	352,0	316
Protótipo Tipo 3 - CAA + DRY1 (2)	1,05	332,2	316

$V_{u.teór(NBR14861)}$ – Considerando 100 % da contribuição dos alvéolos preenchidos

5. Conclusões do Relatório

Com base na validação experimental em comparação com valores teóricos (considerando tanto 50% quanto 100% de contribuição dos alvéolos preenchidos), para os materiais e procedimentos empregados pela LEONARDI para preenchimento dos alvéolos, a NBR-14861:2011 permitiria a consideração de 100% dos alvéolos no cálculo da resistência à força cortante.

Com relação à comparação entre a eficiência entre os materiais empregados para o preenchimento, com concreto auto-adensável CAA e concreto auto-adensável mais adição CAA+DRY1, não foram observadas diferenças significativas com relação à resistência final dos ensaios. Entretanto, como podem ser observados nos gráficos das Figuras 7 e 8 e nas fotografias das Figuras 17 a 20, os mecanismos de ruptura apresentados nos protótipos com preenchimento com adição CAA+DRY1 apresentaram um comportamento não frágil, ao contrário do que ocorreu nos casos dos protótipos com preenchimento com concreto auto-adensável convencional CAA (em ambos os casos, com e sem barra). Portanto, considera-se importante a continuidade da investigação.

São Carlos, 15 de Abril de 2013

Marcelo de Araujo Ferreira, DSc. Eng., Coord. NETPRE-UFSCar
Supervisão e Responsável pelo Relatório

Luís Augusto Bachega, MSc. Eng., Assistente NETPRE-UFSCar
Responsável pelo Ensaio

Vitor Hugo Tresoldi, Graduando, NETPRE-UFSCar
Auxiliar de Ensaio