

3. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Considerando-se os estudos desenvolvidos para conectores de cisalhamento apresentados no capítulo anterior, pode-se notar a influência de diversos fatores no desempenho dos mesmos tais como: a solda, o concreto e a forma do conector que possui diversas configurações, tanto geométricas quanto de interferências externas, presença de furos além da utilização ou não de barras de reforço.

Assim o programa experimental desta tese teve por base quatro grandes etapas a saber:

- realização de ensaios *push-out* com conectores de cisalhamento tipo Perfobond similares ao de Vianna (2009);
- execução de ensaios de conectores T-Perfobond com variação do ângulo Δ entre a mesa do conector e a do perfil base, apenas com a alma do conector soldada;
- verificação da influência da presença de furos no conector inclinado e do uso de barra de reforço para melhorar o desempenho do conector com variação do ângulo Δ ;
- Por fim, ensaiar o conector T-perfobond, apenas com a alma do conector soldada.

Na Figura 65 são apresentadas algumas geometrias possíveis para o conector T-Perfobond, sendo que o item (a) corresponde ao conector conforme ensaiado por Vianna (2009), (b) uma alteração do ângulo Δ entre a mesa do conector e a mesa do perfil, (c) uma alteração de ângulo Δ entre o conector e a mesa do perfil e (d) uma variação da opção (c) visando a facilidade de execução.

A alteração do ângulo entre a mesa do conector e do perfil, ângulo Δ , tem por objetivo mobilizar o concreto em uma região favorável ao comportamento dúctil devido ao confinamento do concreto. Este confinamento do concreto é gerado tendo em vista que o estado biaxial de tensões ao qual o concreto está submetido passa a ser triaxial com a inclinação do conector T-Perfobond conforme pode ser visualizado na Figura 66.

A Tabela 14 apresenta uma síntese dos ensaios realizados na presente tese com a respectiva designação de cada ensaio onde t_c e h_c representam a espessura e a largura da laje de concreto.

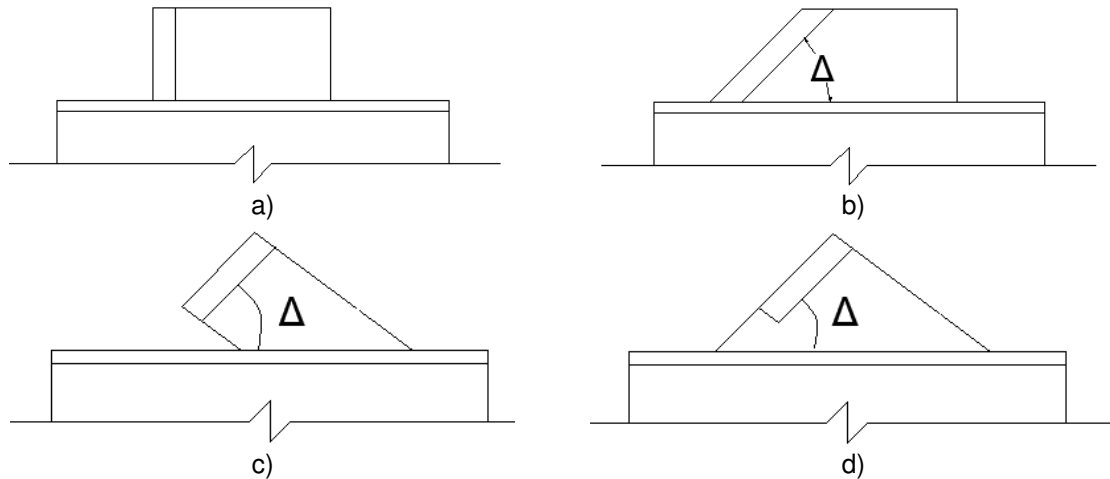


Figura 65 – Proposta de geometria possíveis para o T-Perfobond

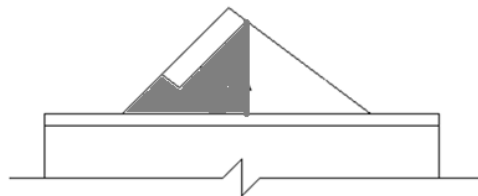


Figura 66 – zona de confinamento.

Tabela 14 – Ensaios realizados

Ensaio ID	Designação	Descrição (tipo)	Laje de Concreto	
			t_c (mm)	h_c (mm)
1	P1	Perfobond	120	650
2	P2		120	650
3	P3		120	650
4	TP45A	T- Perfobond $\Delta = 45^\circ$	120	650
5	TP45B		120	650
6	TP60A	T- Perfobond $\Delta = 60^\circ$	120	650
7	TP60B		120	650
8	TP30A	T- Perfobond $\Delta = 30^\circ$	120	650
9	TP30B		120	650
10	TP60F1	T- Perfobond $\Delta = 60^\circ$ COM FURO	120	650
11	TP60F2		120	650
12	TP60FB1	T- Perfobond $\Delta = 60^\circ$ COM FURO E BARRA	120	650
13	TP60FB2		120	650
14	TP	T- Perfobond com mesa do conector sem solda	120	650
15	TP		120	650

3.1. Conectores Perfobond

A concepção destes ensaios iniciais teve como objetivo principal trazer maior experiência para a realização dos ensaios push-out subsequentes e assim reduzir possíveis erros futuros. Isto porque seria a primeira vez que o equipamento de ensaios com controle de deslocamentos do laboratório seria usado já configurado para atender às prescrições de realização de ensaios push-out de acordo com o Eurocode 4 (2005). Assim, foi escolhido um ensaio já descrito na literatura para sua repetição de forma a validar o procedimento experimental que seria realizado posteriormente.

O ensaio escolhido para ser repetido foi o P-2F-120 realizado por Vianna (2009), caracterizado por um conector Perfobond com 2 furos e laje de 120mm, visto que este ensaio apresentava a variável do furo e características adequadas para execução no laboratório da UERJ. O conector está apresentado na Figura 67 cuja espessura considerada para o mesmo foi de 12,5mm.

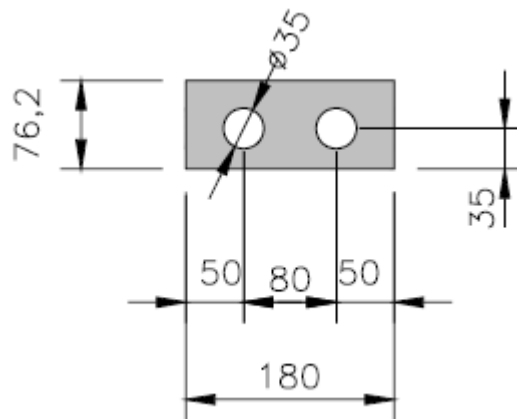


Figura 67 – Conector P-2F-120.

A confecção dos protótipos para os ensaios push-out foi realizada conforme a Figura 68 seguindo o mesmo padrão adotado por Vianna (2009) sendo o posicionamento das armaduras repetido para todos os demais ensaios. O perfil adotado para a viga foi um W 200 x 86.

A Figura 68 apresenta além da geometria dos protótipos dos ensaios, o posicionamento das armaduras de 10 mm, as quais foram ensaiadas e apresentaram resultados adequados ao aço CA-50, com tensão de escoamento

superior a 500MPa, tensão de ruptura superior a 10% da tensão de escoamento e dobramento da ordem de 4 vezes o diâmetro nominal.

Na Figura 69 e na Figura 70 são apresentadas as barras de aço ensaiadas a tração conforme ABNT NBR 6152 (1992) a e ao dobramento conforme a ABNT NBR 7438 (2016) respectivamente.

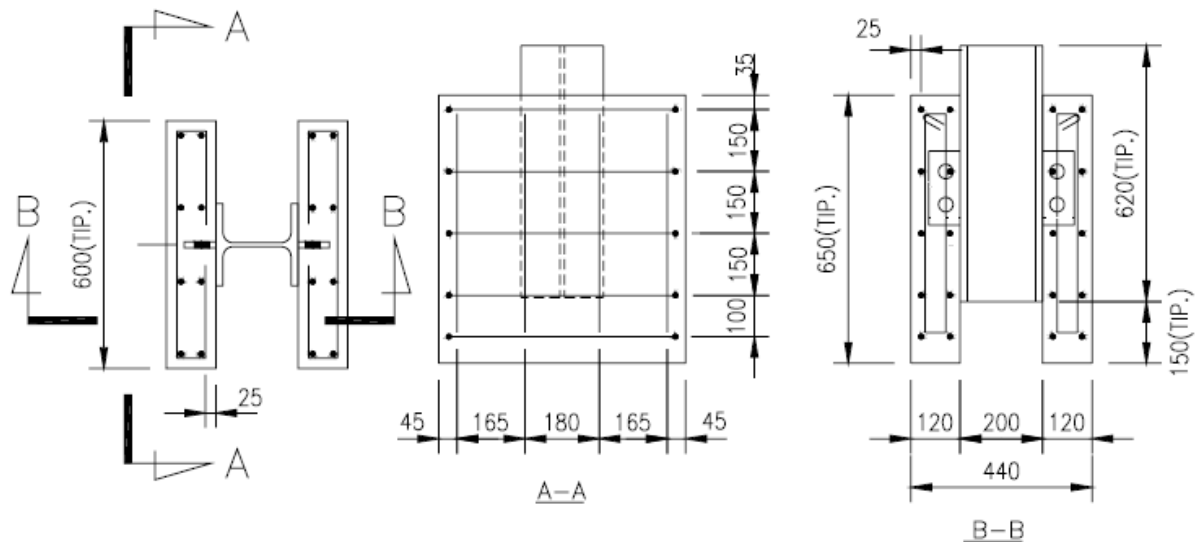
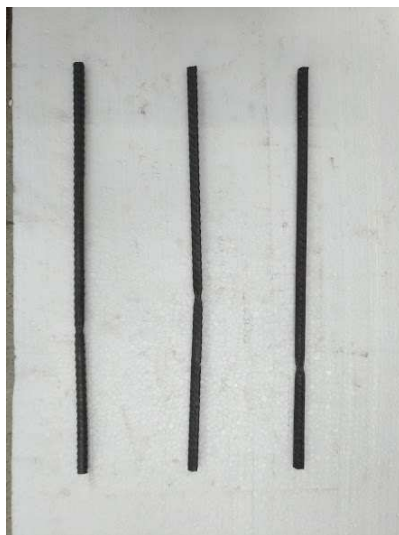
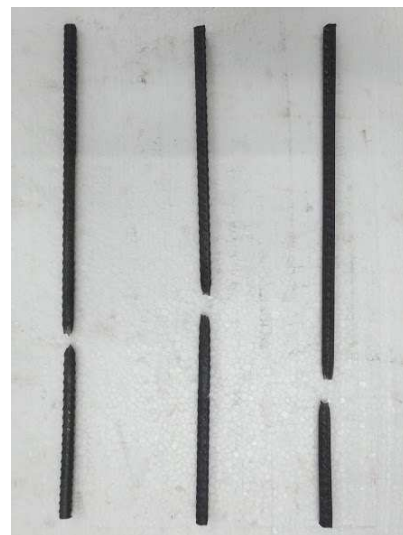


Figura 68 – Configuração detalhada do protótipo P-2F-120 (Vianna, 2009)



a) escoamento



b) ruptura

Figura 69 – Ensaio de tração das barras de aço



Figura 70 – Ensaio de dobramento da barras de aço

Na Figura 71 a seguir são apresentados os gabaritos de traçado e prumo que foram realizados para solda dos conectores no perfil.



a) traçado do alinhamento para posicionamento dos conectores



b) verificação de prumo dos conectores

Figura 71 – Posicionamento correto do conector Perfobond

A seguir são apresentadas as formas utilizadas na concretagem dos protótipos dos ensaios push-out. Nota-se que em uma primeira tentativa não foram utilizados reforços laterais na forma. Contudo, foi verificada a necessidade da utilização de reforços nas formas, conforme apresentado na Figura 72(b).



a) primeira forma



b) segunda forma

Figura 72 – Formas utilizadas nos protótipos dos ensaios push-out

Os corpos de prova adotados para os ensaios de resistência do concreto foram do tipo cilíndrico 10x20 cm, conforme apresentado na Figura 73 abaixo. Na primeira imagem pode ser verificado o preenchimento em camadas para a realização dos golpes de adensamento e na segunda, a regularização da superfície.



(a) Preenchimento



(b) Regularização da superfície

Figura 73 – Corpos de prova de concreto.

Para todas as concretagens realizadas foram executados testes de slump nos quais era desejado um resultado de 12 ± 2 cm, valor este atendido em todos os ensaios realizados (Figura 74).

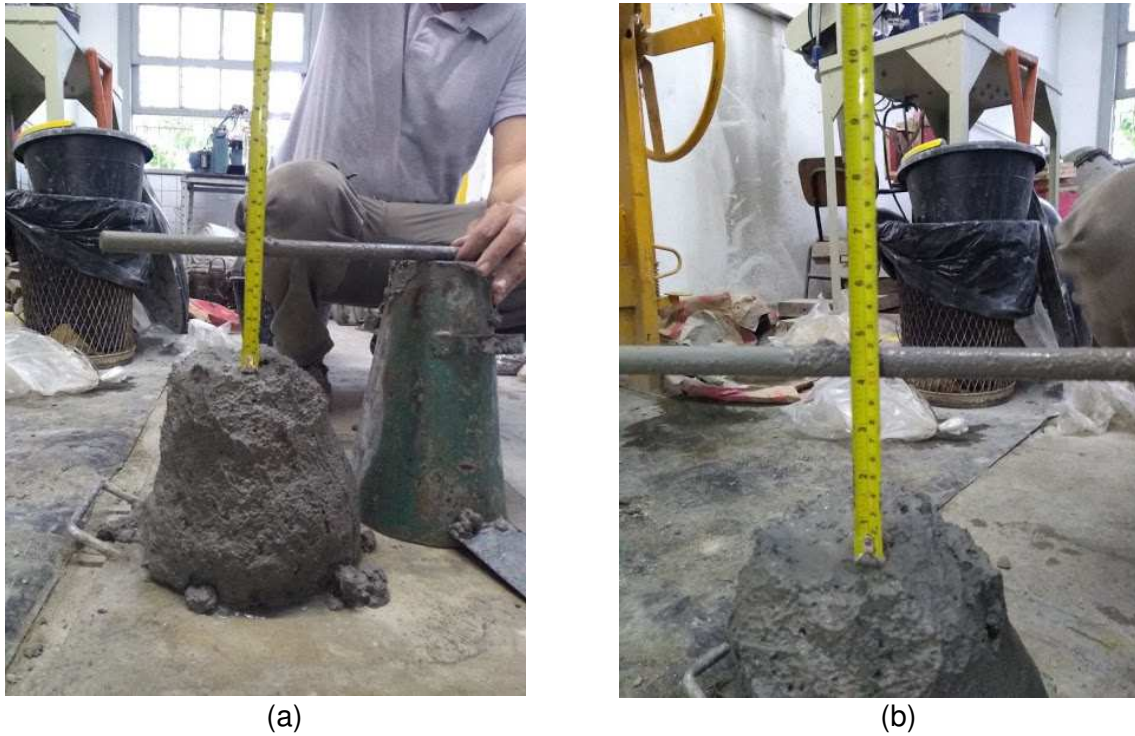


Figura 74 – Slump teste

Nestes ensaios foram usados extensômetros lineares posicionados na parte frontal dos furos do conector de forma paralela a mesa do perfil, conforme Figura 75.

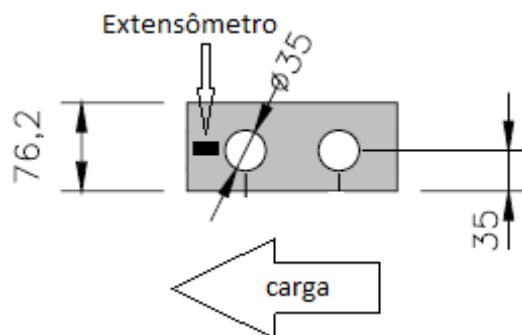


Figura 75 – Posição dos extensômetros lineares

Também foram utilizados seis transdutores de deslocamento (LVDTs) posicionados durante os ensaios sendo dois sobre as lajes para medir deslizamento,

dois ortogonais as lajes para medir deslocamentos laterais e dois para a base do perfil, conforme apresentado na Figura 76 e na Figura 77. Nesta figura ainda é possível verificar que foram colocadas duas placas de aço, uma abaixo da laje e outra acima do perfil, com o intuito de uniformizar a distribuição dos carregamentos.

O ensaio foi realizado seguindo-se o mesmo protocolo de carregamento adotado por Vianna (2009) que seguiu o preconizado pelo Eurocode 4 (2005) apresentado anteriormente na Figura 21.

Os ensaios push-out com o conector Perfobond foram de grande valia para o aprimoramento do procedimento experimental tanto para a confecção dos corpos a serem ensaiados quanto para o procedimento de ensaio na prensa hidráulica com capacidade de 300 toneladas

O ensaio foi realizado com controle de carga durante a fase inicial na qual foi respeitado um carregamento cíclico com repetições sendo posteriormente realizado o controle de deslocamento até o colapso estrutural de forma a garantir pelo menos 15 minutos durante esta etapa.



a) vista frontal



b) vista posterior

Figura 76 – Posicionamento dos LVDTs nos ensaios push-out

O primeiro ensaio realizado apresentou excentricidade excessiva o que comprometeu os resultados e tornou necessário a realização de mais dois ensaios

posteriores para validação e que apresentaram resultados satisfatórios que serão apresentados no próximo capítulo da presente tese.

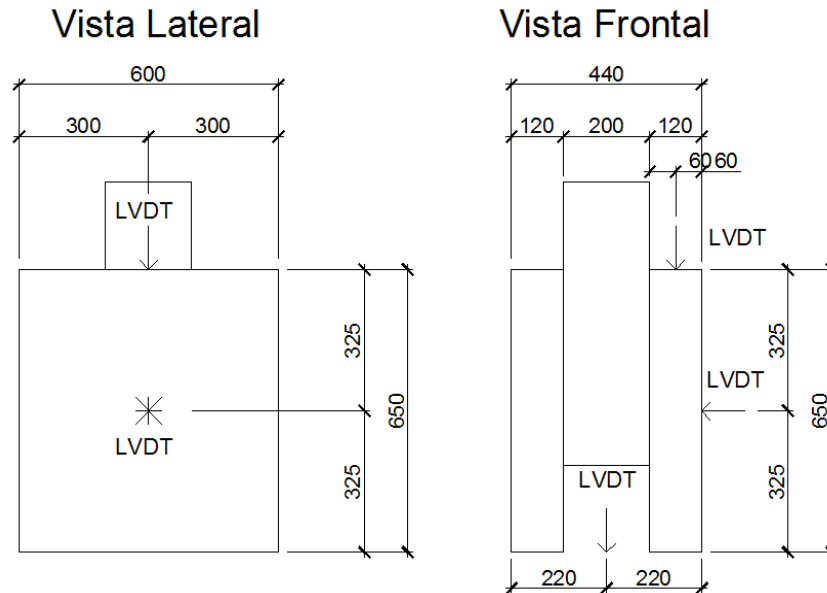


Figura 77 – Esquema de posicionamento dos LVDTs (dimensões em mm)

3.2. Conectores T-Perfobond

Considerando os ensaios *push-out* piloto com os Perfobond apresentaram resultados satisfatórios, procedeu-se ao desenvolvimento da análise experimental dos conectores tipo T-Perfobond com apenas as almas soldadas e variação de ângulo Δ , conforme apresentado na Figura 78, nesta figura cabe destacar que a altura dos conectores foi padronizada. Nesta fase foram escolhidos três ângulos para a análise experimental, 30°, 45° e 60°.

Os procedimentos para confecção dos protótipos a serem ensaiados foram similares aos usados na confecção dos protótipos com conectores Perfobond. Cabe destacar que a forma foi alterada, conforme apresentado na Figura 79 e a preparação do concreto para cada protótipo com cada ângulo foi realizada no mesmo dia de forma a minimizar possíveis alterações na resistência do concreto. Adicionalmente foi passado desmoldante nas formas e na mesa das vigas.

Conforme citado anteriormente, foram realizados ensaios de tração e dobramento das barras de armadura bem como testes slump obtendo-se resultados satisfatórios.

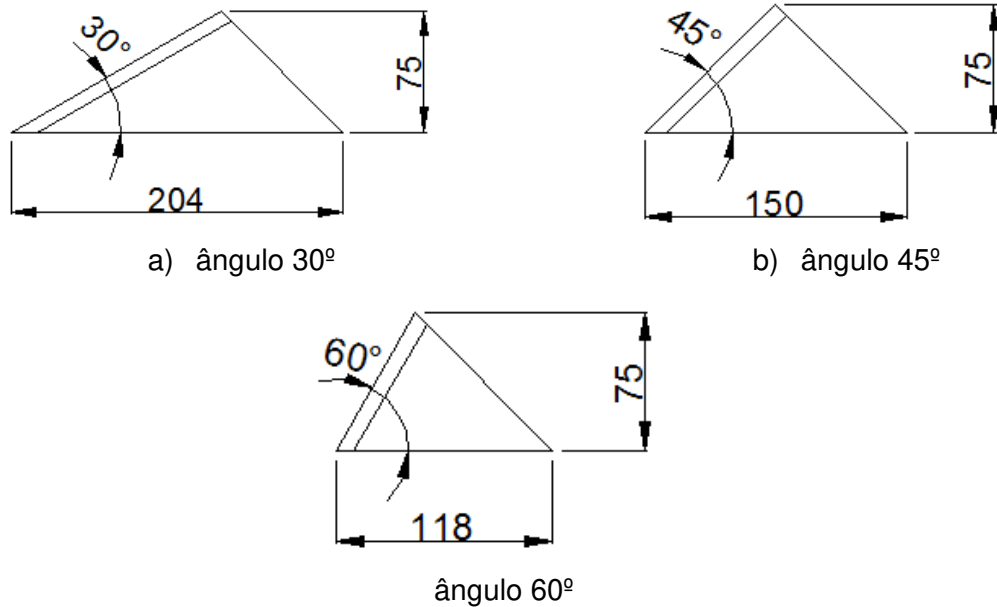


Figura 78 – Conector T-Perfobond com variação de ângulo

Em termos de instrumentação dos ensaios foi usado o mesmo esquema de posicionamento dos LVDts apresentados anteriormente. Já para medição de deformações, optou-se pela utilização de duas rosetas conforme pode ser observado na Figura 80.



Figura 79 – Formas da concretagem – protótipos com conectores T-Perfobond inclinados



Figura 80 – Posição das rosetas – ensaios com conectores T-Perfobond inclinados

Os conectores T-Perfobond modificados foram confeccionados a partir de um perfil W200x26.6 cujas características estão na Tabela 15 e na Figura 81. A escolha deste perfil teve por base as análises de Vianna (2009) considerando-se que para espessuras de mesas inferiores a 12mm, ocorre a deformação da mesa do conector e a contribuição para a ductilidade do sistema misto. Portanto, dentre os perfis possíveis de se utilizar, o W200x26,6 foi considerado o mais adequado.

Para as vigas foi adotado o perfil W 150 x 29,8. A alteração do perfil da viga foi motivada na facilidade de transporte e confecção dos protótipos de ensaio.

Após a utilização deste perfil para fabricação dos conectores, foram extraídos corpos-de-prova para realização de ensaios a tração de forma a caracterizar mecanicamente o material dos conectores, conforme apresentado na Figura 82 e na Figura 83.

A Figura 84 apresenta os resultados obtidos nos ensaios a tração dos corpos de prova dos conectores. Para os ensaios de caracterização, a tensão de escoamento foi superior a 350 MPa e a tensão de ruptura superior a 470 MPa sendo compatível com a especificação do aço ASTM A572.

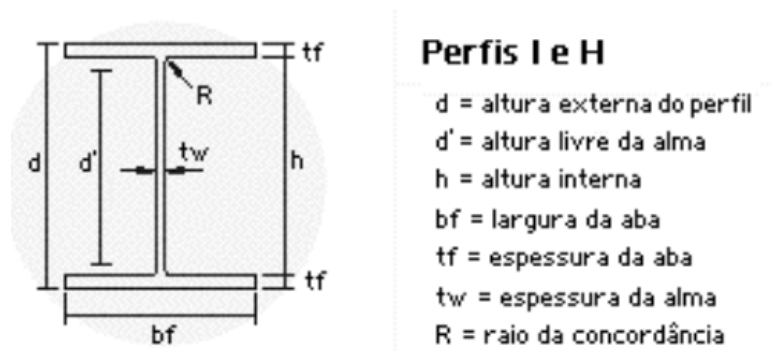


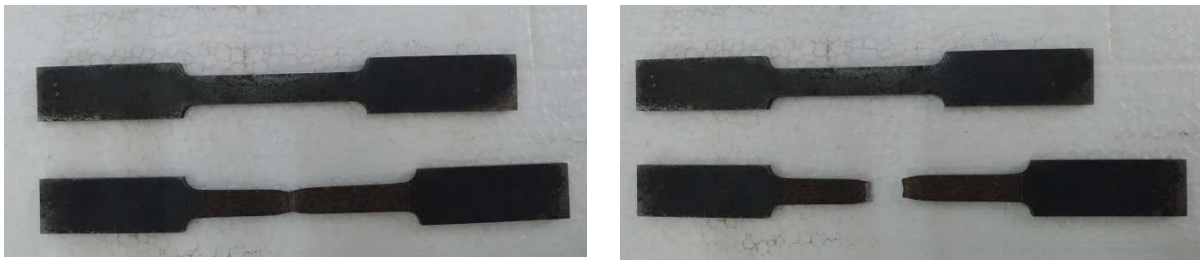
Figura 81 – Geometria do perfil do conector T-Perfobond inclinado, Portal Metalica

Tabela 15- Propriedades geométricas do perfil usado no conector T-Perfobond inclinado, Portal metalica

Bitola mm x kg/m	Massa linear Kg/m	d mm	b _f mm	Espessura		h mm	d' mm	Área cm ²
				t _w mm	t _f mm			
W 150 x 29,8	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2



Figura 82 – Fabricação dos corpos de prova para ensaios a tração



(a) (b)
Figura 83 – Corpos de prova após realização dos ensaios a tração

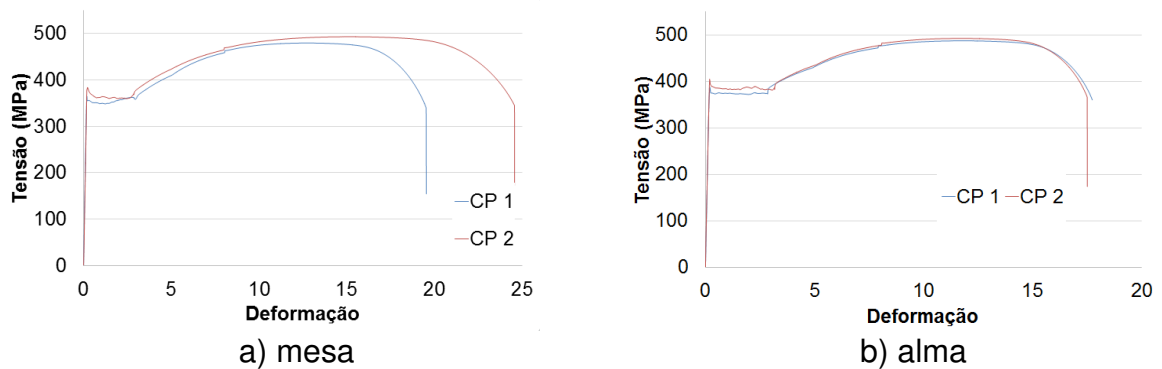


Figura 84 – Curvas tensão *versus* deformação obtidas nos ensaios a tração

3.3. Conectores T-Perfobond Com Furo, Furo e Barra e Ângulo Reto

Com os resultados da etapa anterior que serão discutidos no capítulo seguinte desta tese foi possível verificar que os ensaios push-out com conectores T-Perfobond com ângulo de 60° apresentaram um comportamento promissor em termos de ganho de ductilidade e por este fato, foram escolhidos para se avaliar de que forma a presença do furo com ou sem barra influenciariam o comportamento do conector. Adicionalmente foram realizados ensaios com o conector reto, ou seja, com ângulo de 90° sendo portanto um T-Perfobond sem furos (Figura 86).

Os conectores foram confeccionados do mesmo perfil W200 x 26,6 da etapa anterior. A Figura 85 apresenta o conector com furo e na Figura 86 pode ser observado o conector T-Perfobond reto sem furo.

Os conectores apresentados foram soldados a viga através de solda de filete ao longo da alma sem solda da mesa do conector.

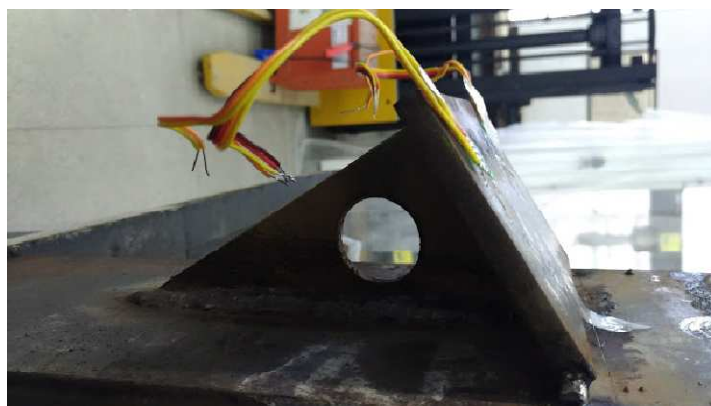


Figura 85 – Conector com furo



Figura 86 – Conector T-Perfobond normal

As rosetas foram posicionadas da mesma forma que na etapa anterior, conforme pode ser visualizado na Figura 87.



Figura 87 – Posicionamento das rosetas

A posição das armaduras e a geometria dos protótipos dos ensaios desta série são as mesmas já apresentadas anteriormente na Figura 68. Nos protótipos dos ensaios com conectores com furo e barra foi adicionada uma barra longitudinal com 10 milímetros no centro do furo conforme Figura 88. As formas foram executadas conforme apresentado na Figura 79.

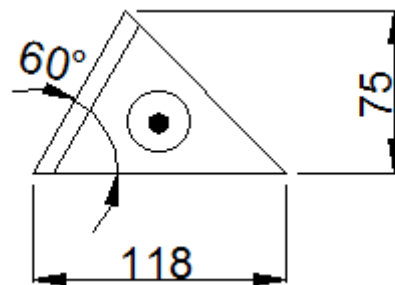


Figura 88 – Posicionamento da Barra de Reforço

Nestas concretagens foi utilizado o traço 1:1:2 com fator água/cimento de 0,56, apresentado na Tabela 16 para cada 50 kg de concreto. O slump esperado de 12+ou-2 cm. As características da areia e da brita 1 estão apresentadas na Tabela 17 e na Tabela 18, respectivamente.

Tabela 16- Traço do concreto.

Material	kg
cimento	50

areia	50
brita 1	100
água	28

Tabela 17- Caracterização da areia.

Areia	
Módulo de finura	2,82
Massa Específica	2,57 g/cm ³
Massa Unitária	1,46 g/cm ³
Diâmetro máximo	4,8 mm

Tabela 18- Caracterização da brita 1.

Brita 1	
Módulo de finura	9,58
Massa Específica	2,71 g/cm ³
Massa Unitária	1,42 g/cm ³
Diâmetro máximo	19 mm

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados e, quando pertinente, uma comparação entre os conectores avaliados na presente tese com resultados de ensaios *push-out* de conectores presentes na literatura técnica.

4.1. Etapa 1 – Conectores Tipo Perfobond (ensaio piloto)

Conforme apresentado no capítulo anterior, os primeiros ensaios *push-out* realizados foram com conectores de cisalhamento do tipo Perfobond. Estes ensaios tiveram como objetivo validar o procedimento experimental, sendo portanto, confeccionados os conectores P-2F-120 adotados por Vianna (2009), estes ensaios foram caracterizados por um Perfobond com 2 furos com espessura 12,5mm e dimensões conforme apresentado na Figura 89. As dimensões da laje de concreto foram 120mm x 600mm x 650mm.

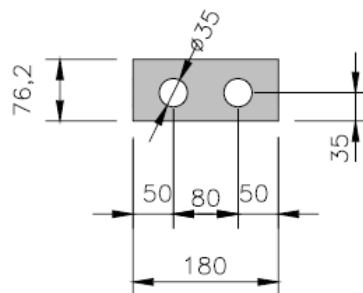


Figura 89 – Conector P-2F-120, Vianna(2009).

Foram realizados ao todo três ensaios *push-out* com este tipo de conector Perfobond e seus resultados encontram-se na Tabela 19.

O primeiro ensaio com o conector Perfobond apresentou grande excentricidade da viga. Além disto, o perfil adotado para viga possuía uma espessura pequena na mesa quando comparada aos 12,5mm do conector.

Tabela 19- Características dos ensaios push-out testes

Tipo	Ensaio	Designação	Laje de Concreto			
			tc(mm)	hc(mm)	lc (mm)	f_{ck} (MPa)
Perfobond	1	P1	120	650	600	39,69
	2	P2	120	650	600	34,66
	3	P3	120	650	600	33,41

4.1.1. Comparação de resultados com Vianna (2009) – Conector Perfobond

Nos ensaios realizados por Vianna (2009), a resistência característica do concreto foi da ordem de 26 MPa o que torna necessário efetuar a normalização da resistência do concreto, conforme apresentado anteriormente na equação (15). A tabela abaixo apresenta os valores obtidos nos ensaios P2 e P3 e os obtidos por Vianna (2009).

Tabela 20 - Comparação de resultados com Vianna (2009)

	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	f_{ck} (MPa)	P_{rk} normalizado (kN)	δ_{uk} (mm)
P2	325,02	292,51	34,66	272,32	1,51
P3	387,66	348,89	33,41	330,83	1,56
P-2F-120A	329,55	296,60	26,00	318,81	6,99
P-2F-120B	324,1	291,69	26,09	312,99	10,10

O ensaio 3 apresentou um resultado de resistência compatível ao apresentado por Vianna (2009). A Figura 90 e a Figura 91 apresentam o modo de falha observado que foi similar ao obtido por Vianna (2009) caracterizado pela plastificação do conector e ruína da laje de concreto.



(a) Ensaio realizado



(b) Vianna (2009)

Figura 90 – Plastificação dos conectores



(a) Ensaio realizado



(b) Vianna (2009)

Figura 91 – Fissura da laje

A Figura 92 apresenta as curvas carga *versus* deslizamento dos ensaios realizados nesta tese e os realizados por Vianna (2009). Conforme Pessoa (2015), a alteração do f_{ck} resulta em diminuição do deslizamento, e ganho de resistência, o que pode ser observado na referida figura.

Destaca-se que nos ensaios de Vianna(2009) foram utilizados bases de neoprene e nos deste trabalho uma base de aço, tal alteração pode influenciar nos resultados obtidos.

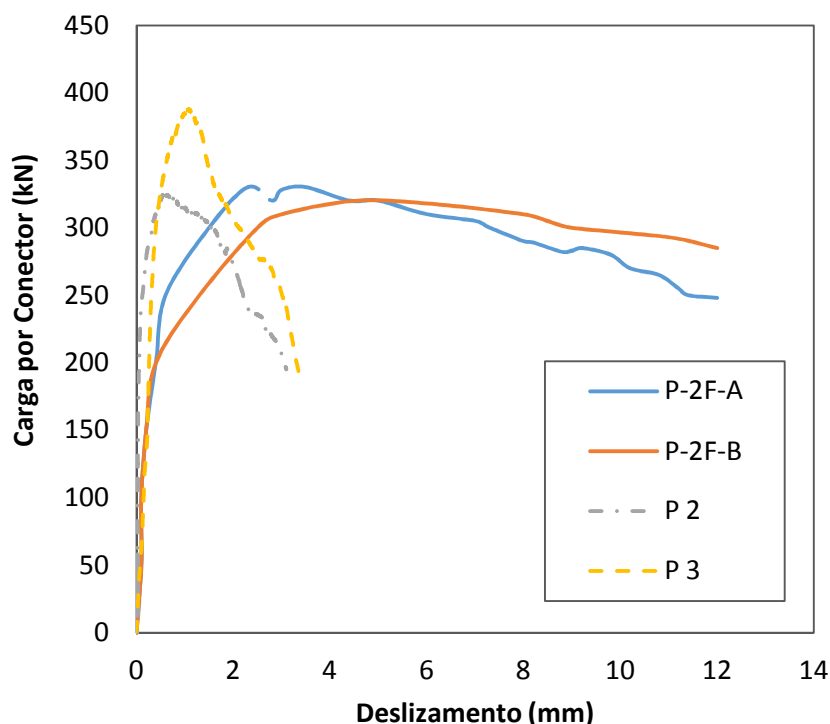


Figura 92 – Carga *versus* deslizamento

4.1.2. Comparação de resultados com Duarte (2015) – Conector Perfobond

A Tabela 21 mostra os resultados obtidos nos ensaios desta tese e o resultado do ensaio realizado por Duarte (2015) onde se nota que, apesar da pouca diferença da resistência característica do concreto, os conectores ensaiados por Duarte (2015) apresentaram uma resistência característica menor que a obtida na presente tese.

Os ensaios realizados por Vianna (2009) possuem 180mm x 76,2mm x 12,5mm e dois furos de 35mm, o realizado por Duarte (2015) 200mm x 76 mm x 12,5mm e um furo de 35mm. Neste programa experimental foi repetido o conector utilizado por Vianna (2009).

Tabela 21 - Comparação de resultados com Duarte (2015)

	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	f_{ck} (MPa)	$P_{rk\text{normalizado}}$ (kN)	δ_{uk} (mm)
P2	325,02	292,51	34,66	306,26	1,51
P3	387,66	348,89	33,41	358,64	1,56
P-1F-2A	195,95	176,36	29,20	169,48	29,23
P-1F-2B	249,40	224,46	29,20	215,71	29,69

A Figura 93 apresenta as curvas carga *versus* deslizamento dos ensaios *push-out* com conector Perfobond realizados por Duarte (2015) e os desenvolvidos nesta tese. A Figura 94 apresenta os conectores Perfobond utilizados nesta tese e por Duarte (2015), ambos com espessura de 12,5mm.

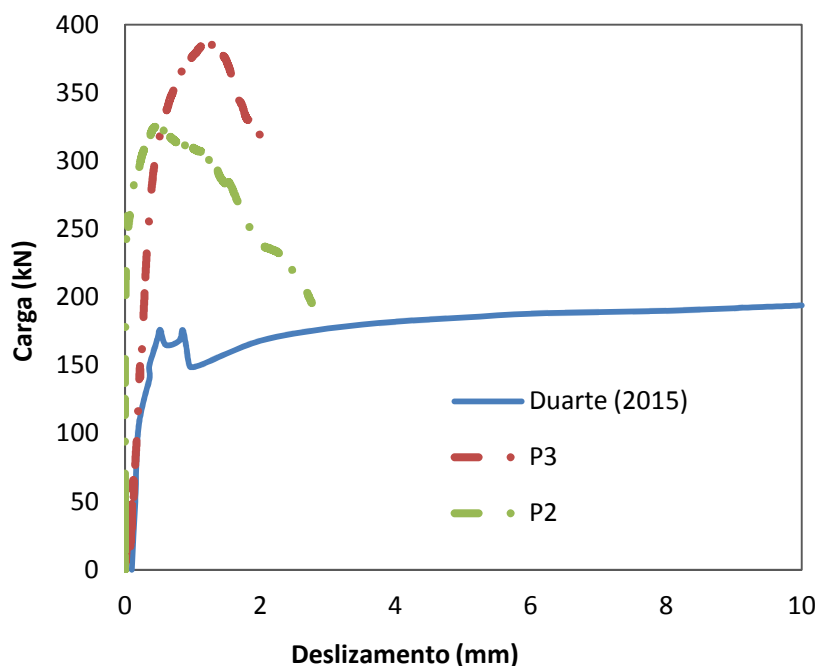


Figura 93 – Carga *versus* deslizamento.

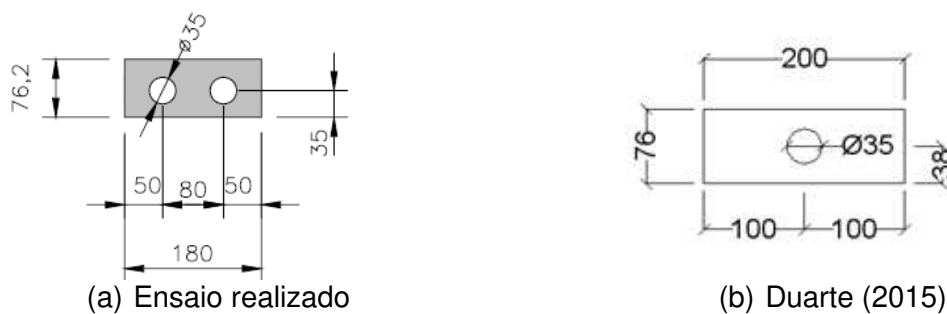


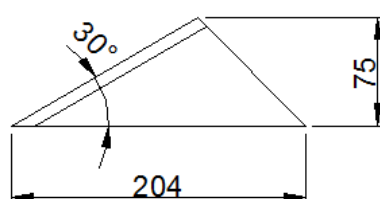
Figura 94 – Conectores Perfobond

Ao analisar a Figura 93 e a Figura 94 cabe destacar que a existência de um furo adicional no conector Perfobond realizado neste programa experimental apresentou influência nos resultados obtidos. Este cilindro adicional facilita o comportamento de bloco do concreto aumentando a capacidade de carga do mesmo contudo, ao atingir a ruína, o concreto transfere a solicitação para o conector em um tempo curto não permitindo assim, que o conector deforme-se antes da ruína.

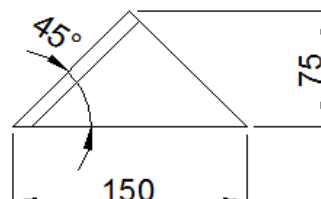
Os ensaios *push-out* com conectores de cisalhamento do tipo Perfobond foram de grande valia para o programa experimental desenvolvido na presente tese. Os resultados obtidos foram suficientes para o prosseguimento do programa experimental, sendo realizado os ensaios com conectores tipo T-Perfobond.

4.2. Etapa 2 – Conectores T-Perfobond

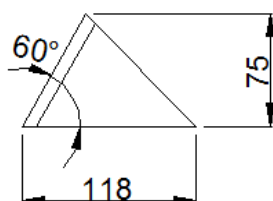
Foram realizados ensaios com conectores tipo T-Perfobond com variação do ângulo Δ , entre a mesa do conector e a mesa da viga, sendo adotados os ângulos de 30° , 45° , 60° e 90° , este último denominado como T-Perfobond. A Figura 95 apresenta a geometria destes conectores.



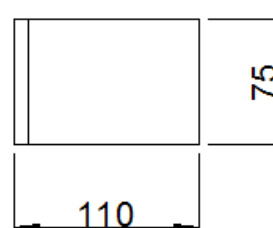
a) ângulo 30°



b) ângulo 45°



c) ângulo 60°



d) ângulo de 90°

Figura 95 – Conectores T-Perfobond modificados

A Tabela 22 apresenta as dimensões dos protótipos a serem ensaiados e a resistência característica do concreto para cada um dos ensaios. Foram utilizadas armaduras com diâmetro de 10 mm.

Tabela 22 - Características dos ensaios *push-out* com conectores inclinados

Tipo	Ensaio	Designação	Laje de Concreto			
			t_c (mm)	h_c (mm)	l_c (mm)	f_{ck} (MPa)
T-PERFOBOND ÂNGULO 45°	4	TP45A	120	650	600	41,00
	5	TP45B	120	650	600	51,40
T-PERFOBOND ÂNGULO 60°	6	TP60A	120	650	600	34,80
	7	TP60B	120	650	600	33,60
T-PERFOBOND ÂNGULO 30°	8	TP30A	120	650	600	29,77
	9	TP30B	120	650	600	27,35
T-PERFOBOND ÂNGULO 90°	14	TP	120	650	600	33,60
	15	TP	120	650	600	36,30

4.2.1. Ângulo de 30° - TP30

Os conectores T-Perfobond com ângulo de 30° apresentaram resistência superior a 350 kN contudo, não apresentaram ductilidade suficiente para serem caracterizados como conectores dúcteis, ou seja, com um deslizamento de no mínimo 6,0 mm para a carga correspondente a P_{Rk} , conforme apresentado no capítulo 1.

A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos nos dois ensaios realizados com TP-30.

Tabela 23 - Característica dos ensaios TP30

Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{Rk} (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	$\delta_{médio}$ (mm)
TP30A	27,35	410,47	369,423	5,83	5,02	5,42
TP30B	29,77	396,46	356,814	4,45	4,18	4,31

A Figura 96 apresenta as curvas carga *versus* deslizamento obtidas nos ensaios. A Figura 97 apresenta as deformações e as distribuições das tensões de von Mises que ocorreram na mesa do conector onde cabe destacar que as rosetas foram colocadas no meio de cada aba da mesa e, portanto, não expressam o resultado de maior tensão que seria no ponto de formação da rótula plástica na ligação alma mesa do conector.

A falha do conector TP30 foi caracterizada pela ruptura do concreto (Figura 98) e plastificação da mesa do conector (Figura 99). Na Figura 98 são apresentadas

as deformações da roseta 3 no ensaio TP30A e as demais medições serão apresentadas no anexo. A plastificação do conector ocorre no encontro entre a mesa e a alma do perfil que o originou e este fenômeno encontra-se de acordo com a proposta apresentada anteriormente na Figura 57.

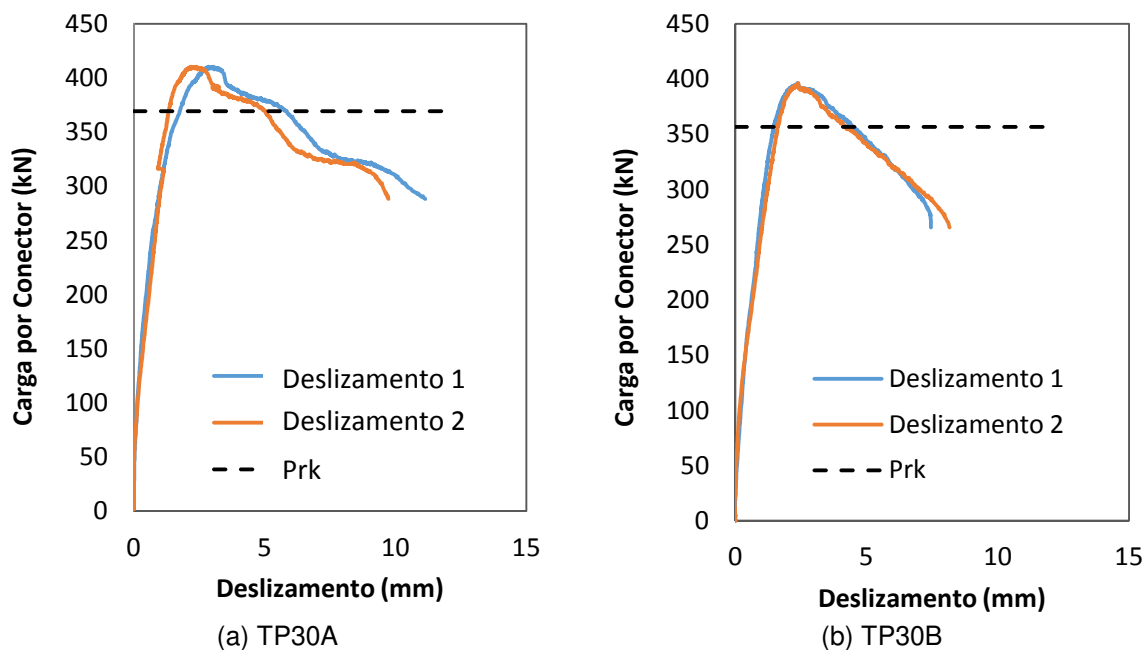


Figura 96 – Carga *versus* deslizamento – ensaios TP30

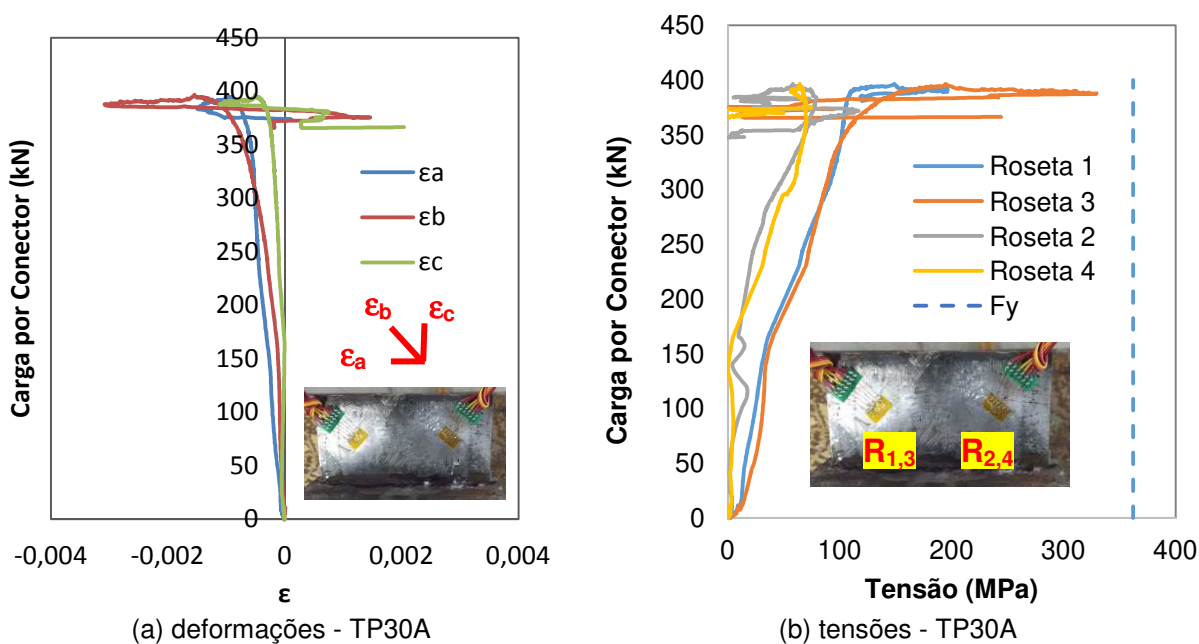
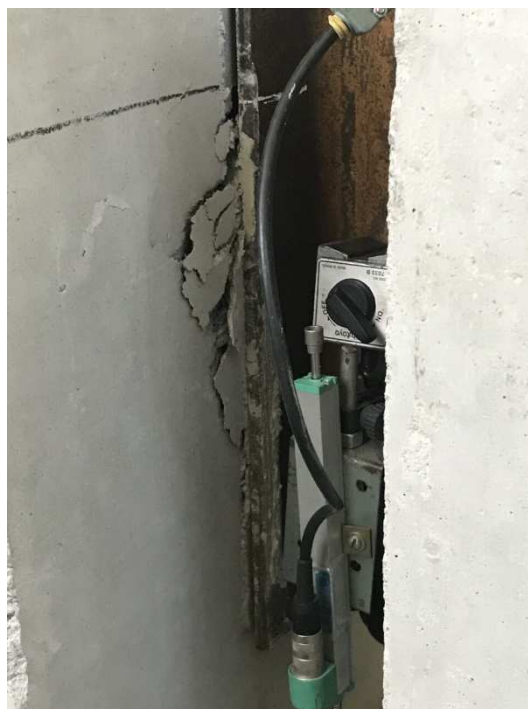


Figura 97 – Deformações e tensões - ensaio TP30B

Ao analisar a Figura 97(a) cabe informar que a roseta instalada é composta por três extensômetros, ϵ_a na horizontal, ϵ_b a 45° graus e ϵ_c a 90°.



(a)



(b)

Figura 98 – Ruptura da laje – ensaios TP30



(a)



(b)

Figura 99 – Plastificação da mesa do conector – ensaios TP30

4.2.2. Ângulo de 45° - TP45

Os conectores T-Perfobond com ângulo de 45° apresentaram resistência superior a 320kN contudo, não apresentaram ductilidade suficiente para serem classificadas como dúcteis. A Tabela 24 apresenta uma síntese dos resultados obtidos nesses ensaios.

Tabela 24 – Síntese dos resultados - ensaios TP45

Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	$\delta_{médio}$ (mm)
TP45A	41,00	365,09	328,58	5,24	3,76	4,50
TP45B	51,40	470,75	423,67	4,63	6,46	5,54

Nota-se que a resistência característica do concreto ficou acima do esperado para o programa experimental. Outro ponto a destacar é a excentricidade dos ensaios, pois mesmo para um concreto de elevada resistência, a laje do ensaio TP45B apresentou deslizamento próximo aos 6mm. A Figura 100 apresenta as curvas carga *versus* deslizamento obtidas nos ensaios.

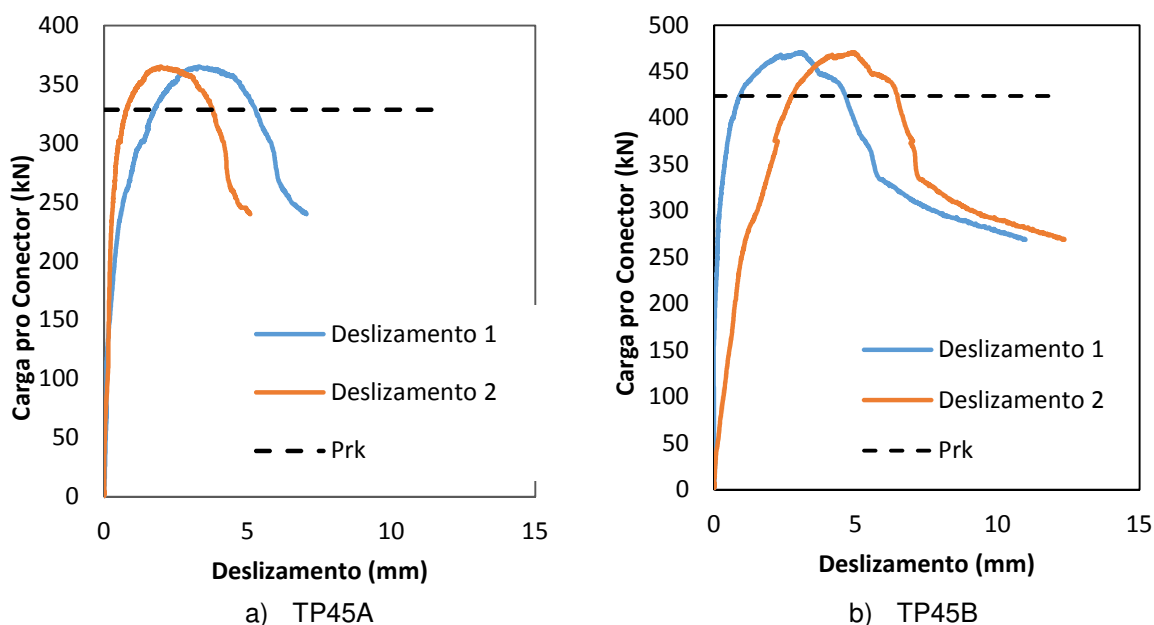


Figura 100 – Carga *versus* deslizamento – ensaios TP45

A Figura 101 apresenta as deformações e as tensões que ocorreram na mesa do conector destacando-se mais uma vez que os conectores foram colocados no

meio de cada aba da mesa e, portanto, não expressam o resultado de maior tensão, ou seja, no ponto de formação da rótula plástica. As deformações apresentadas foram da roseta 3 do ensaio TP45A, as demais serão apresentadas no anexo.

A ruína também foi caracterizada pela ruptura do concreto e plastificação da mesa do conector, conforme pode ser observado na Figura 102 e na Figura 103, respectivamente.

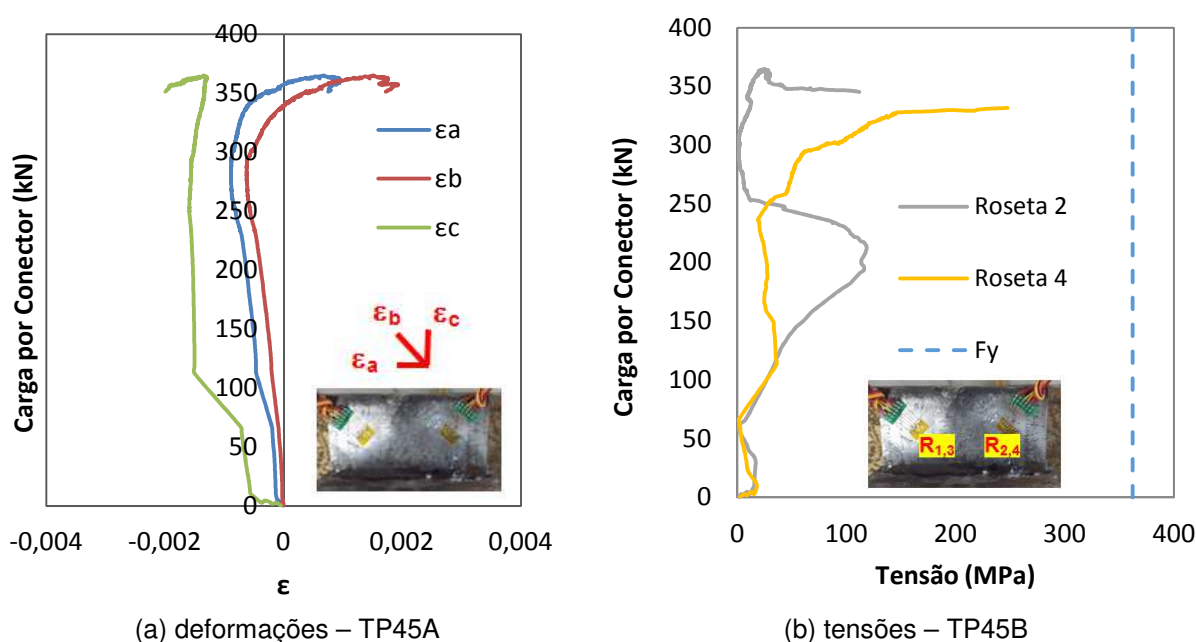


Figura 101 – Deformações e tensões - ensaio TP45A

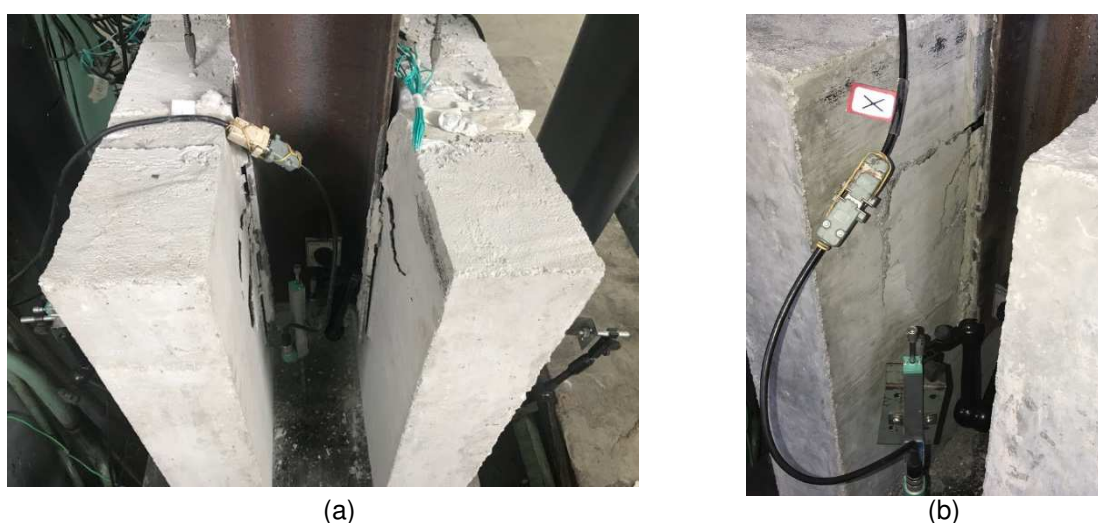


Figura 102 – Ruptura da laje de concreto - ensaios TP45



Figura 103 – Plastificação da mesa do conector – ensaios TP45

Nota-se que a plastificação do conector ocorreu na região próxima a ligação entre a mesa e a alma do conector. A Figura 104 apresenta o deslocamento da mesa do conector superior a 12 mm sendo este comportamento esperado visto que a deformação da mesa influencia no deslizamento ocorrido nos protótipos. Esta medida foi feita no conector do ensaio TP45B conforme apresentado na Figura 100.



Figura 104 – Plastificação da mesa do conector – ensaios TP45

4.2.3. Ângulo de 60° - TP60

Os conectores T-Perfobond com ângulo de 60° apresentaram resistência superior a 280 kN e os valores medidos de deslizamento são próximos ao de um conector com comportamento dúctil, conforme pode ser observado na Tabela 25. A Figura 105 apresenta as curvas carga versus deslizamento para os ensaios realizados.

A Figura 106 apresenta as deformações e as tensões medidas na mesa do conector, destacando-se novamente que as rosetas foram colocadas no meio de cada aba da mesa e, portanto, não expressam o resultado de maior deformação. As

deformações apresentadas foram da roseta 1 do ensaio TP60A e as demais serão apresentadas nos anexo.

Tabela 25- Característica do ensaio TP60

Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	$\delta_{médio}$ (mm)
TP60A	34,80	389,35	350,41	4,05	7,36	5,70
TP60B	33,60	319,07	287,17	6,01	5,24	5,63

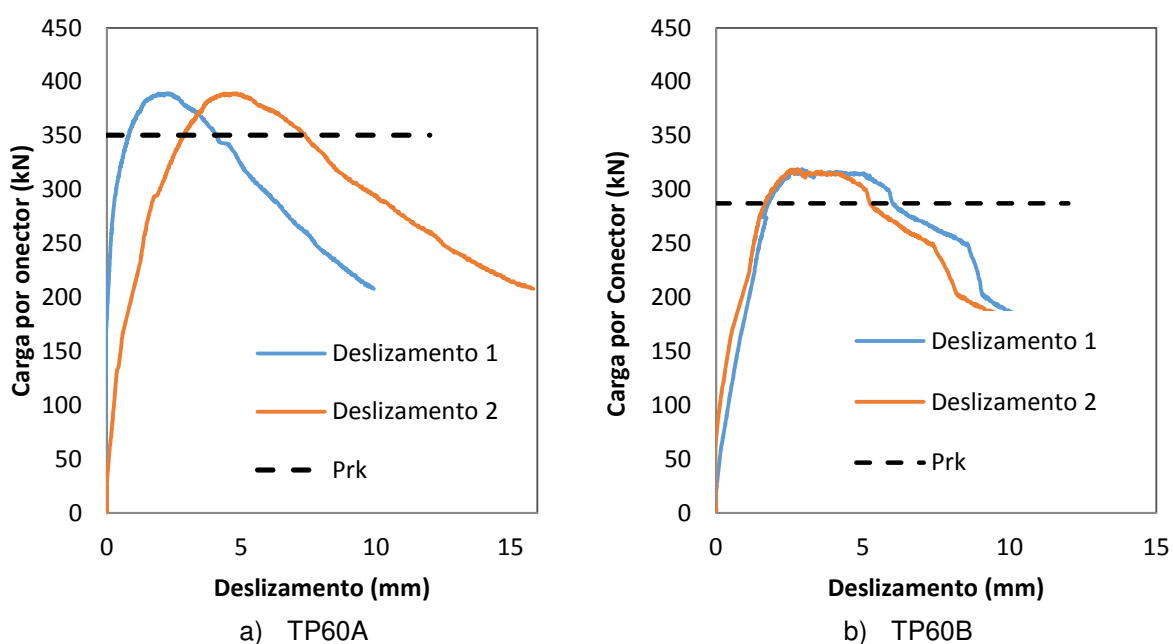


Figura 105 – Carga versus deslizamento TP60

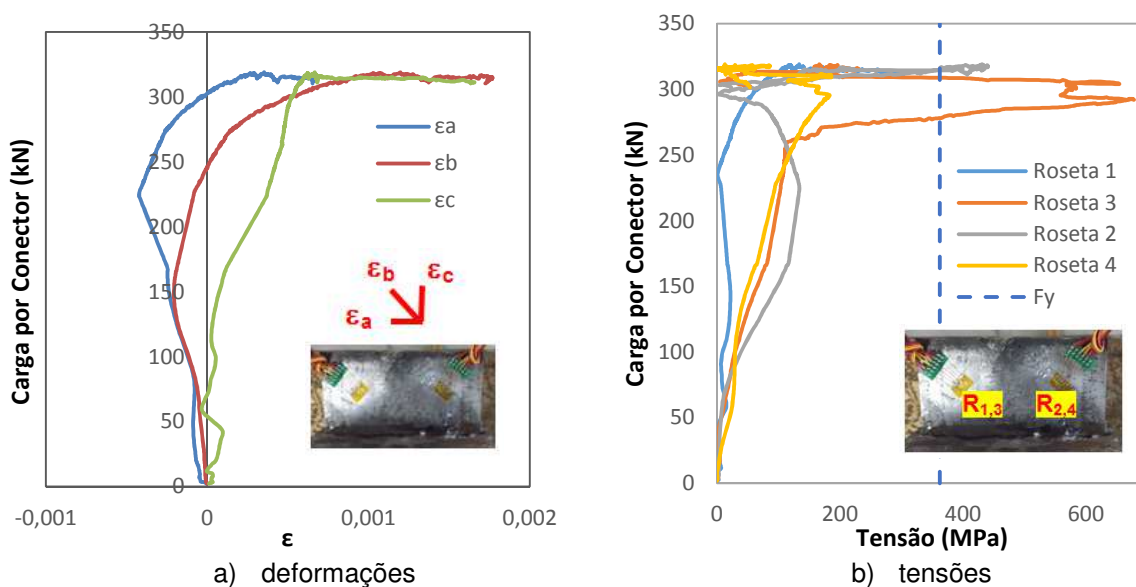


Figura 106 – Deformações e tensões - ensaio TP60A

A ruína nestes ensaios também foi caracterizada pela ruptura do concreto e plastificação da mesa do conector, conforme pode ser visualizado a seguir.



Figura 107 – Ruptura da laje – ensaios TP60



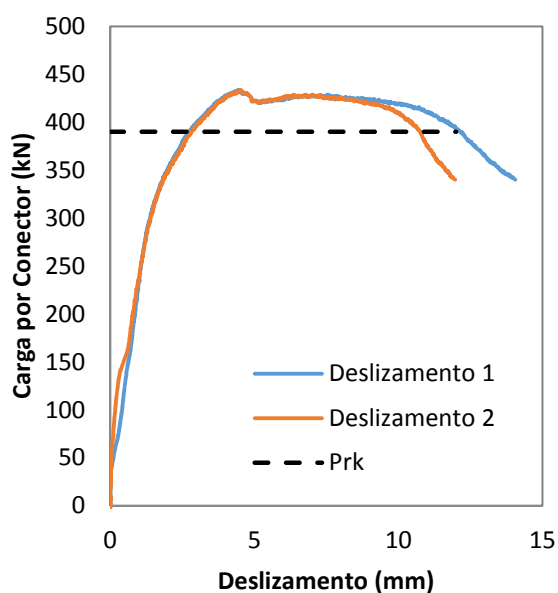
Figura 108 – Plastificação da mesa do conector – ensaios TP60

4.2.4. Ângulo de 90° - TP

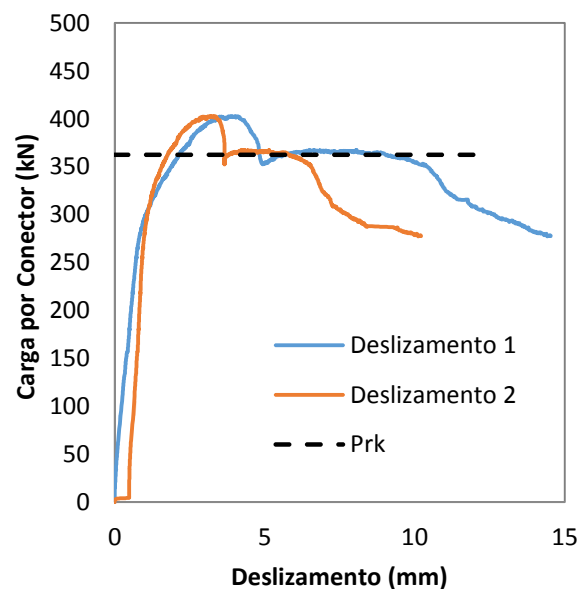
Os conectores T-Perfobond com ângulo de 90° apresentaram resistência superior a 280 kN e os valores medidos de deslizamento são próximos a 6 mm, conforme pode ser visualizado na Tabela 26. A Figura 109 apresenta as curvas carga versus deslizamento para os ensaios realizados. Ao analisar os gráficos pode-se verificar o comportamento dúctil em ambos os ensaios. A Figura 110 apresenta as deformações e as tensões que ocorreram na mesa do conector medidas pelas rosetas posicionadas no meio de cada aba da mesa. A roseta apresentada foi a segunda e as demais serão apresentadas no anexo.

Tabela 26- Característica do ensaio TP

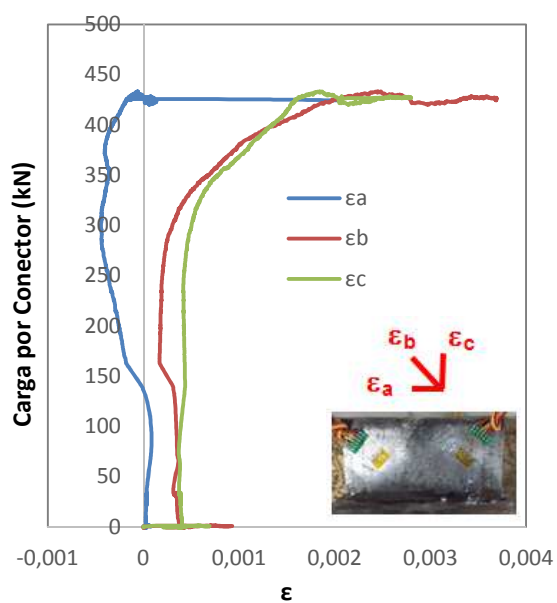
Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	$\delta_{médio}$ (mm)
TPA	33,60	433,48	390,14	12,13	10,74	11,43
TPB	36,30	402,82	362,54	9,04	5,80	7,42



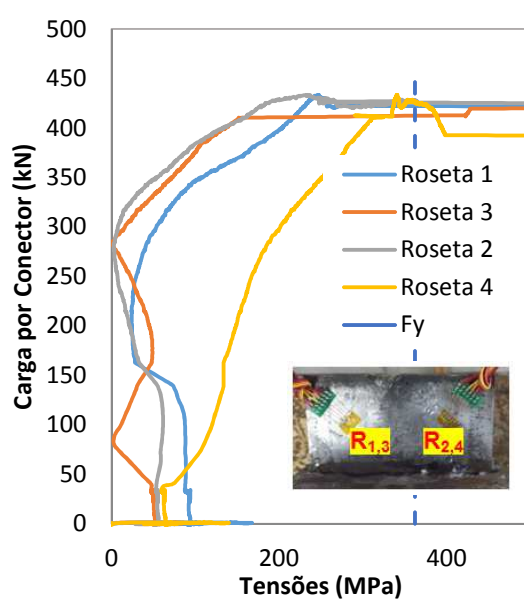
a) TPA



b) TPB

Figura 109 – Carga *versus* deslizamento - ensaios TP

(a) deformações - TPA



(b) tensões - TPA

Figura 110 – Deformações e tensões - ensaio TPA

A ruína também foi caracterizada pela ruptura do concreto e plastificação da mesa do conector, conforme Figura 111 e Figura 112.



Figura 111 – Ruptura da laje TP



Figura 112 – Plastificação da mesa do conector TP

4.2.5.Comparativo com Vianna (2009) – Conector T-Perfobond

Ao analisar resultados obtidos nos ensaios *push-out* de conectores T-Perfobond desta tese e os avaliados por Vianna (2009) cabe destacar que as cargas

de ruptura obtidas por Vianna (2009) foram maiores que as obtidas nesta tese. Já a ductilidade mínima requerida não foi atingida em nenhum ensaio realizado por Vianna (2009) e nos ensaios realizados nesta tese, todos os protótipos de T Perfobond apresentaram comportamento dúctil. A tabela abaixo apresenta a comparação entre os resultados obtidos.

Tabela 27- Comparação com Vianna (2009) – Conectores T-Perfobond

Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	P_{rk} normalizado (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	$\delta_{médio}$ (mm)
TPA	33,6	433,48	390,14	332,26	12,13	10,74	11,43
TPB	36,3	402,82	362,54	320,92	9,04	5,8	7,42
TP_SF_120_A	53,91	621,95	559,755	518,89	-	-	1,53
TP_SF_120_A	53,91	660,55	594,495	551,09	-	-	2,03
TP_2F_120_IN_B	53,91	714,68	643,21	596,25	-	-	3,78

Analisar apenas os resultados da Tabela 27 pode acarretar em equívocos pois os conectores apresentam características diferentes. Os conectores avaliados por Vianna (2009) foram fabricados a partir de um perfil IPN 340 e os utilizados nesta tese, extraídos de um perfil W200x26,6.

A

Tabela **28** apresenta as características geométricas destes perfis de acordo com as dimensões caracterizadas na Figura 114.

Os perfis IPN 340 são mais robustos que os W200/26,6, tal diferença resulta em uma capacidade de resistência maior para os conectores fabricados a partir destes perfis IPN porém, os conectores obtidos a partir do perfil W apresentam maior ductilidade. Vianna (2009) recomenda que não se deve usar uma espessura de mesa maior que 12,5mm para que se obtenha um comportamento dúctil do conector.

Além dos perfis utilizados por Vianna (2009) serem mais robustos, o ensaio foi realizado com solda nas mesas e na alma. Utilizar a mesa soldada aumenta a capacidade de carga e diminui a ductilidade do sistema, isto ocorre pois a mesa do conector soldada passa a trabalhar com duas faces engastadas, a face soldada e a face solidária a alma do conector. Ao soldar apenas a alma permite-se o deslocamento da mesa o que aumenta a ductilidade, conforme observado nos ensaios TPA e TPB



a) TP



b) TP_2F_120_IN



c) TP_SF_120_A

Figura 113 – Conectores T-Perfobond

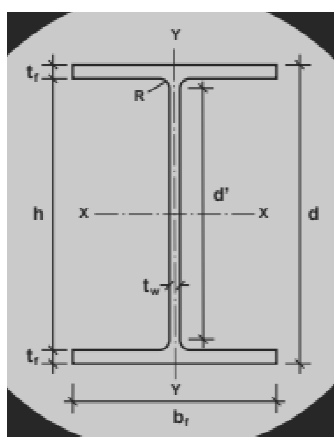


Figura 114 – Medidas dos Perfis (Portal Metálica)

Tabela 28- Perfis Originários dos conectores T-Perfobond

Perfil	Dimensões (mm)			
	h	b	t_w	t_f
IPN 340	340	137	12,2	18,3
W 200 x26,6	207	133	5,8	8,4

Os modos de falha observados foram idênticos em todos os casos, ou seja, ruptura da laje e plastificação do conector, conforme apresentado na Figura 115.

A Figura 116 apresenta as curvas carga *versus* deslizamento para os ensaios *push-out* de conectores T-Perfobond ensaiados por Vianna (2009) e os desenvolvidos na presente tese. Ao comparar os resultados obtidos tem-se uma maior capacidade de carga para os ensaios realizados por Vianna (2009) mas não se verifica que tenha sido atingido o deslizamento mínimo requerido para que o conector apresente um comportamento dúctil.



Plastificação conector, TP



Ruptura da laje, TP

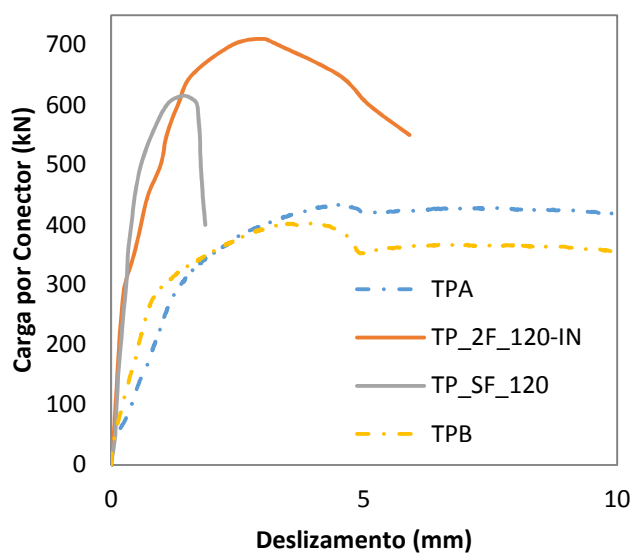


Plastificação do Conector (Vianna, 2009)



Ruptura da laje (Vianna, 2009)

Figura 115 – Mecanismos de falha

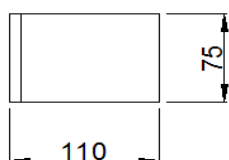
Figura 116 – Carga *versus* deslizamento

4.2.6.Comparativo com Pessoa (2015) – Conectores T-Perfobond

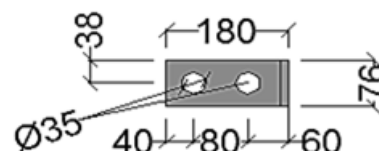
Ao analisar os resultados apresentados na Tabela 29, tanto os conectores T-Perfobond avaliados nesta tese quanto os realizados por Pessoa (2015) apresentaram comportamento dúctil. Os conectores produzidos por Pessoa (2015) apresentam dois furos, conforme pode-se observar na Figura 117. As nomenclaturas apresentadas correspondem a: TP – ensaios realizados nesta Tese; TP_A - ensaios realizados por Pessoa (2015) com a mesa soldada e TPU_A2 - ensaios realizados por Pessoa (2015) sem a solda da mesa.

Tabela 29- Comparação com Pessoa(2015) – Conectores T-Perfobond

Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	P_{rk} normalizado (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	$\delta_{médio}$ (mm)
TPA	33,6	433,48	390,14	381,18	12,13	10,74	11,43
TPB	36,3	402,82	362,54	340,79	9,04	5,8	7,42
TP_A2	29,2	480,11	432,10	452,87	8,81	10,55	9,68
TPU_A2	29,2	411,8	370,62	388,44	14,76	13,82	14,29



a) TP



b) TP_A

Figura 117 – Conectores T-Perfobond da presente tese e ensaiados por Pessoa (2015)

Ao analisar isoladamente os conectores, observa-se que os resultados obtidos por Pessoa (2015) são maiores em termos de capacidade de carga e deslizamento contudo, cabe destacar que, novamente, os perfis de origem dos conectores são diferentes.

Os conectores ensaiados por Pessoa (2015) foram fabricados a partir de um perfil IPE360 e os da presente tese extraídos de um W200x26,6. A Tabela 30 apresenta as características geométricas dos perfis. Os perfis IPE 360 são mais robustos que os perfis W200x26,6. O IPE 360 pesa 58,53kg/m enquanto o W200/26,6 26,60kg/m, o que corresponde a 45% do peso do IPE.

Tabela 30 - Perfis usados na fabricação dos conectores T-Perfobond

Perfil	Dimensão (mm)			
	h	b	t_w	t_f
IPE 360	360	170	8	12,7
W 200 x26,6	207	133	5,8	8,4

A Tabela 31 apresenta uma comparação entre as resistências e deslizamentos dos conectores sem solda na mesa. Nota-se que a maior diferença de resistência é da ordem de 12% enquanto a diferença do deslizamento é próxima dos 50%. A variação dos valores de deslizamento pode ser atribuída principalmente a presença dos furos nos conectores investigados por Pessoa (2015).

Tabela 31- Comparativo dos resultados

Designação	f_{ck} (MPa)	P_{rk} normalizado(kN)	P_{rk} normalizado / P_{rkmax}	$\delta_{médio}$ (mm)	$\delta_{médio} / \delta_{TPU_A2}$
TPA	33,6	381,18	0,98	11,43	0,80
TPB	36,3	340,79	0,88	7,42	0,52
TPU_A2	29,2	388,44	1,00	14,29	1,00

A espessura da mesa adotada por Pessoa (2015) foi o limite especificado por Vianna (2009), ou seja, 12,5mm. O mecanismo de colapso observado foi de plastificação do conector e ruptura da laje de concreto conforme pode ser verificado na Figura 118 e na Figura 119, respectivamente. As curvas carga *versus* deslizamento encontram-se apresentadas na Figura 120.



Figura 118 – Plastificação do Conector



Figura 119 – Fissuração da laje

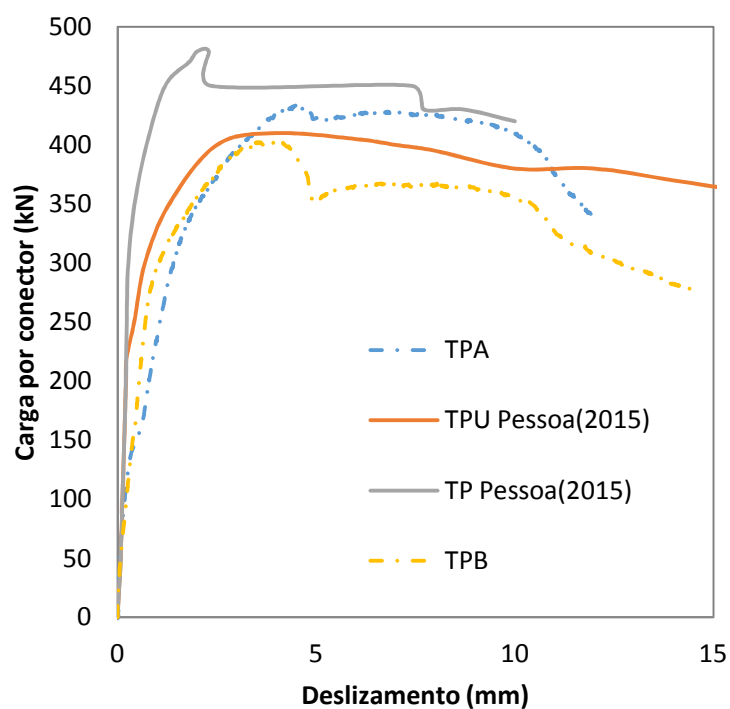


Figura 120 – Carga *versus* deslizamento – comparação com Pessoa (2015)

4.2.7. Comparação entre Conectores Perfobond e T-Perfobond

A Tabela 32 apresenta os resultados obtidos nos ensaios com conectores Perfobond e o conector T-Perfobond modificado, ou seja, caracterizado por um ângulo de 90°, com a mesa do conector não soldada.

Tabela 32- Comparativo TP/Perfobond

Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	P_{rk} normalizado (kN)	P_{rk} normalizado / $P_{rk \max}$	$\delta_{médio}$ (mm)
P2	34,66	325,02	292,51	293,22	0,73	1,51
P3	33,41	387,66	348,89	343,37	0,86	1,56
TPA	33,60	433,48	390,14	385,06	0,96	11,43
TPB	36,30	402,82	390,14	400,23	1,00	7,42

Considerando a resistência característica média de 34,49 MPa e ao se aplicar a equação (15) para normalização da carga de cisalhamento por conector, tem-se a coluna $P_{rk \text{ normalizado}}$. Ao analisar esta coluna percebe-se que os conectores T-Perfobond apresentaram maior capacidade de carga tendo em vista a contribuição da mesa do conector. A plastificação da mesa do conector T-Perfobond proporcionou um deslizamento de maior magnitude do que nos conectores Perfobond, nos quais só ocorre a contribuição do efeito de ponta conforme apresentado anteriormente na Figura 31.

Ao analisar a plastificação dos conectores pode-se verificar que em ambos os conectores houve a deformação da ponta do mesmo, este comportamento é indicativo do efeito de ponta - Figura 121. As curvas carga *versus* deslizamento dos ensaios destes protótipos estão apresentadas na Figura 122.



a) TP



b) TPA

Figura 121 – Plastificação dos conectores – T-Perfobond e Perfobond

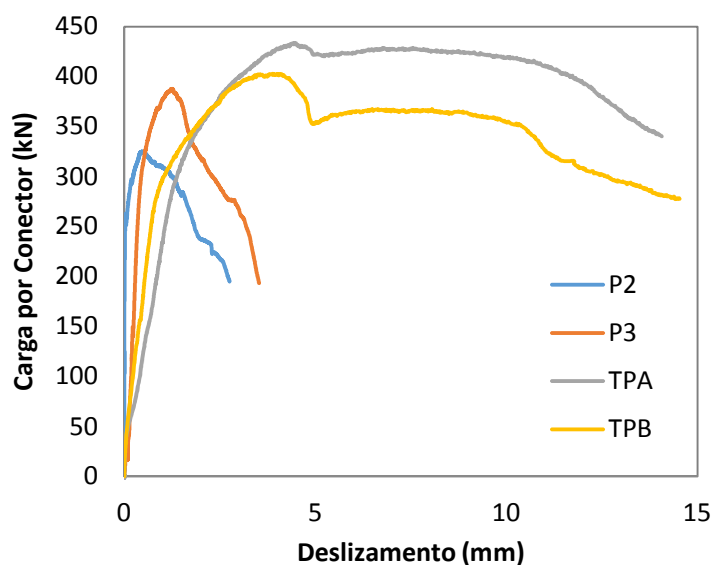


Figura 122 – Carga *versus* deslizamento

4.2.8.Comparação de Conectores T-Perfobond com inclinação 30°, 45°, 60° e 90°

A Tabela 33 apresenta todos os resultados obtidos nesta etapa. Os conectores T-Perfobond (ângulo de 90°) apresentaram comportamento dúctil e o conector com ângulo de 60° foi o que apresentou comportamento mais próximo ao comportamento dúctil.

Tabela 33 – Comparação de resultados - Ensaio da Etapa 2 - Conectores T-Perfobond com inclinação 30°, 45°, 60° e 90°

Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	$\delta_{médio}$ (mm)
TP30A	27,35	410,47	369,423	5,83	5,02	5,42
TP30B	29,77	396,46	356,814	4,45	4,18	4,31
TP45A	41,00	365,09	328,58	5,24	3,76	4,50
TP45B	51,40	470,75	423,67	4,63	6,46	5,54
TP60A	34,80	389,35	350,41	4,05	7,36	5,70
TP60B	33,60	319,07	287,17	6,01	5,24	5,63
TPA	33,60	433,48	390,14	12,13	10,74	11,43
TPB	36,30	402,82	362,54	9,04	5,80	7,42

Considerando-se a resistência característica do concreto de 35,98MPa e aplicando-se a equação (15) para normalização da carga de cisalhamento por conector tem-se a tabela a seguir.

Tabela 34 - Resistências normalizadas

Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	P_{rk} normalizado (kN)	P_{rk} normalizado / $P_{rk \text{ max}}$	$\delta_{\text{médio}}$ (mm)
TP30A	27,35	410,47	369,42	322,09	0,64	5,42
TP30B	29,77	396,46	356,81	324,57	0,64	4,31
TP45A	41	365,09	328,58	350,77	0,69	4,50
TP45B	51,4	470,75	423,67	506,40	1,00	5,54
TP60A	34,8	389,35	350,41	344,63	0,68	5,70
TP60B	33,6	319,07	287,17	277,52	0,55	5,63
TPA	33,6	433,48	390,14	377,03	0,74	11,43
TPB	36,3	402,82	362,54	364,16	0,72	7,42

Ao analisar a Tabela 34 percebe-se que a maior resistência foi obtida no ensaio TP45A, ou seja, conector com o ângulo de 45º, e o maior deslizamento no ensaio TPA, isto é, conector com ângulo de 90º. Considerando apenas o maior resultado por ensaio, A ou B, tem-se a seguinte classificação por carga máxima – TP45; TP; TP60; TP30. Ao considerar o deslizamento tem-se a seguinte classificação – TP; TP60; TP45; TP30.

Todos os ensaios apresentaram o mesmo modo de falha, ou seja, plastificação do conector e esmagamento do concreto. Ao analisar os resultados cabe destacar que o conector com ângulo de 60º, TP60, obteve um comportamento próximo ao dúctil e conforme Vianna (2009), a confecção de conectores com furos e de conectores com furos e barras resultam em ganho de deslizamento. As curvas carga *versus* deslizamento estão apresentadas na Figura 123.

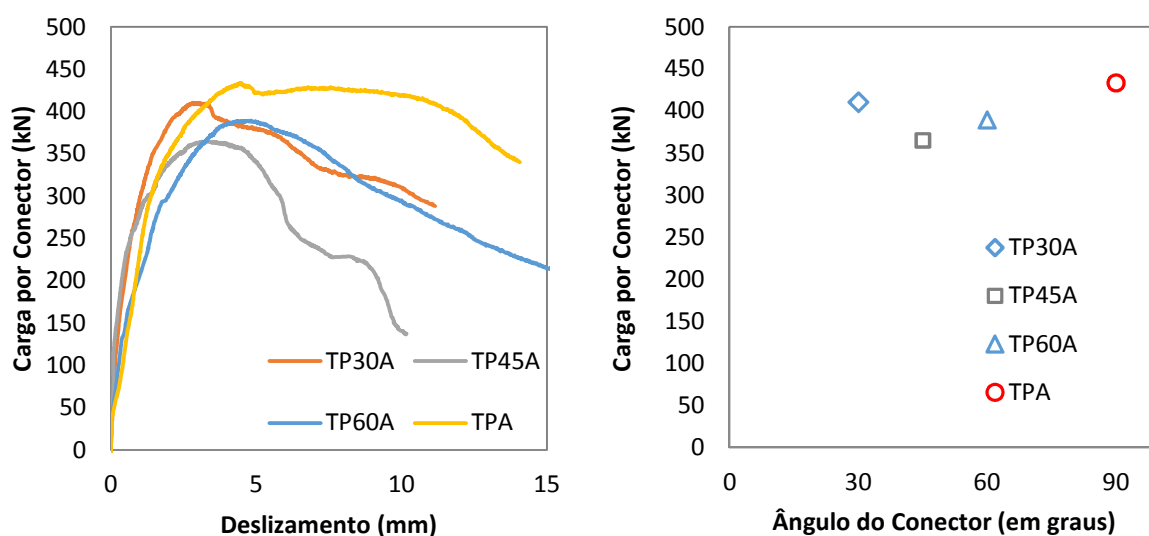


Figura 123 – Carga *versus* deslizamento

A variação do ângulo do conector pode trazer contribuições para a redução do efeito de *uplift*. Na Figura 124 e na Figura 125 são apresentados os valores de *uplift* observados em cada um dos ensaios de acordo com o ângulo do conector. Ao analisar estes gráficos nota-se que o *uplift* foi menor nos conectores com ângulos de 45° e 60°.

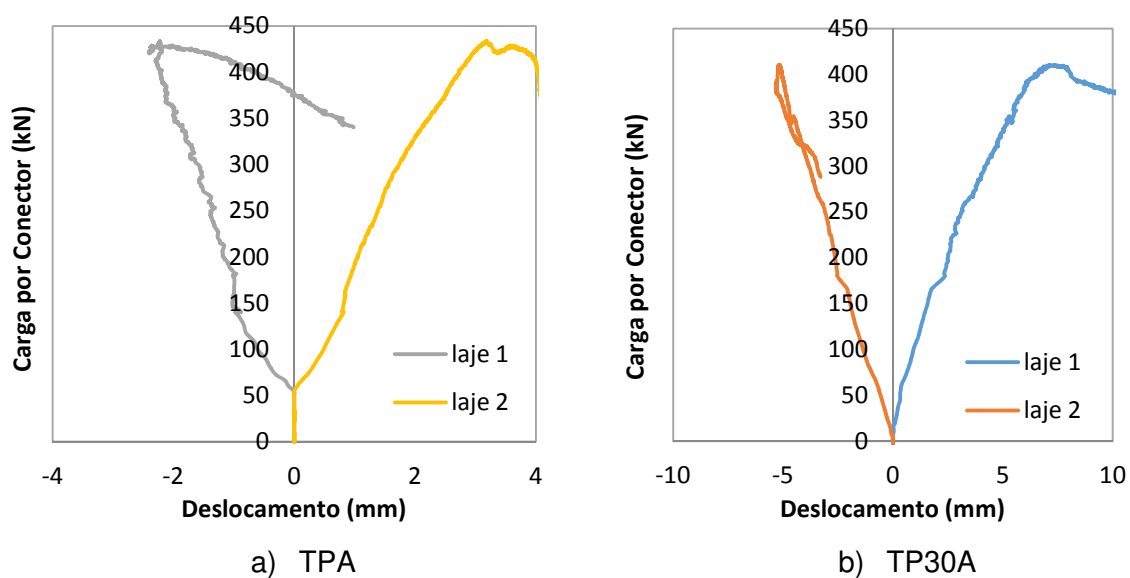


Figura 124 – Efeito de *uplift*

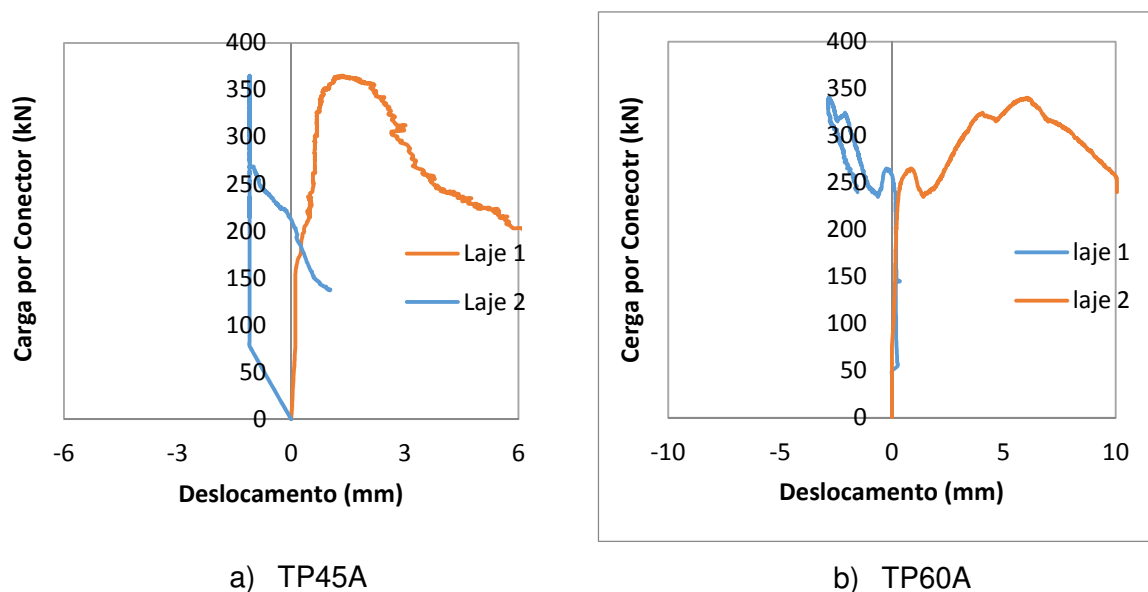


Figura 125 – Efeito de *uplift*

As curvas carga no conector *versus* tensão estão apresentadas na Figura 126.

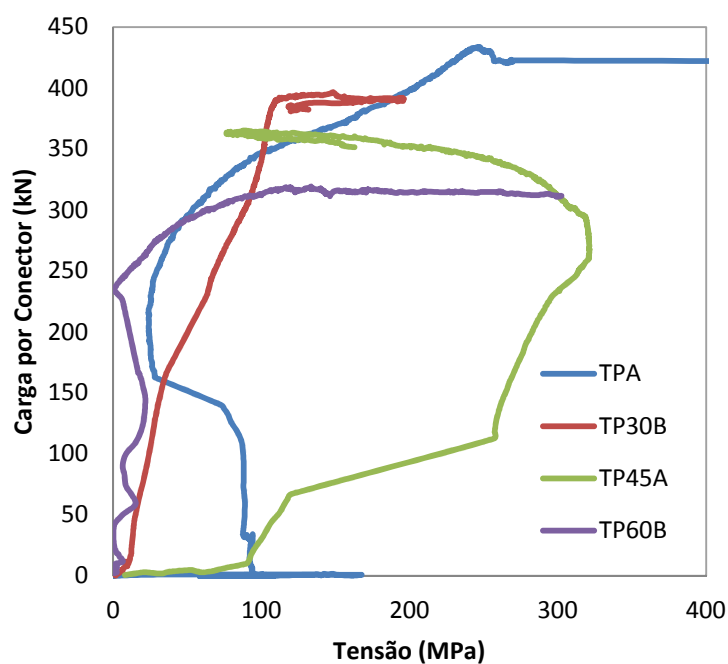


Figura 126 – Carga *versus* tensão

Considerando-se que os conectores com ângulo de 60° apresentaram redução do efeito de *uplift* e o deslizamento mais próximo da ductilidade, torna-se premente avaliar a influência dos furos e dos furos com barra para estes conectores T-Perfobond modificado.

4.3. Etapa 3 – Conector T-Perfobond de 60° com furo e com furo e barra

Nesta etapa foram analisados conectores de 60° com furo e com furo e barra. A Tabela 35 apresenta a geometria dos protótipos ensaiados. A geometria deste conector está apresentada na Figura 127. Cabe ressaltar que foram respeitadas as mesmas medidas do conector TP60 adicionando-se apenas o furo na alma do conector com um diâmetro de 33mm.

Os conectores com furo e com furo e barra possuem a mesma geometria sendo a variável apenas a presença da barra de 10 mm nos conectores com furo e barra, sendo esta barra de um aço CA50.

Tabela 35- Geometria dos protótipos – avaliação da influência de furos e barras nos conectores T-Perfobond

Tipo	Ensaio	Designação	Laje de Concreto			
			t_c (mm)	h_c (mm)	l_c (mm)	f_{ck} (MPa)
T-PERFOBOND ÂNGULO DE 60°	6	TP60A	120	650	600	34,80
	7	TP60B	120	650	600	33,60
T-PERFOBOND ÂNGULO DE 60° COM FURO	10	TP60F1	120	650	600	38,90
	11	TP60F2	120	650	600	44,90
T-PERFOBOND ÂNGULO DE 60° COM FURO E BARRA	12	TP60FB1	120	650	600	38,95
	13	TP60FB2	120	650	600	37,50

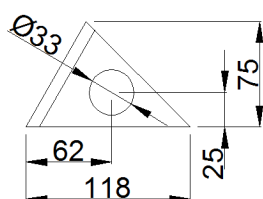


Figura 127 – Conector TP60 com furo

4.3.1. Conector T-Perfobond com 60° e furo - TP60F

Os conectores T-Perfobond modificados com ângulo de 60° e furo apresentaram resistência superior a 310 kN e valores de deslizamento característicos de um

comportamento dúctil, ou seja, superiores aos seis milímetros exigidos por norma. A Tabela 36 apresenta uma síntese dos resultados obtidos. Durante o ensaio, o LVDT que realizou a leitura do deslizamento na laje dois do ensaio TP60F2 apresentou problemas de leitura e os seus resultados foram desconsiderados.

Tabela 36- Características dos ensaios TP60F

Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	$\delta_{médio}$ (mm)
TP60F1	38,90	340,14	306,12	7,27	6,05	6,89
TP60F2	44,90	316,67	285,01	7,79	-	7,79

A Figura 128 apresenta as curvas carga *versus* deslizamento para os ensaios obtidos nos ensaios T-Perfobond com ângulo de 60° - TP60F. Ao analisar os gráficos pode-se verificar que no ensaio cuja laje de concreto possuía menor resistência característica apresenta um deslizamento próximo a carga P_{rk} .

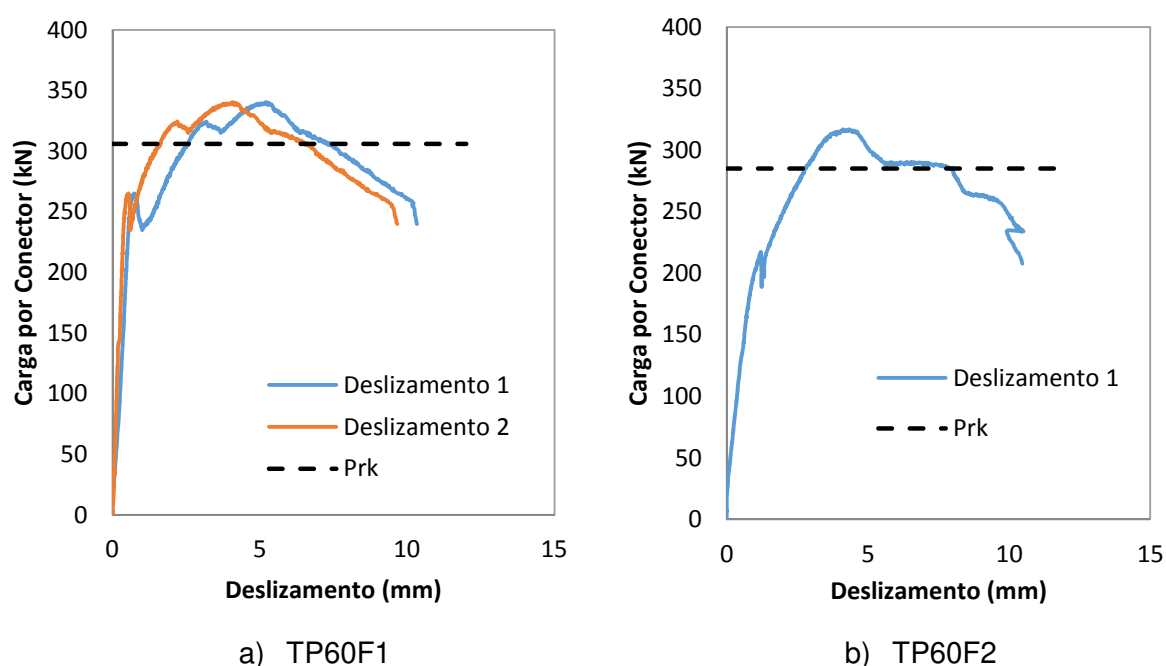
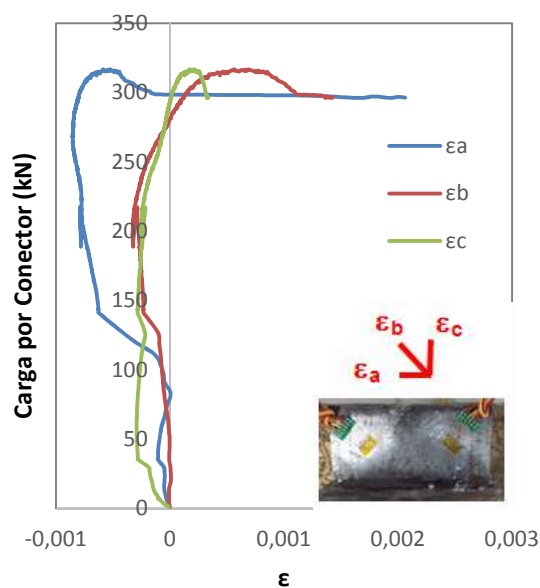
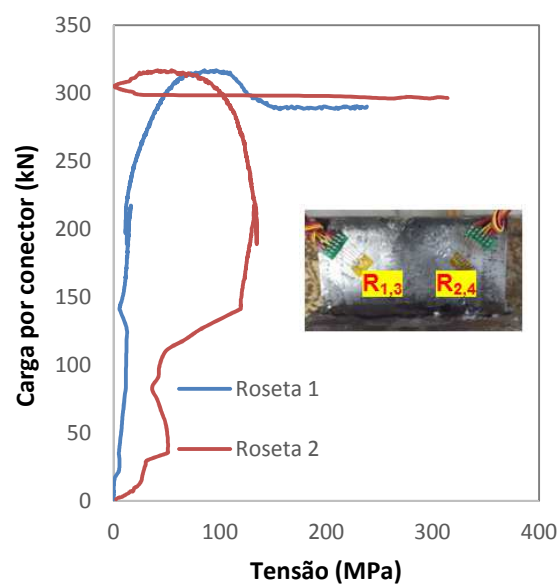


Figura 128 – Carga *versus* deslizamento TP60F

A Figura 129 apresenta as deformações e as tensões que ocorreram na mesa do conector. Foram apresentadas as deformações referentes a roseta 1 e as demais estarão no anexo.



a) deformações – TP60F2



b) tensões - TP60F2

Figura 129 – Deformações e tensões - ensaio TP60F2

A ruína foi caracterizada pela ruptura do conector e esmagamento do concreto conforme pode ser observado na Figura 130 e na Figura 131, respectivamente.



(a) vista d topo



(b) vista frontal

Figura 130 – Modo de falha do conector TP60F2



Figura 131 – Fissuras na laje e ruptura do conector TP60F

Ao analisar o ângulo de ruptura do conector nota-se que ele é similar ao ângulo da mesa, próximo de 60° , conforme pode ser observado na Figura 132. Esta falha é compatível com o *shear lag* na qual a alma do conector esta solicitada a tração e a face de contato entre o conector e a viga sofre cisalhamento.

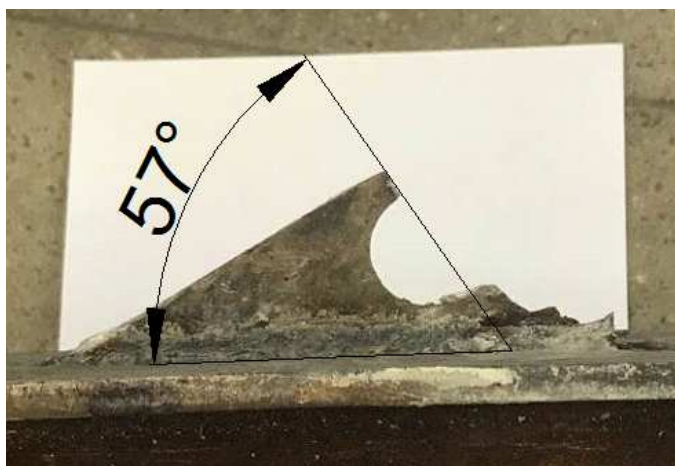


Figura 132 – Ângulo de ruptura da área líquida do conector

A Figura 132 apresenta a seção do conector onde pode-se visualizar a ruptura da área líquida do mesmo. Contudo, ainda ocorre a plastificação da mesa do conector, conforme a Figura 131 (b) apresenta. O outro protótipo também apresentou ruptura da área líquida, conforme pode ser visualizado na Figura 133.

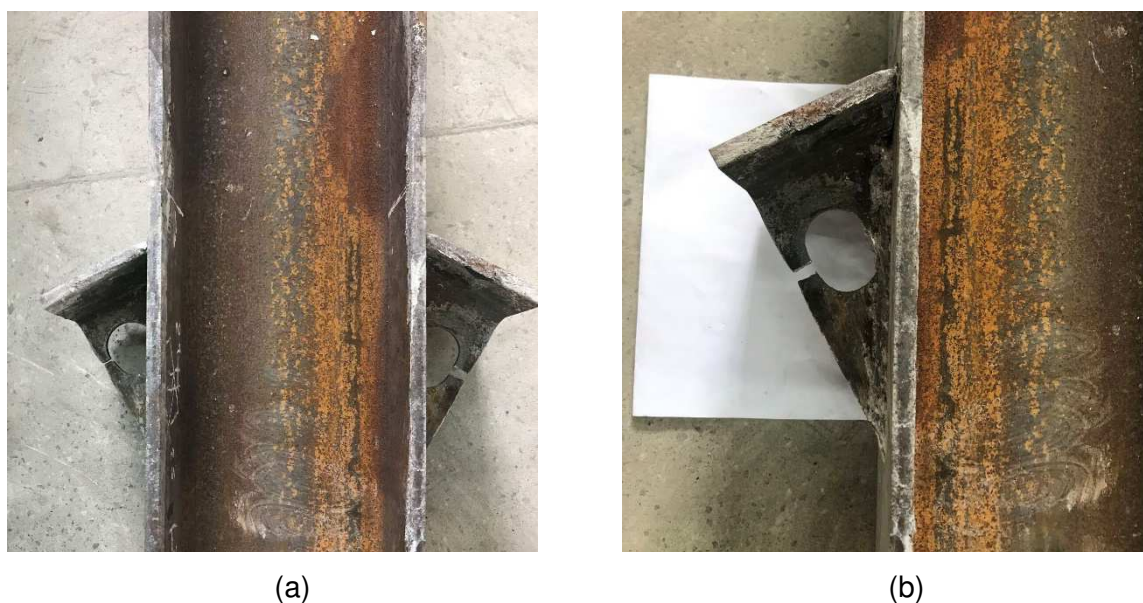


Figura 133 – Ruptura do conector, TP60F1

4.3.2. Conector T-Perfobond com 60° e furo e barra passante - TP60FB

Os conectores T-Perfobond com ângulo de 60° com furo e com barra passante apresentaram resistências superiores a 330 kN e valores de deslizamentos característicos de um comportamento dúctil. A Tabela 37 apresenta uma síntese dos resultados obtidos nos dois protótipos ensaiados com conectores T-Perfobond modificado com ângulo de 60° com furo e com barra.

Tabela 37 – Resultados obtidos – conectores TP60FB

Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	$\delta_{médio}$ (mm)
TP60FB1	38,95	370,26	333,24	6,18	3,18	4,68
TP60FB2	37,50	372,24	335,02	7,53	5,51	6,52

A Figura 134 apresenta as curvas carga *versus* deslizamento para os ensaios dos protótipos TP60FB. Ao analisar os gráficos pode-se verificar que no ensaio cuja laje de concreto apresentou menor resistência característica, ocorre um deslizamento próximo a carga máxima.

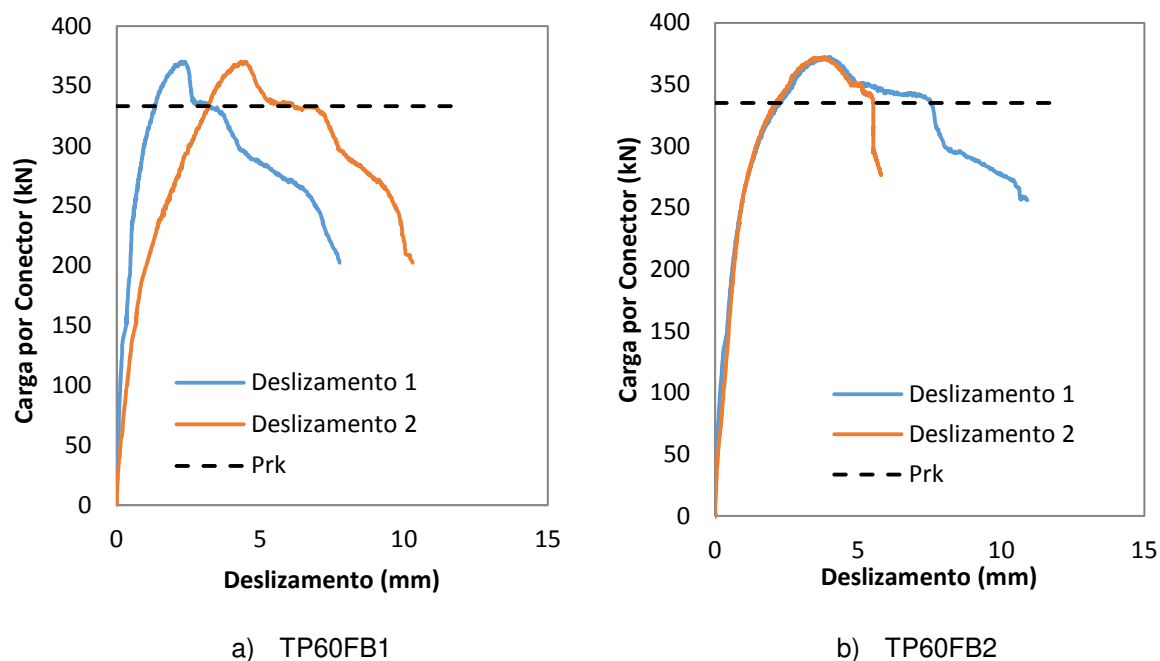
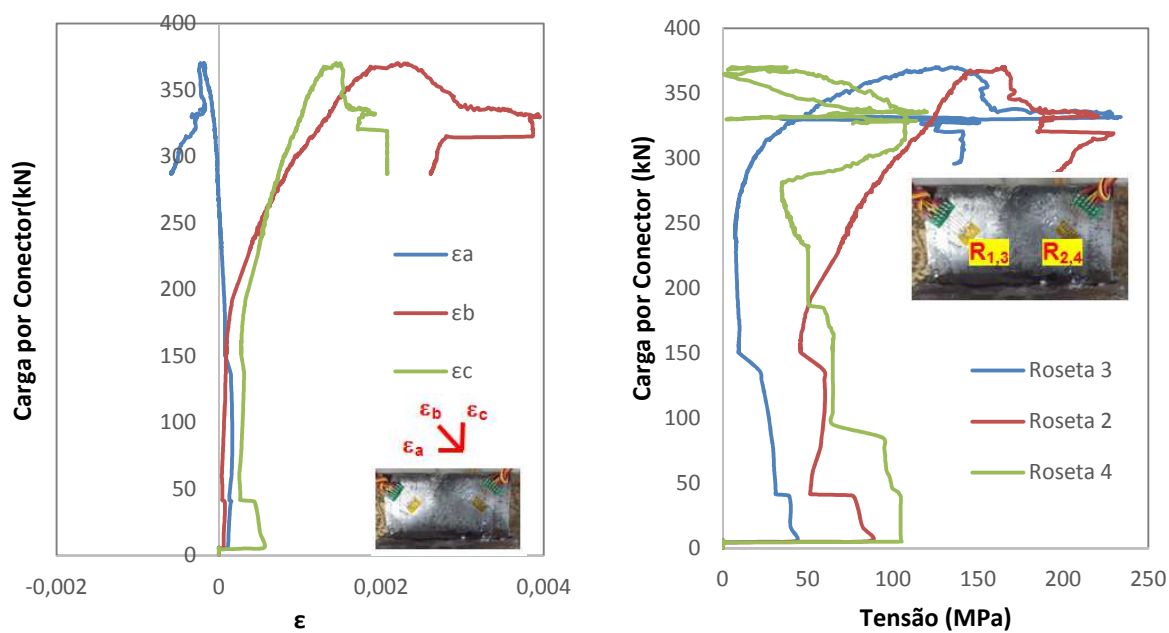


Figura 134 – Carga versus deslizamento TP60FB

A Figura 136 apresenta as deformações e as tensões que ocorreram na mesa do conector medidas através da roseta 2 e as demais estarão no anexo.



(a) deformações – TP60FB1

(b) tensões - TP60FB1

Figura 135 – Deformação e tensões - TP60FB1

A ruína foi caracterizada pela ruptura do conector e fissuras na laje de concreto conforme pode ser observado na Figura 136 e na Figura 137.

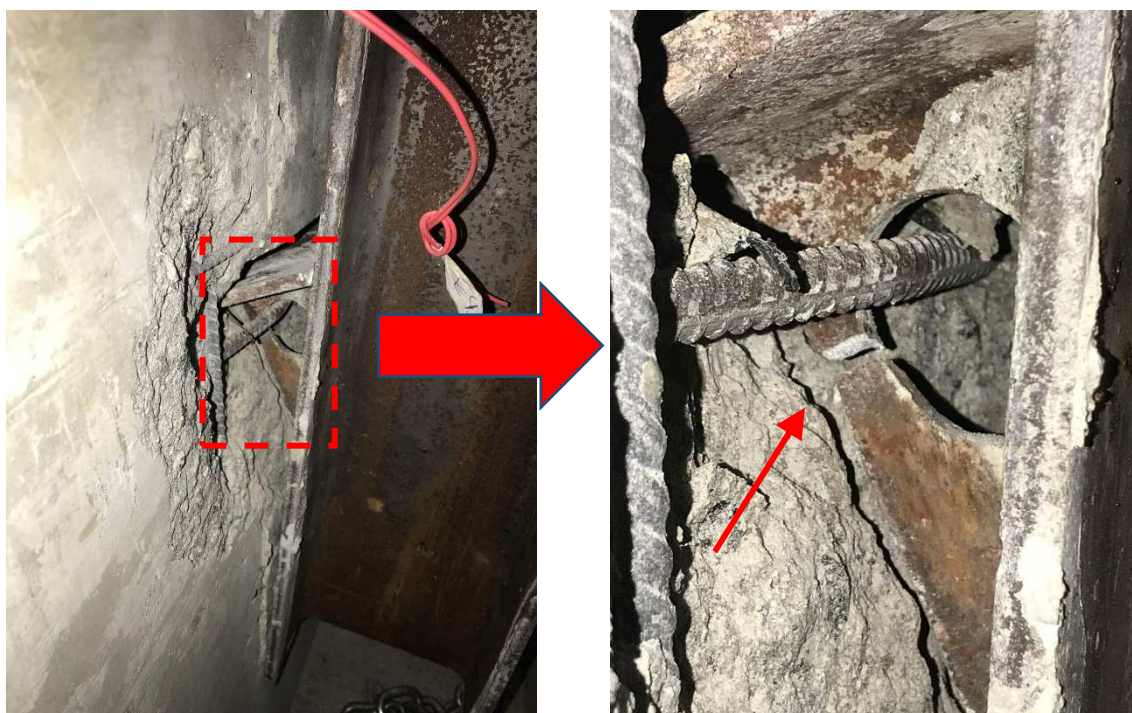


Figura 136 – Ruína do conector TP60FB



Figura 137 – Fissura da laje de concreto - TP60FB

Ao analisar a Figura 136 nota-se que, neste caso, também ocorreu a ruptura na área líquida do conector.

4.3.3. Influência do furo e do furo com barra - Conectores T-Perfobond

A Tabela 38 apresenta os resultados obtidos com os ensaios dos protótipos com conectores T-Perfobond com ângulo de 60° sem furo, com furo e com furo e barra: TP60, TP60F, TP60FB. Ao analisar esta tabela cabe ressaltar que a presença do furo permitiu um ganho de ductilidade sem o comprometimento da capacidade de carga.

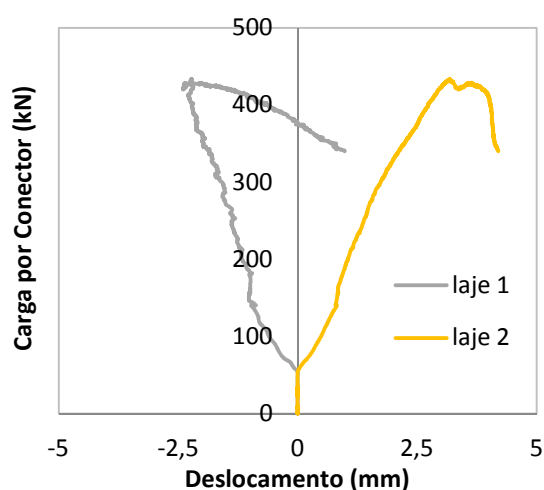
Apesar da ruptura da alma dos conectores, os ensaios com furo, TP60F, apresentaram capacidade de carga compatível com os ensaios sem furos, TP60. Conforme apresentado na Figura 131, mesmo com a ruptura da alma do conector, a mesa ainda apresenta comportamento característico de plastificação.

Tabela 38- Característica do ensaio TP60

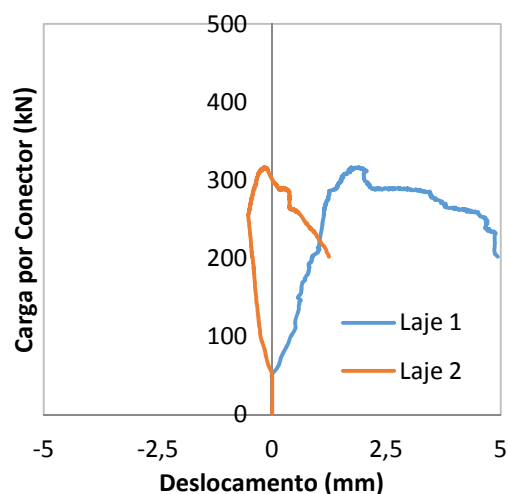
Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	P_{rk} normalizado (kN)	P_{rk} normalizado / $P_{rk \max}$	$\delta_{\text{médio}}$ (mm)
TP60A	34,80	389,35	350,41	334,85	0,99	5,70
TP60B	33,60	319,07	287,17	269,65	0,80	5,63
TP60F1	38,90	340,14	306,12	309,28	0,92	6,89
TP60F2	44,90	316,67	285,01	309,37	0,92	7,79
TP60FB1	38,95	370,26	333,24	336,90	1,00	4,68
TP60FB2	37,50	372,24	335,02	332,34	0,99	6,52

Considerando-se a ductilidade, o maior deslizamento foi observado no conector apenas com o furo e sem a barra, TPF. No ensaio com furo e barra, TP60FB, a barra fornece mais rigidez ao conjunto e devido a aderência da mesma com o concreto, o deslizamento é menor apesar de ainda caracterizar um comportamento dúctil.

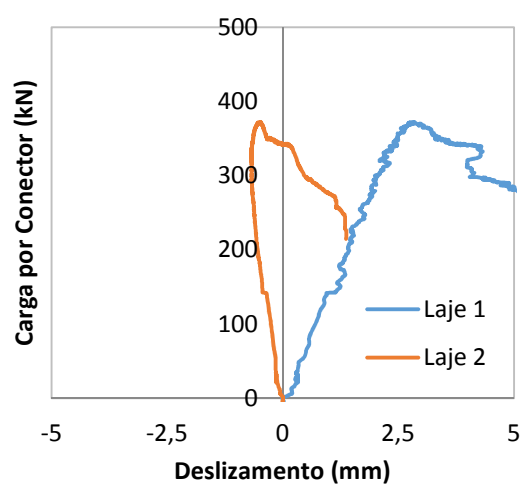
A Figura 138 apresenta os gráficos de *uplift*. Destaca-se que a presença do furo ou do furo e da barra não apresentaram grandes alterações para este fenômeno. Em alguns casos, os resultados encontrados foram de maior magnitude para os conectores com furo – TP60F, TP60FB.



a) TP60



b) TP60F



c) TP60FB

Figura 138 – Efeito de *uplift* TP60

A Figura 139 apresenta as tensões que ocorreram na mesa do conector. Nesta figura ocorre uma queda das tensões após a carga máxima, este alívio de tensão pode ter sido provocado pela ruptura da alma dos conectores com furo, TP60F e TP60FB, fato não ocorrido no conector sem furo, TP60.

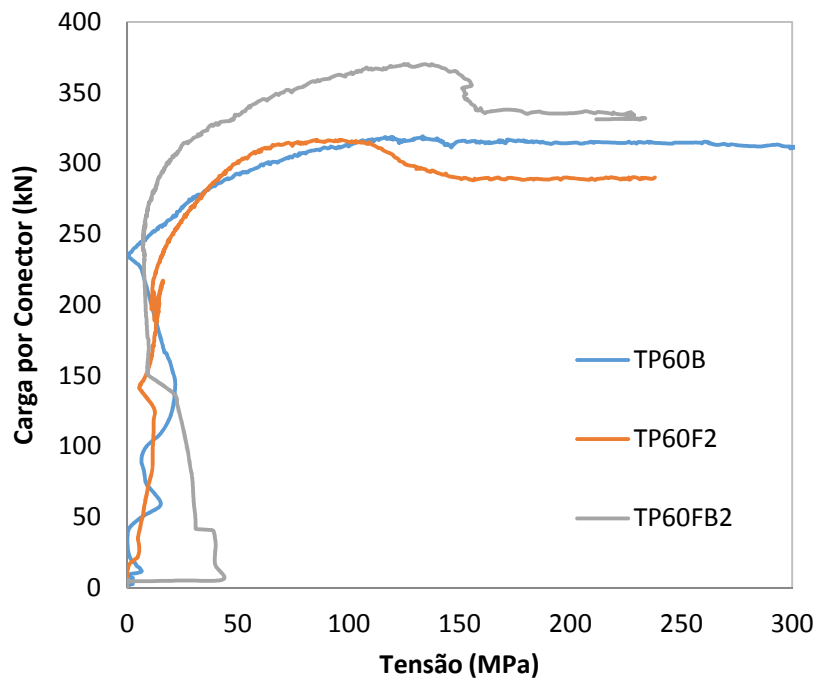


Figura 139 – Comparativo de tensão atuante nos conectores com ângulo de 60° - TP60, TP60F e TP60FB

4.3.4. Influência do ângulo – Conector T-Perfobond com furo e com furo e barra passante

A Tabela 39 apresenta os resultados dos ensaios com ângulo de 90° – TP e os ensaios com furo sem barra e com furo e com barra para o ângulo de 60° – TP60F, TP60FB. O conector T-Perfobond apresentou a maior resistência e deslizamento. Isto pode ser atribuído ao efeito de ponta que ocorre na alma do conector visto que nos conectores com ângulos inclinados, não se verificou esta plastificação da alma. Todos os conectores apresentaram comportamento dúctil.

Tabela 39 – Conectores TP, TP60F e TP60FB

Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	P_{rk} normalizado (kN)	P_{rk} normalizado / $P_{rk\ max}$	$\delta_{médio}$ (mm)
TP60F1	38,9	340,14	306,12	308,27	0,84	6,89
TP60F2	44,9	316,67	285,01	308,35	0,84	7,79
TP60FB1	38,95	370,26	333,24	335,80	0,92	6,18
TP60FB2	37,5	372,24	335,02	331,25	0,91	6,52
TPA	33,6	433,48	390,14	365,14	1,00	11,43
TPB	36,3	402,82	362,54	352,67	0,97	7,42

4.3.5. Comparativo com Pessoa (2015) – Conector T-Perfobond com ângulo de 60° - TP60, TP60F e TP60FB

A Tabela 40 apresenta os resultados comparativos dos conectores com ângulo de 60° ensaiados nesta tese e os resultados obtidos por Pessoa (2015) avaliando-se a influência da inclusão ou não da barra de 10 mm de diâmetro.

Nos ensaios apresentados na Tabela 40 a mesa do conector não foi soldada.

Tabela 40- Comparação de resultados com Pessoa (2015) – Conectores com ângulo de 60°

Designação	f_{ck} (MPa)	q_u (kN)	P_{rk} (kN)	P_{rk} normalizado (kN)	P_{rk} normalizado / $P_{rk\ max}$	$\delta_{médio}$ (mm)
TP60	34,80	389,35	350,41	345,09	0,86	5,70
TP60	33,60	319,07	287,17	277,89	0,69	5,63
TP60F1	38,90	340,14	306,12	318,74	0,79	6,89
TP60F2	44,90	316,67	285,01	318,82	0,79	7,79
TP60FB1	38,95	370,26	333,24	347,20	0,86	6,18
TP60FB2	37,50	372,24	335,02	342,49	0,85	6,52
TPUA2	29,20	411,8	370,62	334,34	0,83	12,86
TPU_AR10_A2	29,20	496,56	446,9	403,15	1,00	7,51

Conforme esperado, o conector utilizado por Pessoa (2015) apresentou maior deslizamento e resistência. Além da presença do efeito de ponta, o perfil utilizado por Pessoa (2015) para o conector é mais robusto conforme já apresentado na Tabela 30.

Assim como nos ensaios desta tese, a inclusão da barra no furo, nos ensaios de Pessoa (2015), proporcionou maior capacidade de carga porém reduziu o deslizamento. Todavia, em ambos os casos, ainda foi mantido o comportamento dúctil nos conectores conforme pode-se observar na Figura 140. Nota-se que no ensaio de Pessoa (2015), a redução do deslizamento é maior que nos ensaios desta tese. Isto pode ter sido provocado pela sobreposição do efeito de ponta e a influência da armadura passante.

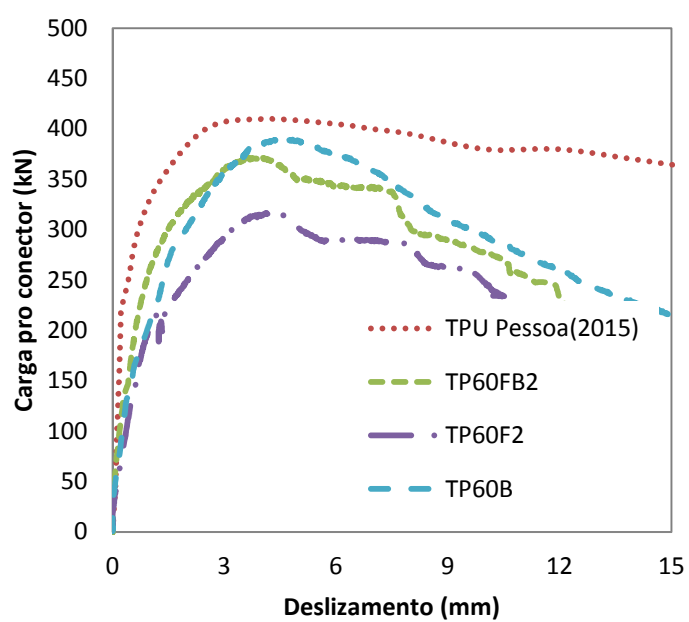


Figura 140 – Carga *versus* deslizamento

5. FORMULAÇÃO DE DIMENSIONAMENTO PROPOSTA

5.1. Introdução

Ao analisar o resultados experimentais pode-se visualizar dois modos de falha: fissuras no concreto e plastificação / ruptura do conector. Após a ocorrência de um destes modos o ensaio não apresentou ganho de resistência sendo caracterizada a ruína.

Apesar de modos de ruína distintos a plastificação da mesa do conector pode ser visualizada, fato alinhado ao entendimento de Pessoa (2015) (Figura 57) conforme proposto pelo mesmo na equação (22).

As equações (12) e (13) apresentas por Vianna (2009) caracterizam o colapso pelo concreto, um dos modos de ruína aqui identificados.

5.2. Modelo de dimensionamento para os conectores sem furo

Para uma primeira análise seguem abaixo mais uma vez as equações propostas por Vianna (2009), cujos resultados estão apresentados na Tabela 41. Destaca-se que os resultados para valores de f_{ck} menor que 30 MPa foram negativas devido a ausência de furos nos conectores.

$$f_{ck} > 30 \text{ MPa}$$

$$q_u = 174 + 0,25 \cdot \left(\sqrt{\frac{A_{f2}}{A_{f1}}} \cdot A_{f1} \cdot f_{ck} \right) - 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot (h_{sc} \cdot t_{sc} \cdot f_{ck}) + 0,55 \cdot 10^{-3} \cdot (A_{tr} \cdot f_y) - 0,14 \cdot 10^{-3} \cdot (A_{sc} \cdot \sqrt{f_{ck}}) \quad (29)$$

$$f_{ck} < 30 \text{ MPa}$$

$$q_u = -0,43 \cdot 10^6 - 16,7 \cdot (h_{sc} \cdot t_{sc} \cdot f_{ck}) + 84,5 \cdot (A_{sc} \cdot \sqrt{f_{ck}}) \quad (30)$$

Tabela 41- Avaliação das equações propostas por Vianna(2009)

Designação	h_{sc} (mm)	t_f (mm)	f_{ck} (MPa)	$q_u > 30$ (kN)	$q_u < 30$ (kN)	Experimental (kN)
TP30A	150	8.1	27.35	347.84	-984.94	410
TP30B	150	8.1	29.77	357.07	-1034.04	396
TP45A	106	8.1	41.00	354.10	-1018.25	365
TP45B	106	8.1	51.40	382.16	-1167.46	471
TP60A	87	8.1	34.80	320.15	-837.67	389
TP60B	87	8.1	33.60	317.50	-823.61	319
TPA	75	8.1	33.60	307.59	-770.88	433
TPB	75	8.1	36.30	312.74	-798.27	403

Isto se seguiu do uso da equação proposta por Pessoa (2015) apresentada abaixo cujos resultados estão presentes na Tabela 42:

$$F_{Total} = F_{Banzo} + F_{Alma} \Rightarrow F_{Total} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2f_{ck,cil.} \times h \times b + \frac{A_v}{\sqrt{3}} \times f_y \\ \left(\frac{h \times t_f^2}{(b - 2R)} + \frac{A_v}{\sqrt{3}} \right) \times f_y \end{array} \right. \quad (31)$$

Tabela 42- Avaliação da equação proposta por Pessoa (2015)

Designação	R Conc (kN)	R Av (kN)	R Mpl	R 1 (kN)	R 2 (kN)	R (kN)	Experimental (kN)
TP30A	526.43	331.93	83.03	858.37	414.96	414.96	410.47
TP30B	573.01	331.93	83.03	904.95	414.96	414.96	396.46
TP45A	558.03	260.57	58.71	818.59	319.28	319.28	365.09
TP45B	699.57	260.57	58.71	960.14	319.28	319.28	470.75
TP60A	386.73	218.28	47.94	605.00	266.21	266.21	389.35
TP60B	373.39	218.28	47.94	591.67	266.21	266.21	319.07
TPA	323.37	235.46	41.51	558.82	276.97	276.97	433.48
TPB	349.35	235.46	41.51	584.81	276.97	276.97	402.82

Ao analisar os resultados da proposta de Pessoa(2015) é notório que a falha ocorre predominantemente pela plastificação do conector. Tal comportamento foi direcionado nos experimentos ao não soldar a mesa do conector e escolher para a espessura do mesmo dimensões iguais ou menores que 12,5 mm.

Diante as fissuras presentes no ensaio experimental procedeu-se a primeira proposta de formulação para resistência do conector, tal proposta considera a projeção vertical para a falha do concreto ao invés da região junto a mesa do

conector. Isto foi feito substituindo o trecho em vermelho pela altura h , Figura 147. A Tabela 43 apresenta os resultados obtidos, destaca-se que mesmo com a redução do concreto da parcela de concreto nas equações de Pessoa(2015) a ruptura foi caracterizada pela falha no conector.

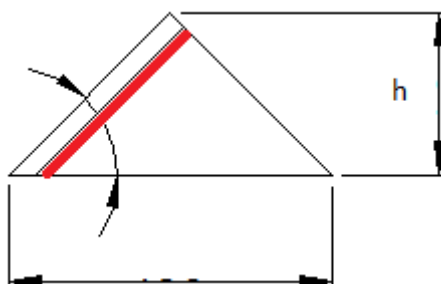


Figura 141 – Proposta 1

Tabela 43- Avaliação da equação presente na Proposta 1

Designação	R Conc (kN)	R AV (kN)	R Mpl (kN)	R1 (kN)	R2 (kN)	R (kN)	Experimental (kN)
TP30A	263.22	331.93	83.03	595.15	414.96	414.96	410.47
TP30B	263.22	331.93	83.03	595.15	414.96	414.96	396.46
TP45A	263.22	260.57	58.71	523.78	319.28	319.28	365.09
TP45B	263.22	260.57	58.71	523.78	319.28	319.28	470.75
TP60A	263.22	218.28	47.94	481.49	266.21	266.21	389.35
TP60B	263.22	218.28	47.94	481.49	266.21	266.21	319.07
TPA	263.22	235.46	41.51	498.67	276.97	276.97	433.48
TPB	263.22	235.46	41.51	498.67	276.97	276.97	402.82

O deslizamento que ocorre entre a face da alma do conector e o concreto, Figura 142, também gera um possível acréscimo de resistência. A inclusão desta parcela foi realizada somando esta resistência a contida na proposta 1 ou seja:

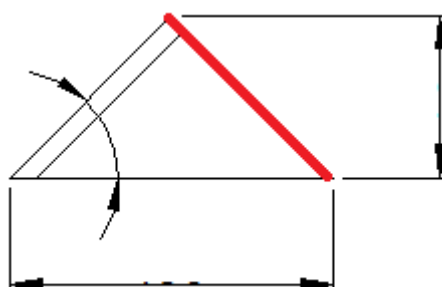


Figura 142 – Proposta 2

$$R_{ponta} = l_w * t_w * f_{ck} \quad (32)$$

Onde:

L_w comprimento da alma,

t_w espessura da alma

f_{ck} resistência característica do concreto

A Tabela 44 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 44- Avaliação da equação presente na Proposta 2

Designação	R Conc (kN)	R Av (kN)	R Mpl (kN)	R ponta (kN)	R1 (kN)	R2 (kN)	R (kN)
TP30A	526.43	331.93	83.03	14.21	872.58	429.17	429.17
TP30B	573.01	331.93	83.03	15.47	920.42	430.43	430.43
TP45A	558.03	260.57	58.71	26.09	844.69	345.37	345.37
TP45B	699.57	260.57	58.71	32.71	992.85	351.99	351.99
TP60A	386.73	218.28	47.94	31.32	636.32	297.53	297.53
TP60B	373.39	218.28	47.94	30.24	621.91	296.45	296.45
TPA	323.37	235.46	41.51	15.12	573.94	292.09	292.09
TPB	349.35	235.46	41.51	16.34	601.14	293.31	293.31

A parcela de contribuição referente a deformação da ponta do conector apresentada na Figura 121 (a)/ Esta parcela foi adicionada aos conectores T-Perfobond com ângulo de 90° substituindo da parcela do f_{ck} pelo f_y do conector, na equação (32). Os resultados são apresentados na Tabela 45.

Tabela 45- Avaliação da equação presente na Proposta 3

Designação	R Conc (kN)	R Av (kN)	R Mpl (kN)	R ponta (kN)	R1 (kN)	R2 (kN)	R (kN)
TPA	323.37	235.46	41.51	171.68	573.94	448.65	448.65
TPB	349.35	235.46	41.51	171.68	601.14	448.65	448.65

A deformação plástica da alma da mesa nos conectores tipo T-Perfobond indica a possibilidade de um plano de ruptura vertical e corte horizontal na base, Figura 143. Esta nova equação da proposta 4 esta apresentada em (33) e (34).

$$A_v = (l - t_f - R - n\emptyset) \times t_w + (t_w + R) \times R + (t_w + 2R) \times t_f \quad (33)$$

$$R_{av} = h * t_w * f_u + \frac{A_v}{\sqrt{3}} * f_y$$

$$R_{mpl} = \frac{h \times t_f^2}{(b - 2R)} * f_y \quad (34)$$

$$R_{conc} = 2f_{ck,cil.} \times h \times b$$

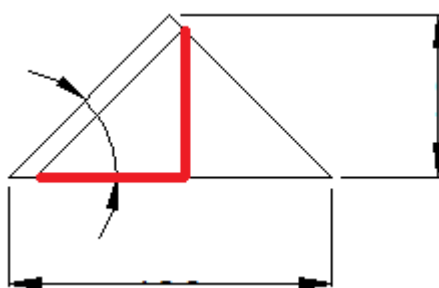


Figura 143 – Proposta analítica 4

A Tabela 46 apresenta os resultados obtidos com esta nova formulação.

Tabela 46- Avaliação da equação presente na Proposta 4

Designação	R Conc (kN)	R Av (kN)	R Mpl (kN)	R1 (kN)	R2 (kN)	R (kN)
TP30A	526.43	376.10	83.03	459.13	526.43	459.13
TP30B	573.01	376.10	83.03	459.13	573.01	459.13
TP45A	558.03	312.03	58.71	370.74	558.03	370.74
TP45B	699.57	312.03	58.71	370.74	699.57	370.74
TP60A	386.73	274.62	47.94	322.55	386.73	322.55
TP60B	373.39	274.62	47.94	322.55	373.39	322.55
TPA	323.37	220.49	41.51	262.00	323.37	262.00
TPB	349.35	220.49	41.51	262.00	349.35	262.00

Diante os resultados das propostas 3 e 4 se faz natural a combinação das mesmas ou seja através da equação (35).

$$R_{av} = h * t_w * f_u + \frac{A_v}{\sqrt{3}} * f_y \quad (35)$$

$$R_{mpl} = \frac{h \times t_f^2}{(b - 2R)} * f_y$$

$$R_{conc} = 2f_{ck,cil.} \times h \times b$$

Se Δ igual a 90º

$$R_{pont} = l_{90} * t_w. * f_y$$

$$R = \min \begin{cases} R_{av} + R_{mpl} + R_{pont} \\ R_{conc} + R_{mpl} + R_{pont} \end{cases}$$

A Tabela 47 apresenta o comparativo entre os resultados obtidos no ensaio experimental e os resultados das propostas anteriormente apresentadas. Nesta análise é possível verificar que a proposta 5 apresenta os resultados mais próximos entre o experimental e o proposto.

A Figura 144 apresenta a variação percentual entre os valores obtidos pelas equações propostas por Vianna(2009), Pessoa(2015) e a proposta 5. Para estes cálculos foi removida a diferença entre o valor obtido da equação e o resultado experimental e este resultado foi posteriormente dividido pelo valor experimental.

Tabela 47- Comparativo das propostas analíticas

Designação	Exp. / VIANNA	Exp. / PESSOA	Exp. / PROP 1	Exp. / PROP 2	Exp. / PROP 3	Exp. / PROP 4	Exp. / PROP 5
TP30A	1.18	0.99	1.1	0.96	0.65	0.89	0.89
TP30B	1.11	0.96	1.06	0.92	0.63	0.86	0.86
TP45A	1.03	1.14	1.21	1.06	0.98	0.98	0.98
TP45B	1.23	1.47	1.56	1.34	1.27	1.27	1.27
TP60A	1.22	1.46	1.5	1.31	1.21	1.21	1.21
TP60B	1	1.2	1.23	1.08	0.99	0.99	0.99
TPA	1.41	1.57	1.57	1.48	0.97	1.65	1.00
TPB	1.29	1.45	1.45	1.37	0.90	1.54	0.93
Media	1.18	1.28	1.34	1.19	0.95	1.17	1.02
Desvio	0.14	0.24	0.21	0.21	0.23	0.30	0.15

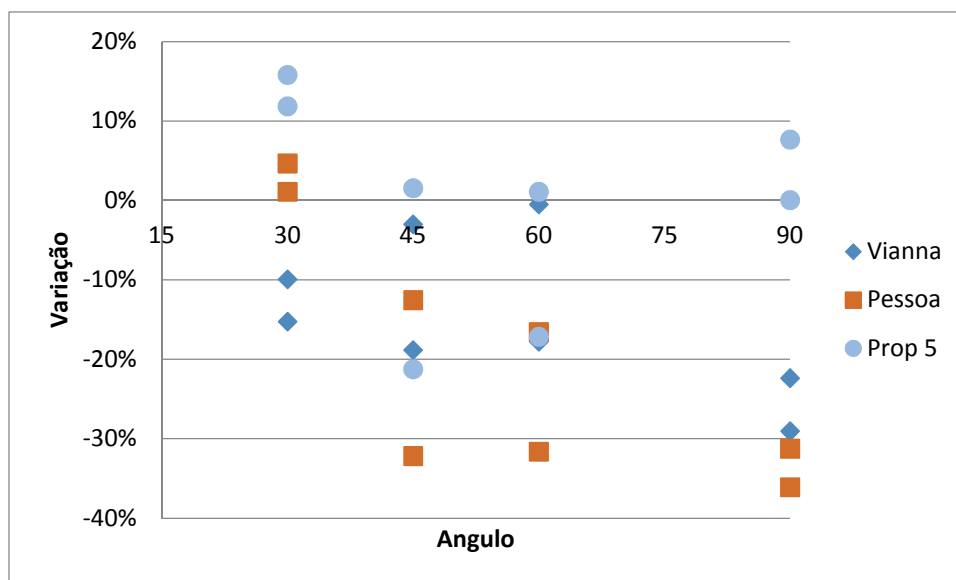


Figura 144 – Variação percentual das propostas analíticas e o resultado experimental

5.3. Modelo de dimensionamento para os conectores com furo

Diante as propostas apresentadas no item anterior foi realizado a aplicação das formulações de Vianna (2009), Pessoa (2015) e a proposta 4 deste trabalho aos experimentos com furo e com furo e barra, Tabela 48, Tabela 49 e Tabela 50 respectivamente.

Tabela 48- Proposta analítica Vianna (2009)

Designação	R >30 (kN)	R <30 (kN)	R (kN)
TP60F1	329.18	-436.03	329.18
TP60F2	342.40	-472.97	342.40
TP60FB1	336.78	-436.33	336.78
TP60FB2	333.59	-427.78	333.59

Tabela 49- Proposta analítica Pessoa (2015)

Designação	R Conc (kN)	R Av (kN)	R Mpl (kN)	R 1 (kN)	R 2 (kN)	R (kN)
TP60F1	432.29	135.32	41.56	567.61	176.88	176.88
TP60F2	498.97	135.32	41.56	634.29	176.88	176.88
TP60FB1	432.85	136.65	41.56	569.49	178.21	178.21
TP60FB2	416.73	136.65	41.56	553.38	178.21	178.21

Tabela 50- Proposta de dimensionamento 5

Designação	R Conc (kN)	R Av (kN)	R Mpl (kN)	R Ponta(kn)	R 1 (kN)	R 2 (kN)	R (kN)
TP60F1	432.29	141.36	41.56	0	473.85	288.40	288.40
TP60F2	498.97	141.36	41.56	0	540.53	288.40	288.40
TP60FB1	432.85	141.36	41.56	0	474.40	288.40	288.40
TP60FB2	416.73	141.36	41.56	0	458.29	288.40	288.40

Os resultados obtidos na proposta 5 apresentam valores menores que os obtidos com o mesmo ângulo sem furos devido a remoção da área do conector que se faz ausente pelo furo. Conforme a proposta de Vianna(2009) a área de concreto do furo influencia nesta resistência sendo necessário a sua inclusão na equação, conforme (36). Isto gera a proposta de dimensionamento 6 cujos resultados encontram-se na Tabela 51

$$R_{furo} = f_{ck} * \pi * \phi^2 / 4 \quad (36)$$

Tabela 51- Proposta analítica 6

Designação	Rav (kN)	Rconc (kN)	R mpl (kN)	R Ponta (kN)	R Furo (kN)	R1 (kN)	R2 (kN)	R (kN)
TP60A	420.77	386.73	41.56	0.00	0.00	462.33	428.29	428.29
TP60B	420.77	373.39	41.56	0.00	0.00	462.33	414.95	414.95
TP60F1	246.84	432.29	41.56	0.00	29.76	318.16	503.61	318.16
TP60F2	246.84	498.97	41.56	0.00	28.74	317.14	569.26	317.14
TP60FB1	246.84	432.85	41.56	0.00	33.27	321.67	507.68	321.67
TP60FB2	246.84	416.73	41.56	0.00	38.40	326.80	496.69	326.80

A Tabela 52 apresenta o comparativo destas formulações a partir da divisão do valor experimental pelo resultado da proposta de dimensionamento. A Figura 145 apresenta a variação percentual através do mesmo calculo da Figura 144

Tabela 52- Comparativo proposta analitica

Designação	Exp. / Vianna	Exp. / Pessoa	Exp. / Prop. 6
TP60F1	1.03	1.92	1.07
TP60F2	0.92	1.79	1.00

TP60FB1	1.10	2.08	1.15
TP60FB2	1.12	2.09	1.14
Media	1.04	1.97	1.09
Desvio	0.09	0.14	0.07

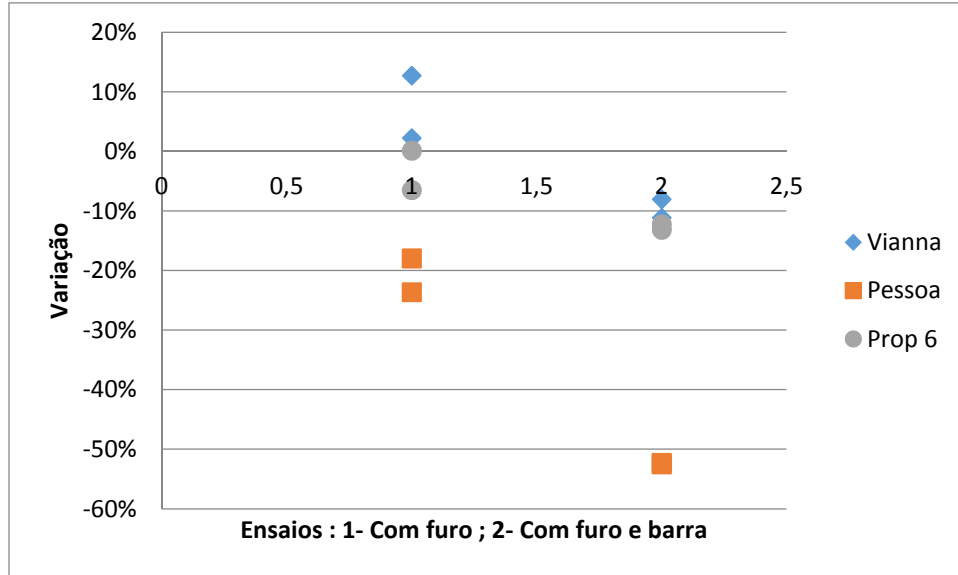


Figura 145 – Variação percentual das propostas analíticas e o resultado experimental

A equação (37) apresenta a última proposta deste trabalho, considerando as influências de ponta e dos furos de acordo com a geometria do conector.

$$A_v = (l - t_f - R - n\emptyset) \times t_w + (t_w + R) \times R + (t_w + 2R) \times t_f$$

$$R_{av} = h * t_w * f_u + \frac{A_v}{\sqrt{3}} * f_y$$

$$R_{mpl} = \frac{h \times t_f^2}{(b - 2R)} * f_y$$

$$R_{pont} = l_{90} * t_w * f_y \quad (37)$$

$$R_{furo} = f_{ck} * \pi * \emptyset^2 / 4$$

$$R_{conc} = 2f_{ck,cil.} \times h \times b$$

$$R = \min \left\{ \begin{array}{l} R_{av} + R_{mpl} + R_{pont} + R_{furo} \\ R_{conc} + R_{mpl} + R_{pont} + R_{furo} \end{array} \right.$$

A Figura 146 apresenta os parâmetros adotados na formulação (37).

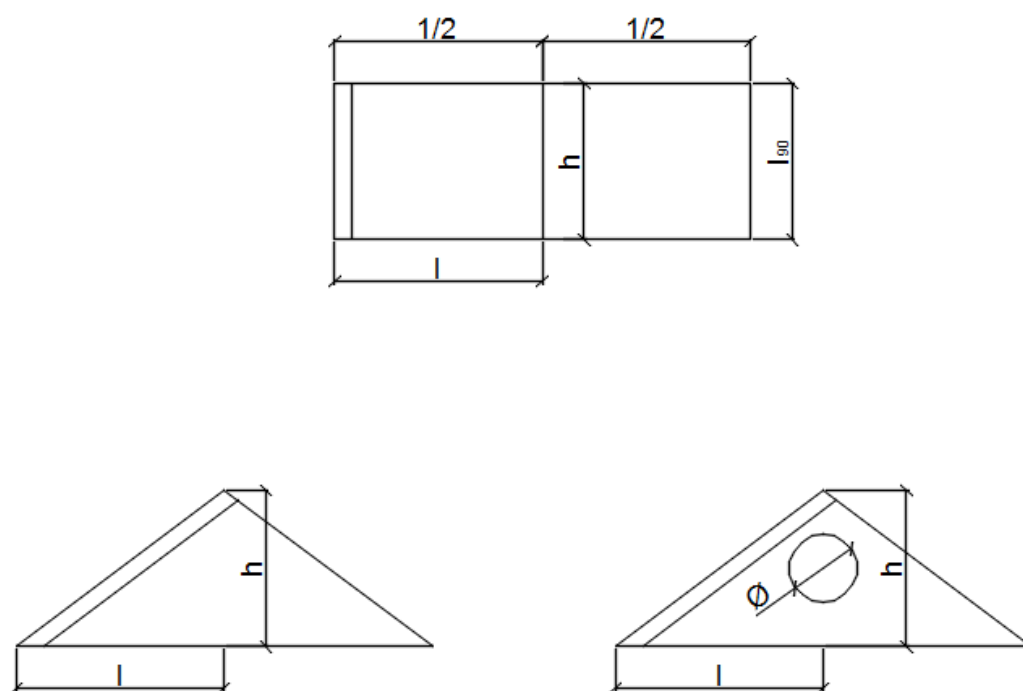


Figura 146 – Elementos da formulação proposta

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Introdução

Os processos construtivos utilizados em estruturas mistas, aço e concreto, vem cada vez mais evoluindo na construção civil. A concepção da estrutura mista de aço e concreto ainda possui a vantagem dos elementos que a compõem trabalharem nas zonas de solicitação mais adequadas, ou seja, o aço em tração e o concreto em compressão. Contudo, para este comportamento, torna-se necessário que a interação entre os materiais, aço e concreto, seja avaliada devido ao surgimento das tensões de cisalhamento existentes na interface entre a viga e a laje de concreto. Nesta interface são colocados conectores para resistir ao esforço, sendo estes conectores, denominados conectores de cisalhamento. Os conectores de cisalhamento tem sido amplamente estudados nas últimas décadas visto a sua importância para o comportamento da estrutura mista.

Os conectores de cisalhamento apresentam fundamental importância no comportamento da estrutura mista tendo em vista que o grau de interação a ser considerado entre a viga de aço e a laje de concreto influencia diretamente o seu comportamento. Em função disso, o grau de interação a ser considerado poderá ser total, parcial ou nenhum, influenciando diretamente na distribuição das solicitações a serem consideradas no dimensionamento das vigas mistas. Além disso, sabe-se que o deslizamento na interface entre a viga e a laje é fundamental para a ductilidade do sistema misto.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento estrutural de conectores de cisalhamento tipo T-Perfobond modificados onde, inicialmente, foi apresentada uma breve descrição dos principais tipos de conectores de cisalhamento além dos critérios de análise utilizados para a correta caracterização do comportamento destes conectores. Posteriormente, foram apresentados alguns dos principais ensaios já realizados de diversos tipos de conectores com as respectivas análises e principais conclusões obtidas de forma a servirem como parâmetro de comparação para os resultados obtidos na presente Tese.

O programa experimental realizado considerando-se os diversos tipos de conectores ensaiados, a sequência lógica dos ensaios além da instrumentação adotada nestes ensaios foram apresentada em seguida. Em seguida, efetuou-se a comparação dos resultados obtidos nos ensaios com os resultados existentes na literatura de forma a evidenciar a evolução da utilização de conectores de cisalhamento tipo T-Perfobond.

6.2.Principais Contribuições do Presente Trabalho

O presente trabalho apresentou um novo tipo de conector de cisalhamento originado de cortes e soldas dos perfis estruturais utilizados na engenharia civil, trazendo um potencial de reutilização e redução de custos para a obra.

O deslizamento apresentado pelo conector proposto foi superior aos seis milímetros.

Os ensaios realizados confirmaram a fundamental influência da espessura da mesa do conector tipo T-Perfobond na sua ductilidade e resistência.

O conector proposto com furos apresentou uma configuração de ruína com ruptura de área líquida e este estado limite último resultou em ganho de ductilidade sem redução da capacidade de carga.

Os conectores com ângulo de 45° e 60° apresentaram uma redução do *uplift*, o que demonstra uma resistência adicional ao descolamento entre a laje e a viga.

Foi realizada uma vasta comparação de conectores originados de um mesmo perfil, sendo comparada a influência dos furos e de barras de armadura nele passantes, a variação do ângulo entre a mesa do conector e do perfil base da viga e diferentes resistências do concreto.

Por fim foi apresentada uma análise comparativa dos resultados experimentais aqui realizados e os já apresentados na literatura assim como uma avaliação de uma possível formulação para avaliação de sua resistência última.

6.3.Principais Conclusões

Diversos autores tem apresentado resultados experimentais e numéricos para o desenvolvimento de diversos tipos de conectores de cisalhamento. Ao analisar estes trabalhos e os resultados obtidos no programa experimental desenvolvido, cabe destacar que:

- O efeito de ponta, quando se utiliza um conector com as mesas de espessura reduzida, resulta em um ganho de ductilidade do sistema;
- No concreto, a região solicitada tende a se comportar como um bloco oferecendo a resistência inicial. Se a resistência do concreto for elevada, o sistema misto apresenta um ganho de resistência porém, há uma redução de ductilidade. Isto ocorre pois ao fissurar, o concreto passa a não resistir mais a este carregamento sendo estes esforços agora, resistidos pelo conector de cisalhamento. Dependendo da magnitude da força neste instante, o conector não tem mais capacidade de a resistir levando a uma ruína de característica frágil;
- Utilizar espessuras iguais ou menores que 12,5mm na mesa dos conectores tipo T-Perfobond favorece a plastificação das mesmas podendo resultar num ganho de deslizamento;
- A ausência de solda das mesas dos conectores altera o sistema de apoio da mesma e esta nova configuração é favorável ao deslizamento;
- A presença de furos no conector tipo T-Perfobond modificou reduziu a sua área mas mobilizou um estado limite último associado a ruptura na sua área líquida e um consequente ganho de ductilidade ao sistema;
- Ao inserir uma barra de aço no furo, o conector passou a ter um aumento na sua capacidade resistente o que aumentou o valor da carga necessária para a formação de fissuras no concreto. Porém, observou-se um pequeno aumento na capacidade resistente destes conectores quando comparado aos conectores só com furo;
- A separação vertical entre a laje de concreto e o perfil base de aço denominado *Uplift* foi reduzido ao se utilizar os ângulos de 45° e 60° entre a mesa do conector e do perfil da viga.

6.4. Sugestões para Trabalhos Futuros

Com base nos resultados do presente trabalho e de modo particular no programa experimental desenvolvido, serão apresentadas algumas ideias e sugestões de caráter promissor para trabalhos futuros, a saber:

- Analisar a influência de furos com menor e maior diâmetro assim como alteração no número de furos no conector com ângulo de 60° . Considerando-se que no conector com furo, houve a ruptura da área líquida, a disposição e o tamanho dos furos pode apresentar ganhos ao sistema;
- Realizar ensaios com conector com ângulo de 45° e furos já que estes conectores apresentaram capacidade de deslizamento próxima a do conector com 60° podendo caracterizar um conector dúctil apenas com a inclusão do furo;
- Realizar ensaios de conectores com ângulo entre a mesa do conector e da viga variando entre 60° a 90° ;
- Verificar o comportamento dos conectores com ângulo de 45° e 60° confeccionados com a geometria da Figura 65 (a) de forma a avaliar a influência do efeito de ponta no deslizamento do sistema e, portanto, um comportamento mais dúctil;
- Alternativamente estudar conectores onde ao invés de se fixar a altura h , mantenha-se fixo o comprimento de suas mesas L , Figura 65 (a);
- Avaliar o comportamento de conectores com ângulo de 60° e corte na base, conforme Figura 147(b);

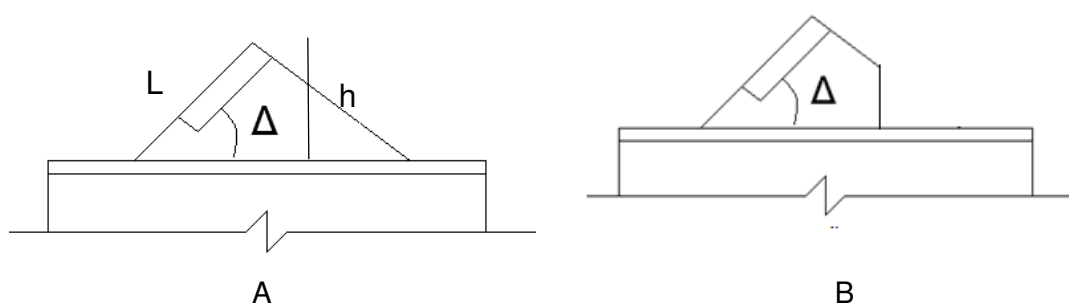


Figura 147 – Proposta de Conector, T-Perfobond modificado

- Realizar modelagem numérica calibrada com os resultados do presente trabalho para aumentar o escopo dos perfis e geometria considerados.

REFERÊNCIAS

An L. E Cederwall K., Push-Out Tests On Studs In High Strength And Normal Strength Concrete, Journal Of Constructional Steel Research, 36 (1), P 15-29, 1996

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2014, Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6152:1992, Materiais metálicos - Determinação das propriedades mecânicas à tração, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7438:2016, Produtos metálicos - Ensaio de dobramento semi-guiado, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800:2008, Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, 2008.

Calado, L.; Santos J., Estruturas Mistas De Aço E Betão. Instituto Superior Técnico, 568p., 2009.

Cândido-Martins JPS, Costa-Neves LF, Vellasco PCGS. Experimental evaluation of the structural response of Perfobond shear connectors. Engineering Structures 2010; 32: 1976-85.

Cosenza, E.; Zandonini, R. "Composite Construction". Structural Engineering Handbook, Ed. Chen Wai-Fah, Boca Raton: Crc Press Llc, 1999.

Costa-Neves, L.F., Figueiredo, J.P., Vellasco, P.C.G.S., Vianna, J.C., Perforated shear connectors on composite girders under monotonic loading: An experimental approach, Engineering Structures, 56 (2013) 721-737.

David, D.L. Análise Teórica E Experimental De Conectores De Cisalhamento E Vigas Mistas Constituídas Por Perfis De Aço Formados A Frio E Laje De Vigotas Prémoldadas. Tese De Doutorado, Escola De Engenharia De São Carlos Da Universidade De São Paulo, 250p., 2007.

Duarte, Gonçalo dos Santos. Conectores inovadores de elevado desempenho para estruturas mistas aço-betão, dissertação de mestrado, Faculdade de ciências e tecnologia da universidade de coimbra, 85p. 2015

EN10025, Hot rolled products of structural steels - Part 1: General technical delivery conditions, CEN-European Commuttee for Standardisation; 2005.

EUROCODE 2. EN 1992, Design of concrete structures Part 1.1 General rules and rules for buiçdings, Brussels, CEN-European Commuttee for Standardisation; 2005.

EUROCODE 4. EN 1994, Design of composite stell and concrete structures Part 1.1 General and rules for buildings, Brussels, CEN-European Committee for Standardisation; 2005.

Fusco (1975) P.B., Fundamentos da Técnica de Armar, Editora Gremio.

Hanswille, G.; Bergman R., New Design Method For Composite Columns Including High Streng Steel. Proceedings Of Composite Construction In Steel And Concrete, Asce, P. 381-389, 2006.

Hilti 2018, <https://www.hilti.pt>, acessado em 09/04/2018

Kim, S.-H., Choi, K.-T., Park, S.-J., Park, S.-M., Jung, C.-Y., “Experimental shear resistance evaluation of Y-Type Perfobond rib shear conector”, Journal of Constructional Steel Research, 2013, 82, pp. 1-18

Kraus, D.; Wurser, O., Non Linear Finite Element Analysis Of Concrete Dowels, Computers & Structures, Nº 5/6, 1271-1279, 1997.

Leite, M.D.R.N., 2006. Avaliação de Conectores de Cisalhamento Tipo Perfobond em Estruturas de Aço. Projeto final de graduação em engenharia civil, UERJ, Rio de Janeiro, 81p., 2006.

Medberry, S.B.; Shahrooz, B.M., J.M. Perfobond Shear Connector For Composite Construction, Aisc Engineering Journal, Chicafo, 2002-1, 2-12, 2002.

Nie, J. G., Shen, J. M., Yuan, Y.S., Lin, W. E Wang, W. H. Experimental And Analysis O Factual Shear Capacity Of Shear Connectors In Composite Steel-Beams. J. Build. Struct., P. 21-28, 1996.

Oehlers D.J., Johnson R.P., The Strength Of The Stud Shear Connections In Composite Beams, The Structural Engineer, B (2), P. 44-48, 1987.

Oguejiofor, E.C., Hosains M.U., A Parametric Study Of Perfobond Rib Shear Connectors, Canadian Journal Of Civil Engineering, P. 614-625, 1994.

Oguejiofor, E.C., Hosains M.U., Numerical Analysis Of Push-Out Specimens With Perfobond Rib. Connectors, Computers And Structures, P.617-624, 1997.

Pessoa, Lino Filipe Cristóvão. Conectores T-Perfobond Unconnected submetidos a carregamento monotónico, dissertação de mestrado, Faculdade de ciências e tecnologia da universidade de coimbra, 80p. 2015

Portal Metálica, <http://wwwo.metallica.com.br/tabelas/tabela-perfil-laminado-i-e-h> , acessado em 04/04/2018 às 18:00h.

Rambo-Roddenberry, M.; Lyons, C. J.; Easterling, S.W.; Murray, T. M. Performance And Strength Of Welded Shear Studs. Composite Construction In Steel And Concrete Iv, Asce, P. 458-469, 2000.

Simões, Rui. Notas de aula, Estruturas mistas aço e betão, DEC – Universidade de Coimbra, 2005.

Slutter, R. G., Driscoll, G.C. Flexural Strength Of Steel-Concrete Composite Beams. J. Struct. Div., P.71-99, 1965.

Ushijima, Y.; Hosaka, T.; Mitsuki, K.; Watanabe, H.; Tachibana, Y.; Hiragi, H. Na Experimental Study On Shear Characteristics Of Perfobond Strip And Its Rational Strength Equations, International Symposium On Connections Between Steel And Concrete, University Of Stuttgart, Vol.2, 1066-1075, 2001.

Veríssimo, G.S. Desenvolvimento De Um Conector De Cisalhamento Em Chapa Dentada Para Estruturas Mistas De Aço E Concreto E Estudo Do Seu Comportamento. Tese De Doutorado, Universidade Federal De Minas Gerias Belo Horizonte, P.287, 2007.

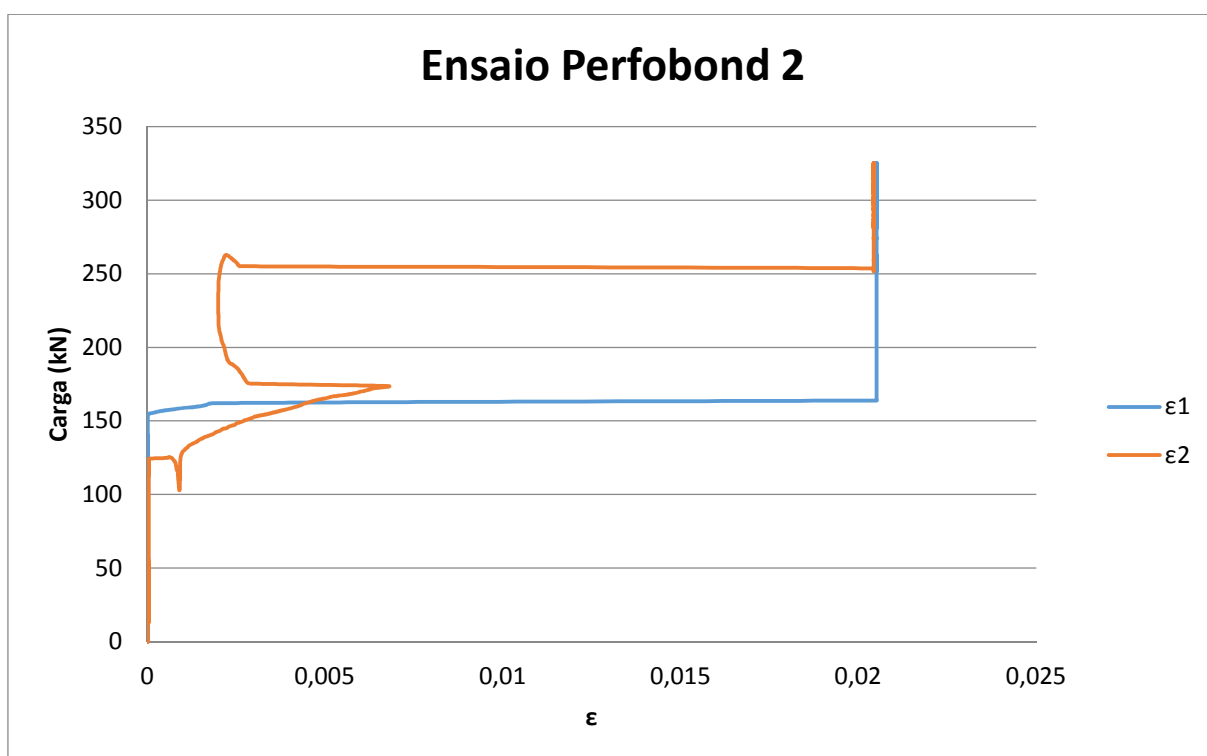
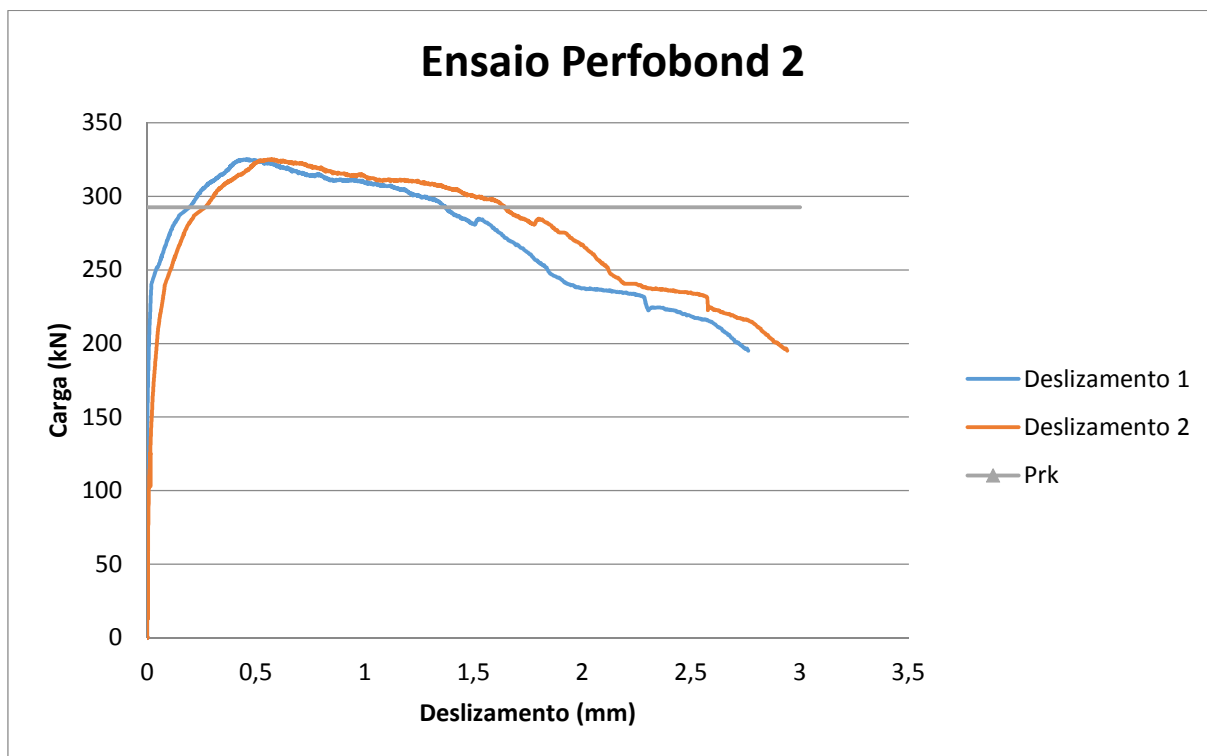
Vianna, Juliana da Cruz, Avaliação do Comportamento Estrutural de Conectores Perfobond e T-Perfobond Para Vigas Mistas. Tese De Doutorado, Pontifícia Universidade Católica Do Rio De Janeiro, 307p., 2009.

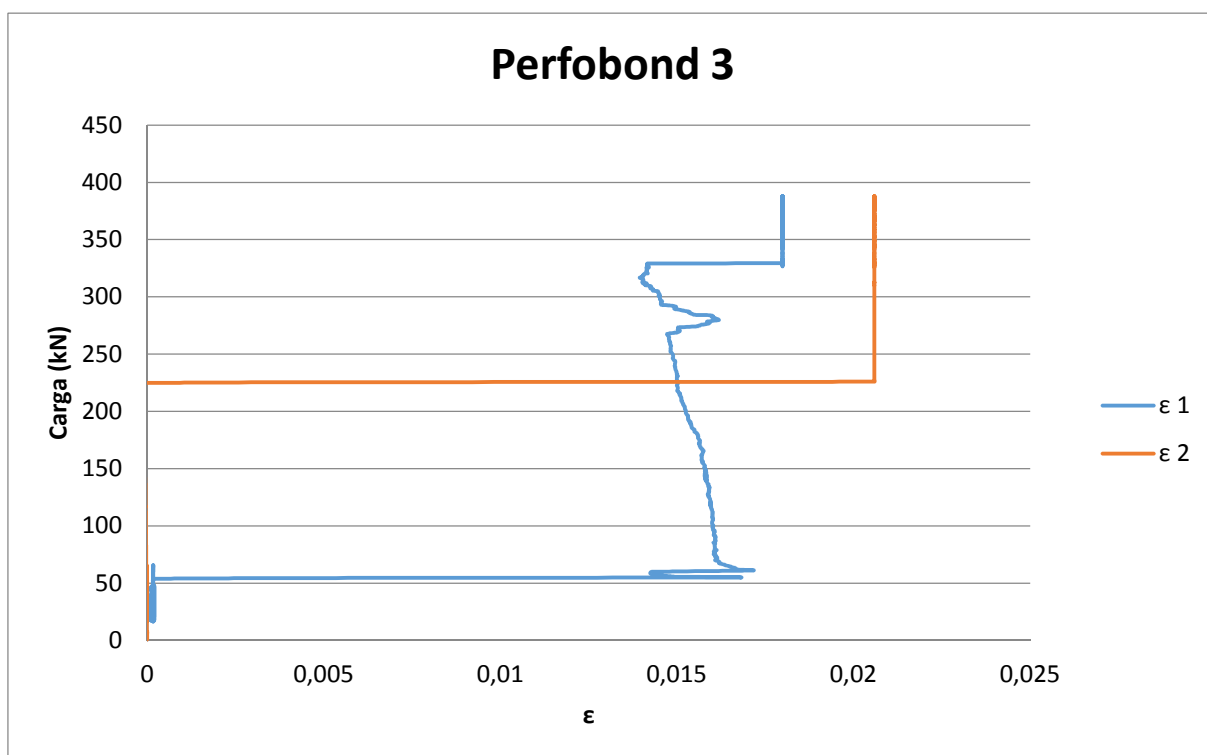
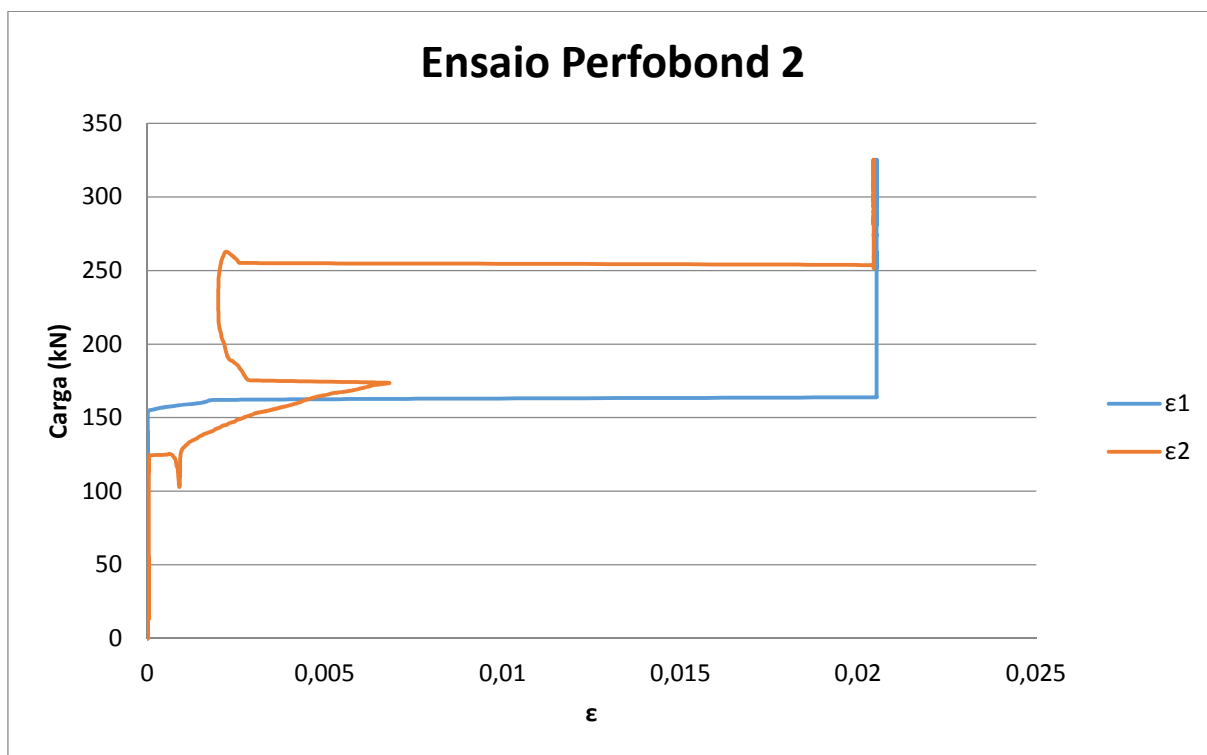
Viest, I. M. Investigation Of Stud Shear Connector For Composite Concrete And Steel T-Beams. Aci J., P. 875-981, 1956.

Weicehn Xue, Min Ding, Hua Wag, E Ziwen Luo, Static Behavior And Theoretical ANSYS Of Stud Shear Connectors. Journal Of Bridge Engineering, Asce, P. 623-634, 2008.

William K.S., Jerome F.H., Arturo E.S., Carol K.S., Behavior Of Shear Studs In Steel Frames With Reinforced Concrete Infill Walls, Journal Of Constructional Steel Research, P.28, 2004.

Zellner W. Recent Designs Of Composite Bridges And A New Type Of Shear Connectors, Iabse/Asce Engineering Foundation Conference On Composite Construction, Henniker Nh, P. 240-252, 1987.

APENDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS COM PERFOBOND.



APENDICE B – RESULTADOS DOS ENSAIOS COM T-PERFOBOND.

Abaixo serão apresentados os ensaios com os conectores T-Perfobond sem os furos, a nomenclatura adota segue apresentada abaixo:

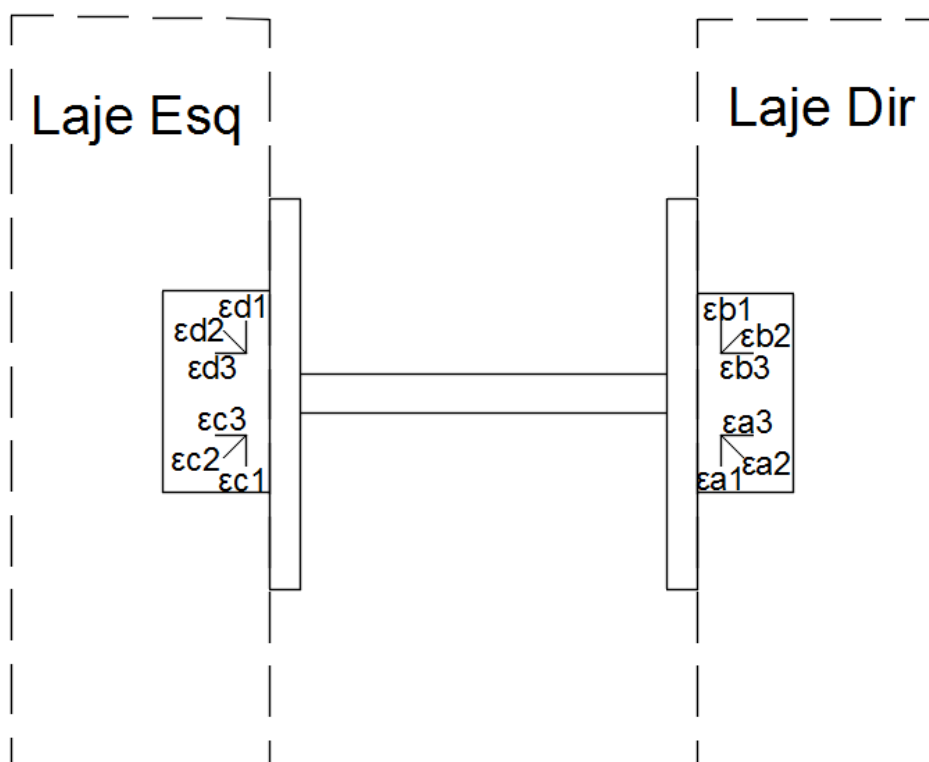
TPA	1º ensaio com T-Perfobond com ângulo 90º
TPB	2º ensaio com T-Perfobond com ângulo 90º
TP30A	1º ensaio com T-Perfobond com ângulo 30º
TP30B	2º ensaio com T-Perfobond com ângulo 30º
TP45A	1º ensaio com T-Perfobond com ângulo 45º
TP45B	2º ensaio com T-Perfobond com ângulo 45º
TP60A	1º ensaio com T-Perfobond com ângulo 60º
TP60B	2º ensaio com T-Perfobond com ângulo 60º

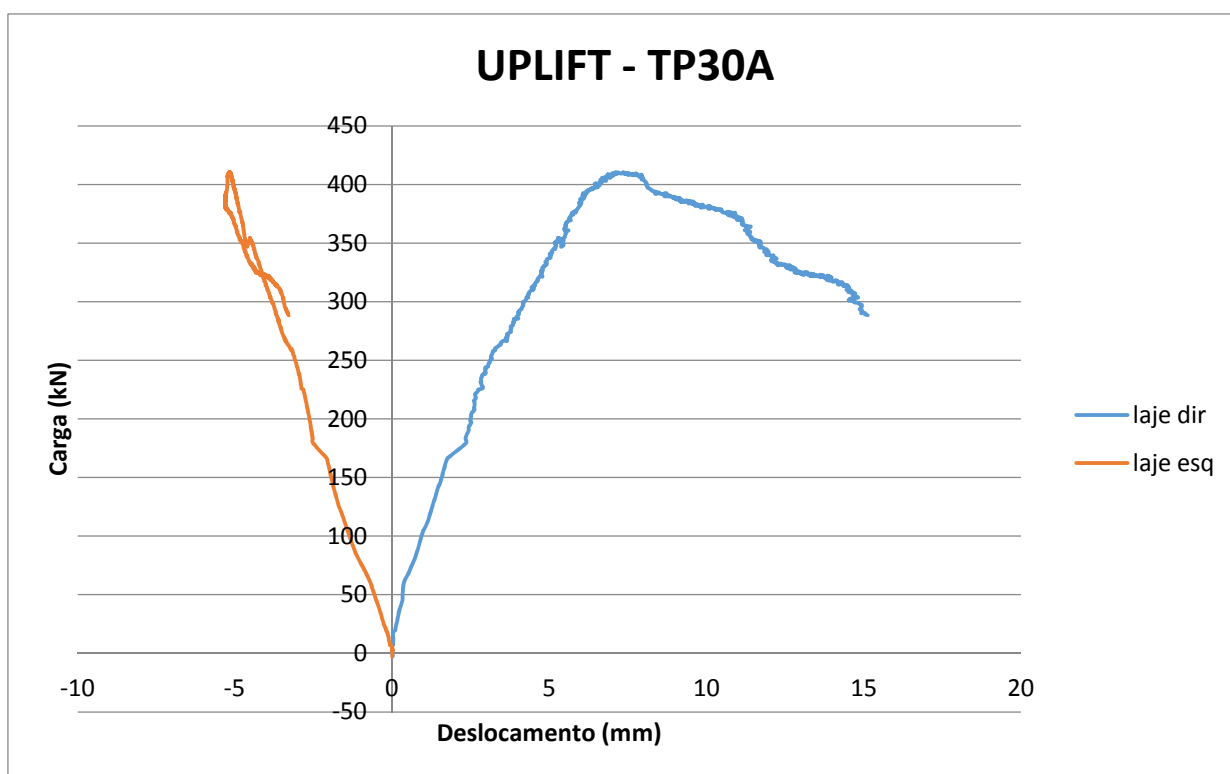
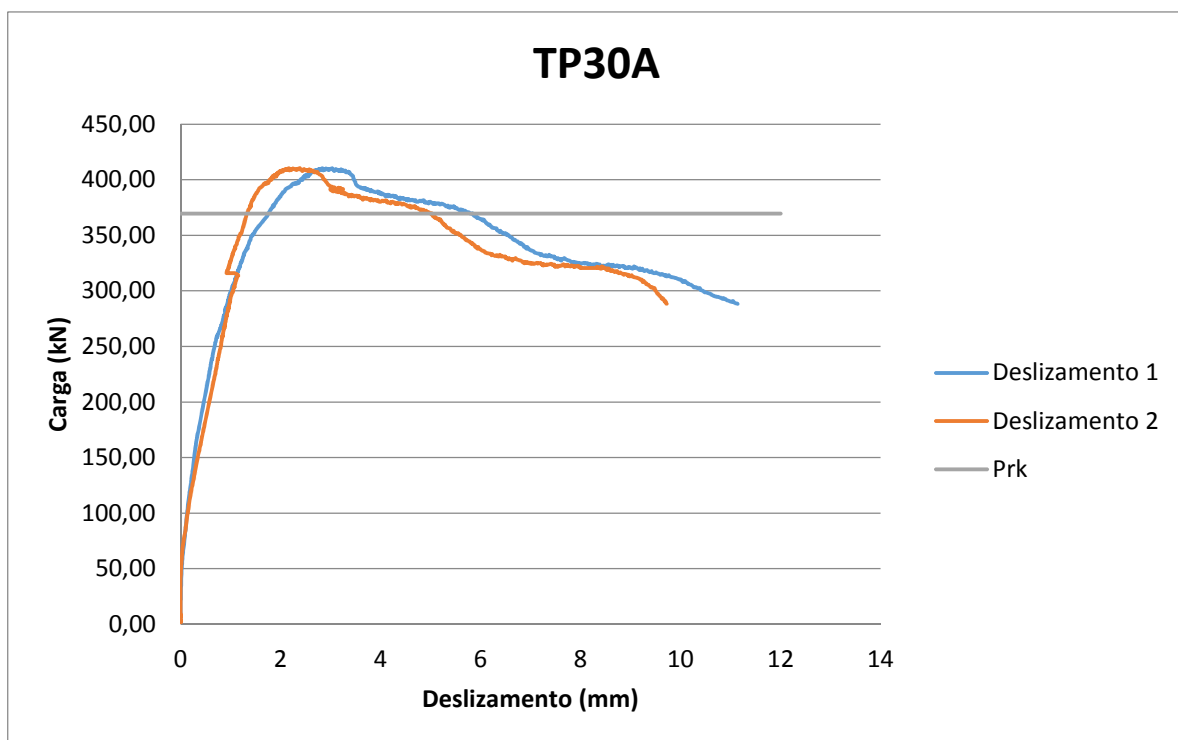
As rosetas foram nomeadas de acordo com a seguinte nomenclatura, ϵ ni, sendo;

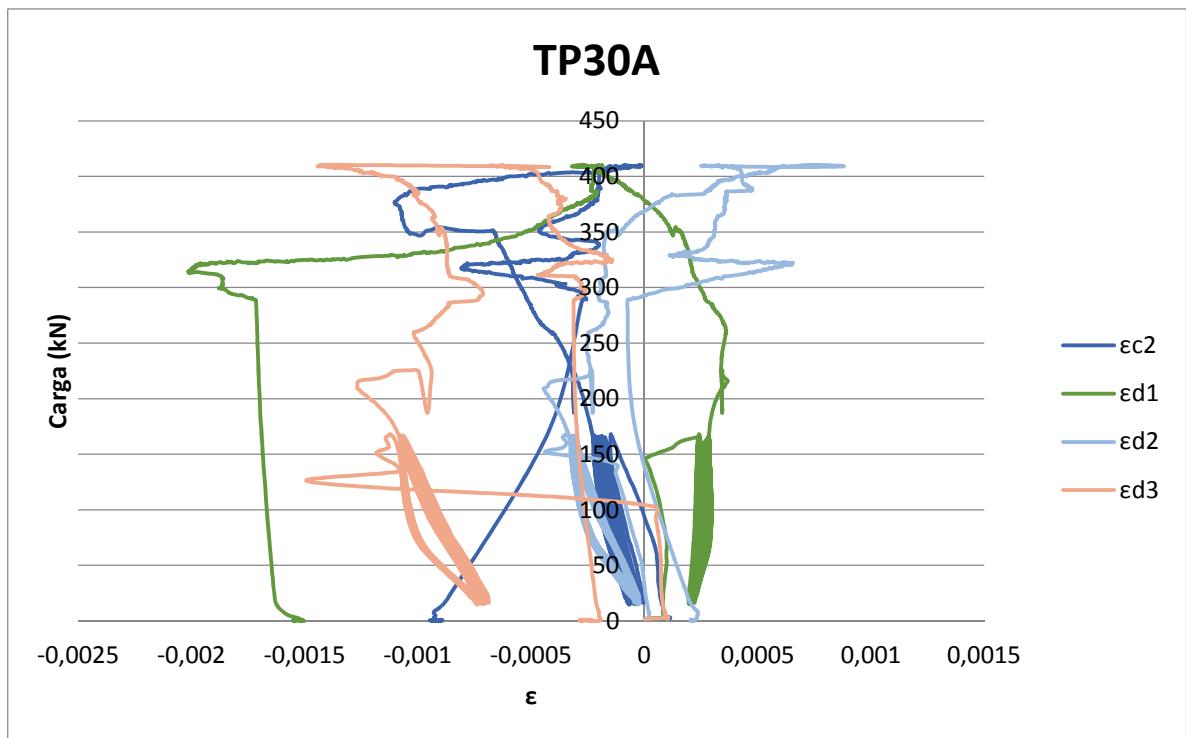
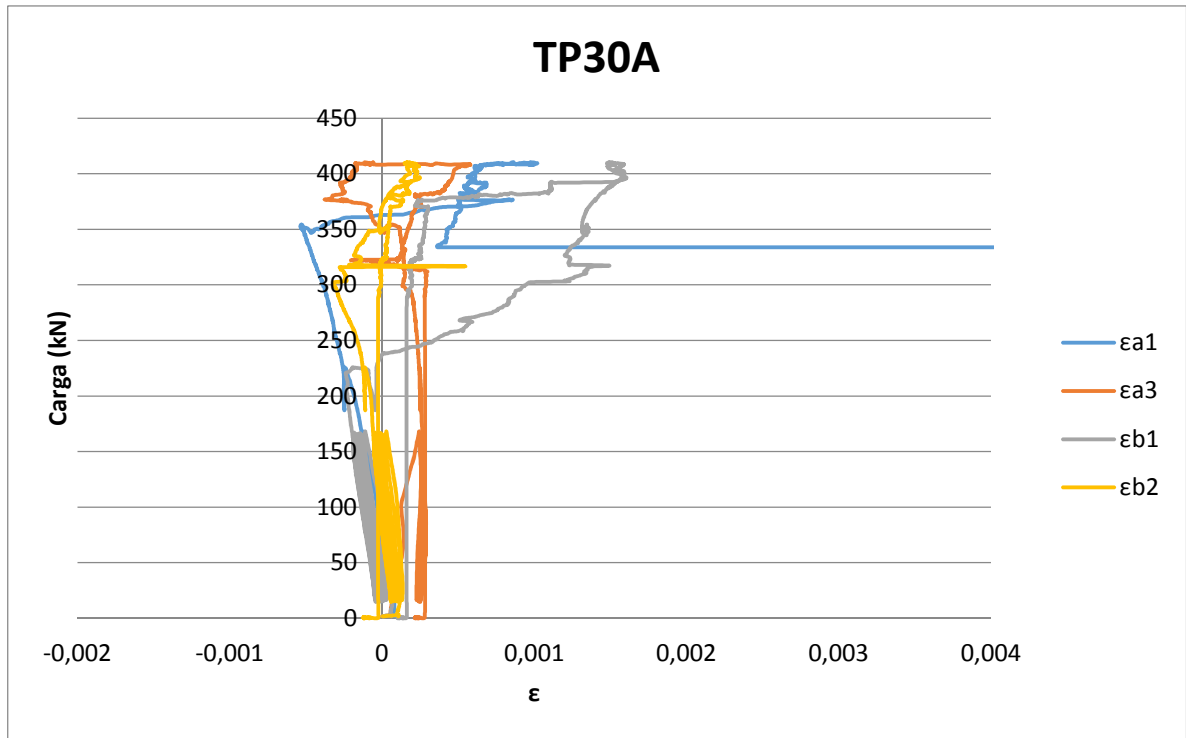
ϵ a identificação de strain,

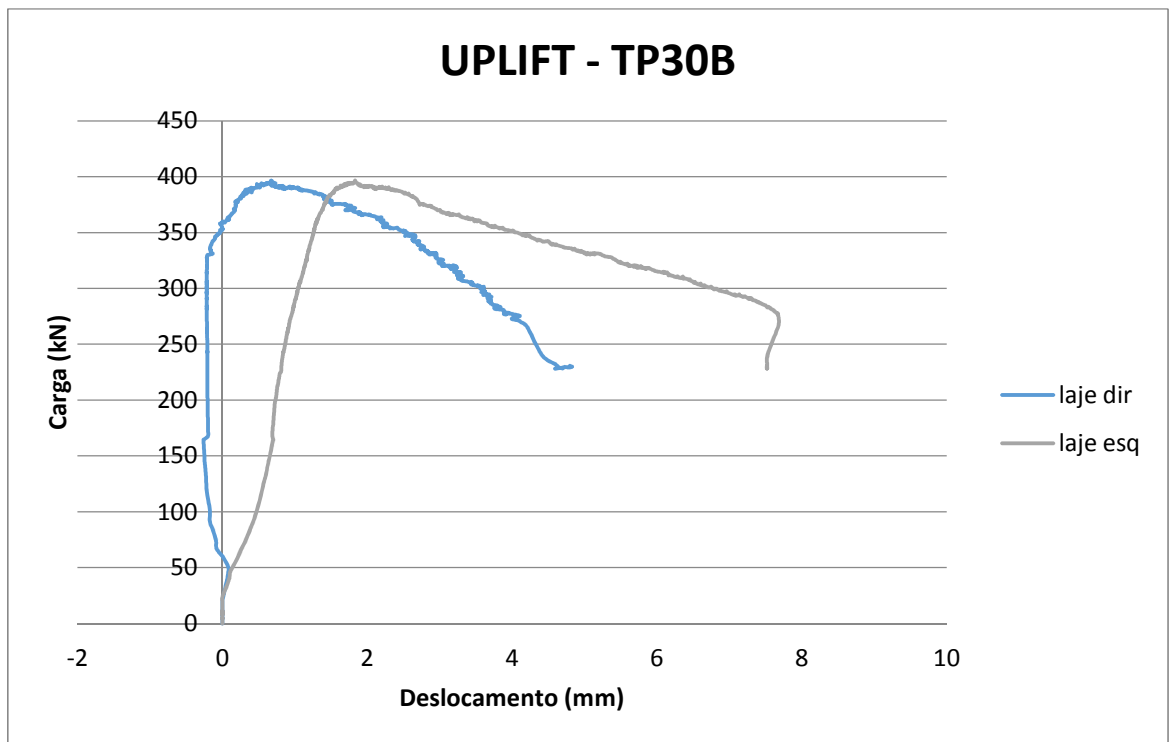
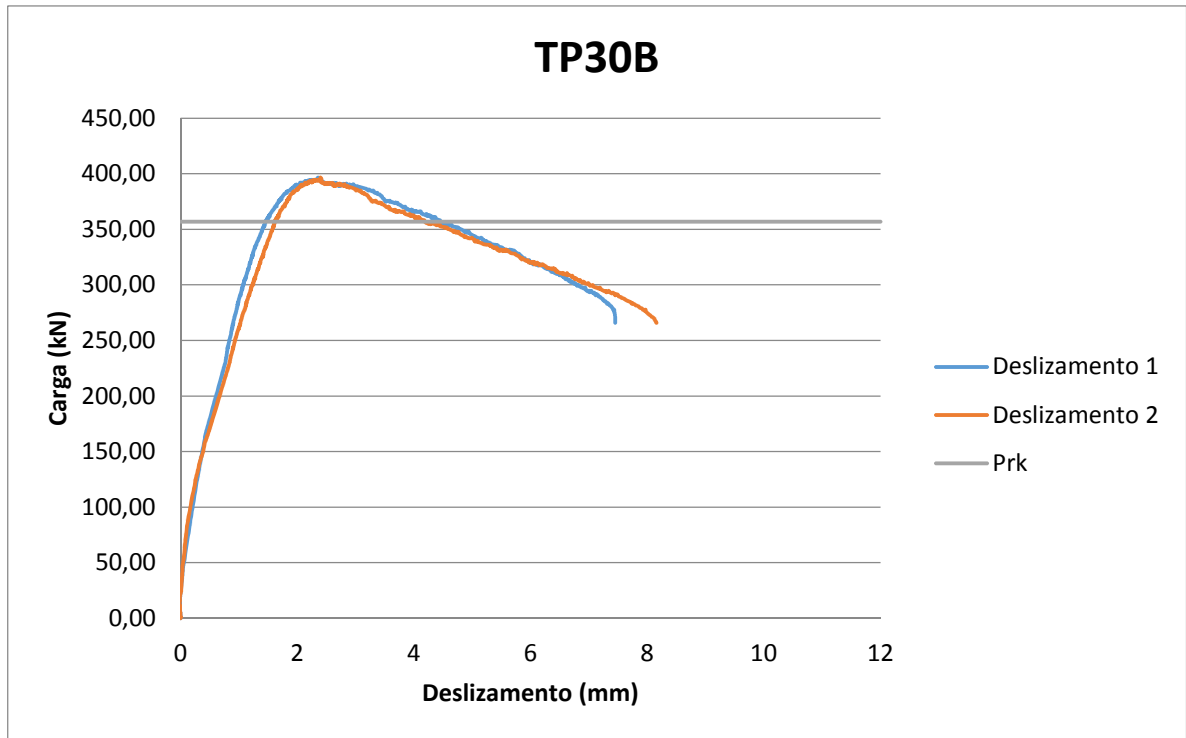
n a identificação da roseta -a, b, c, d

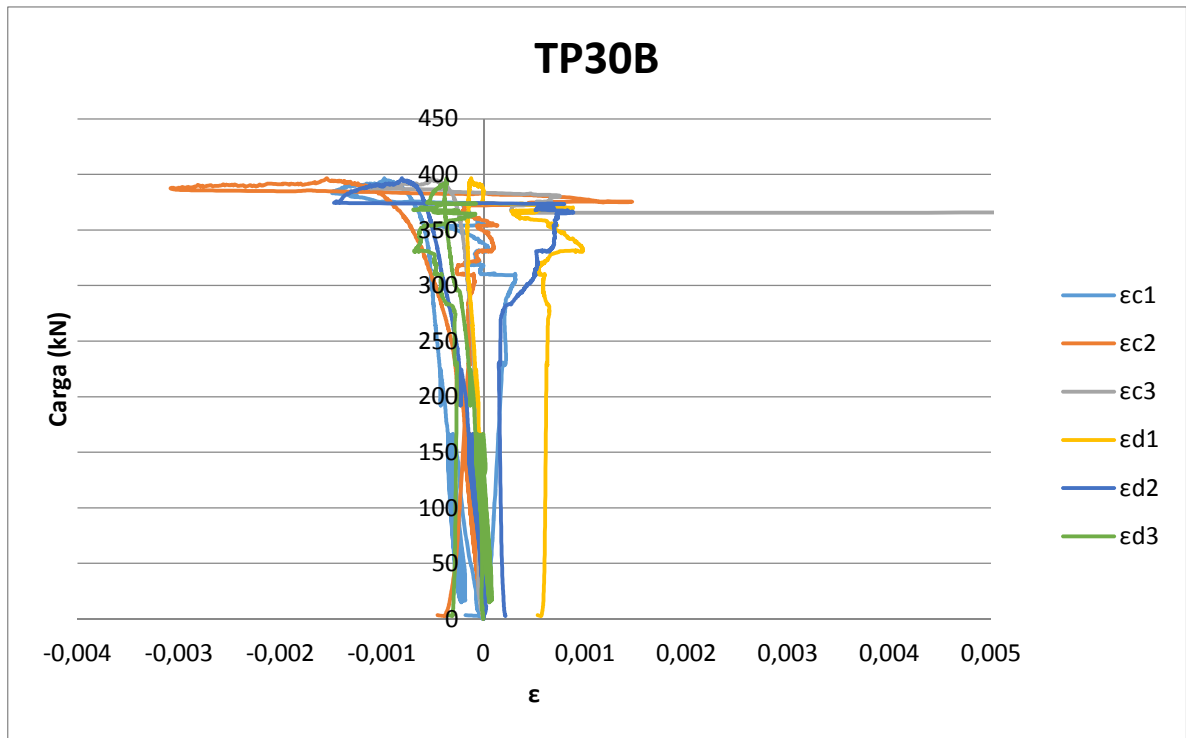
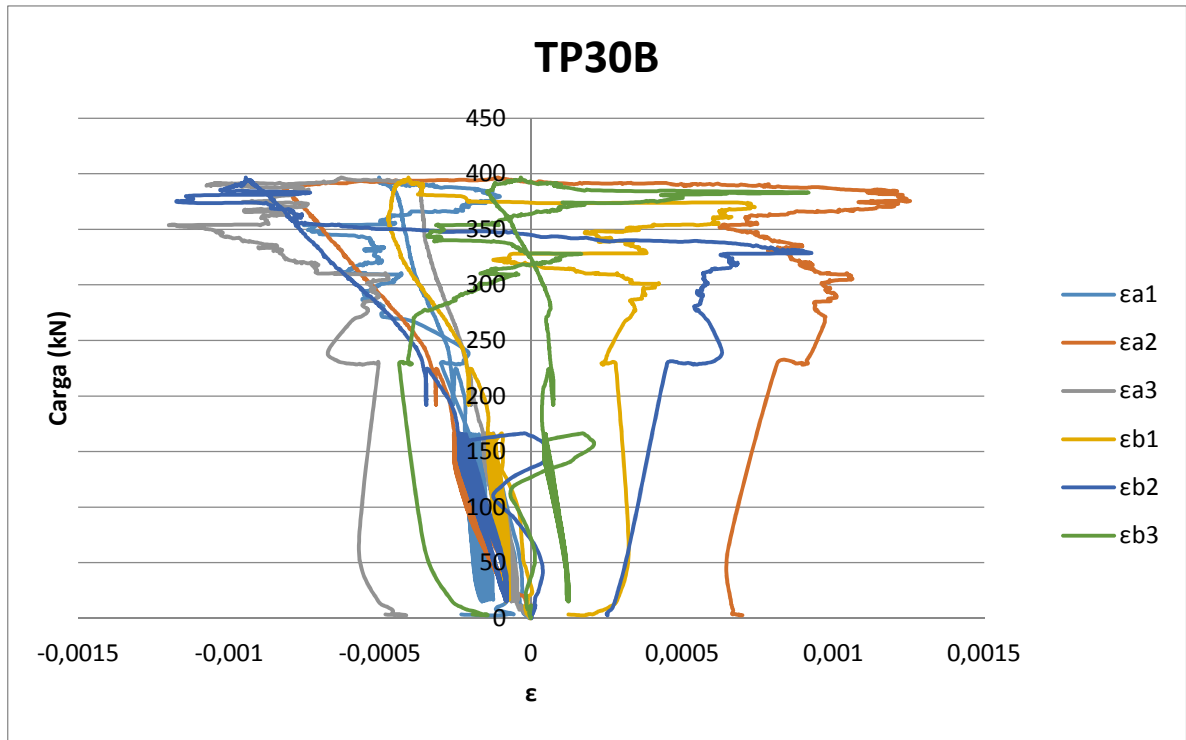
i a posição do strain – 1 para horizontal, 2 para 45º e 3 para 90º

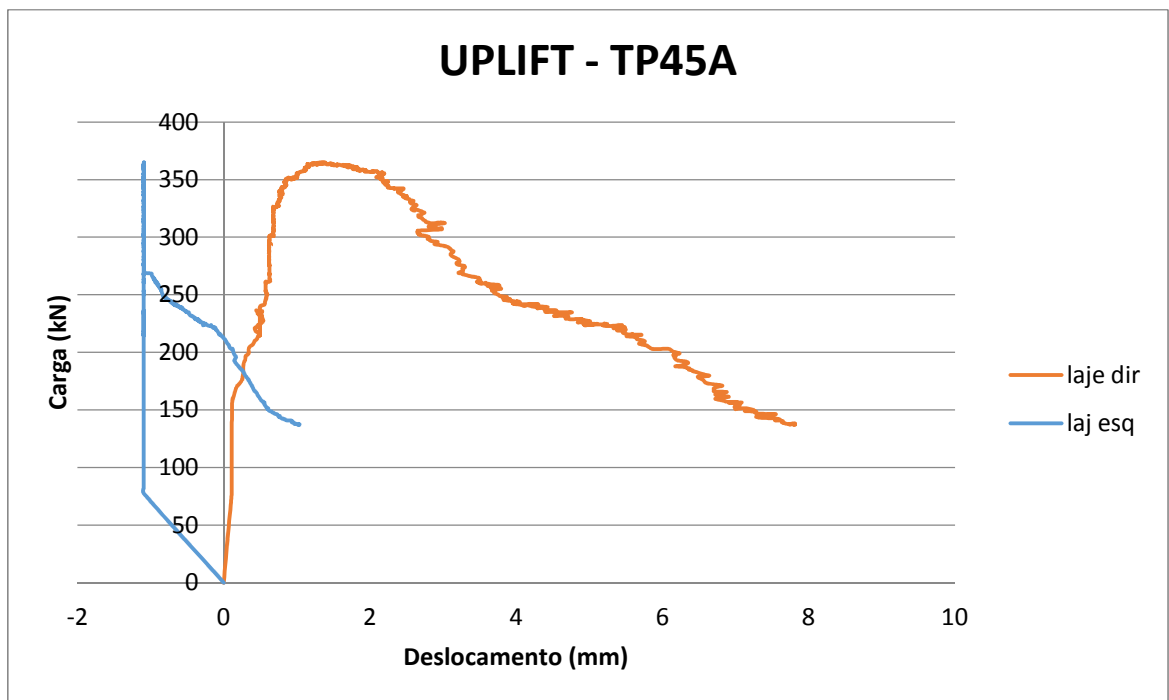
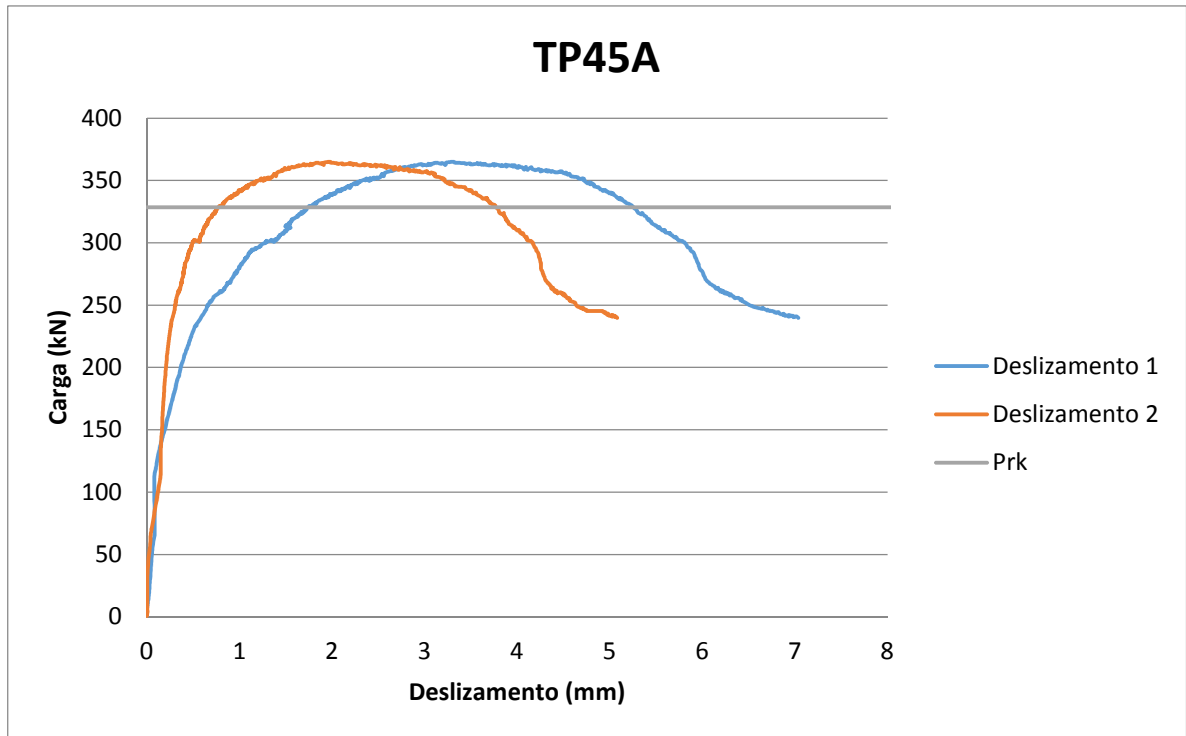


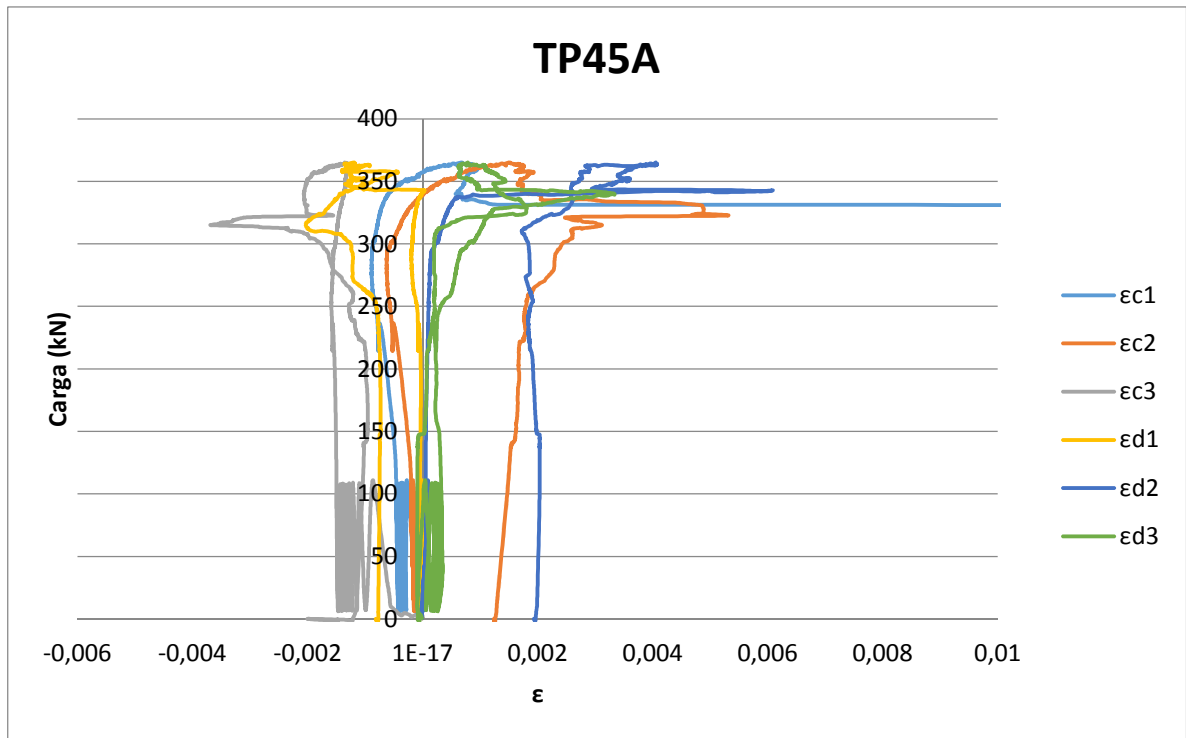
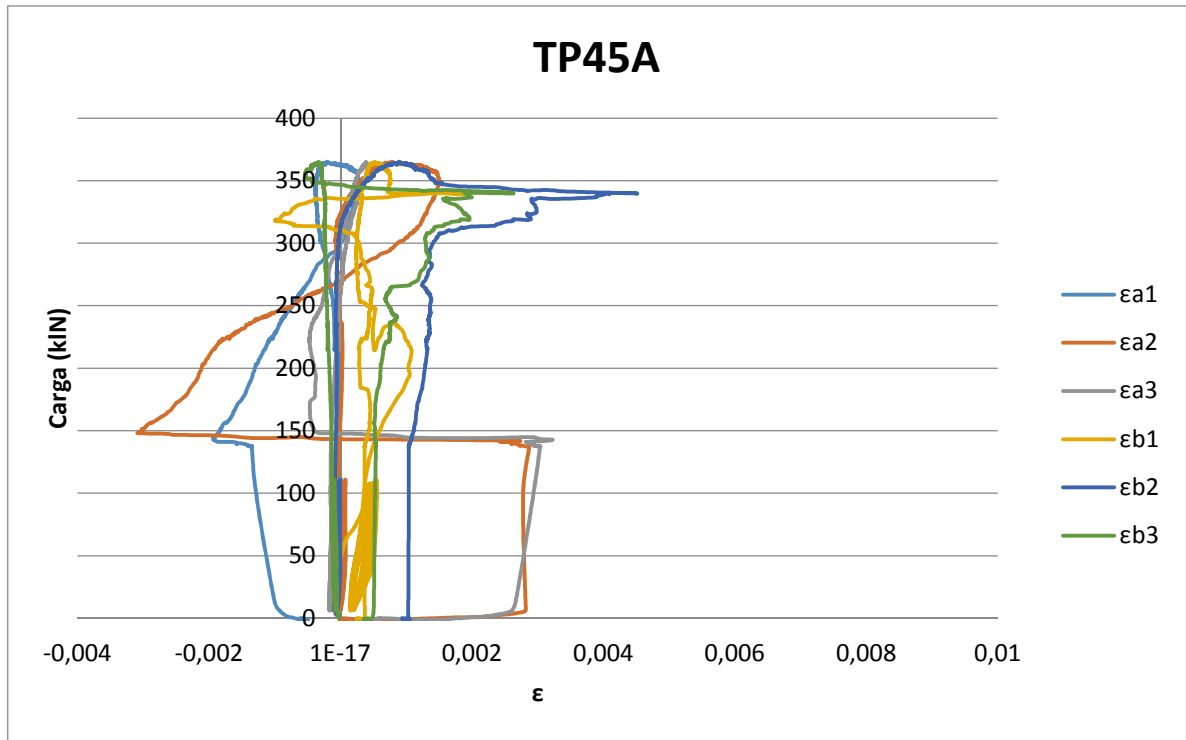


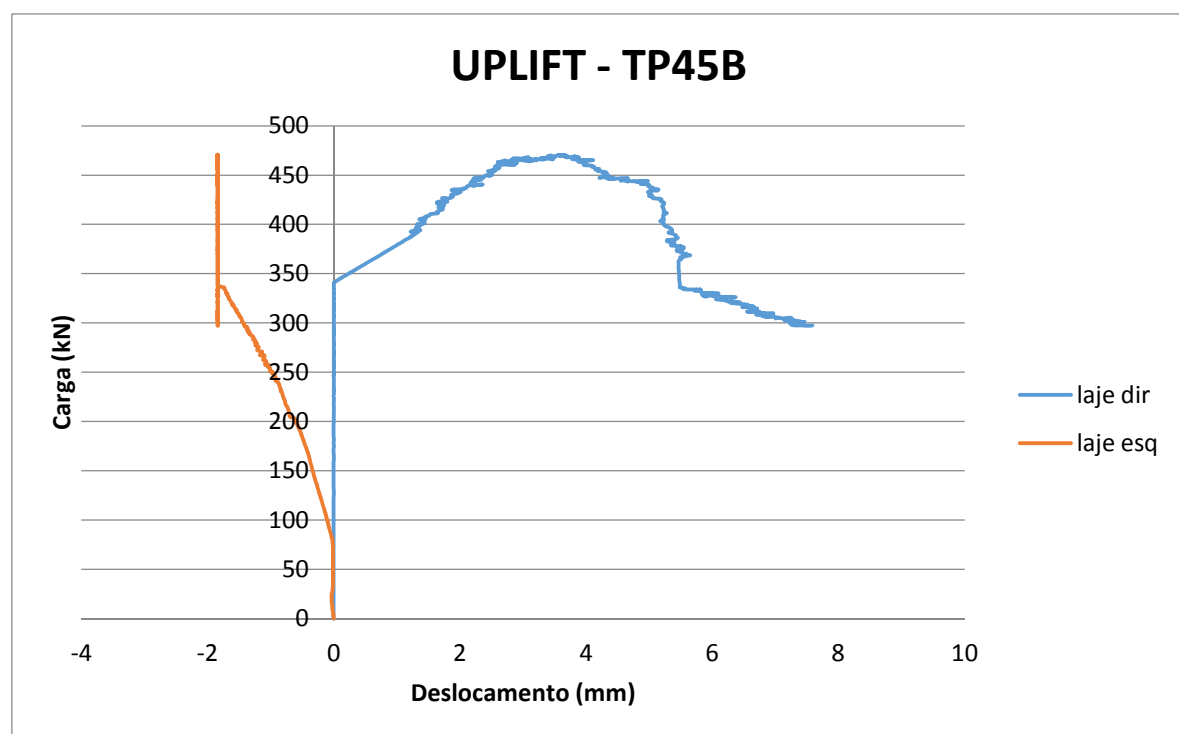
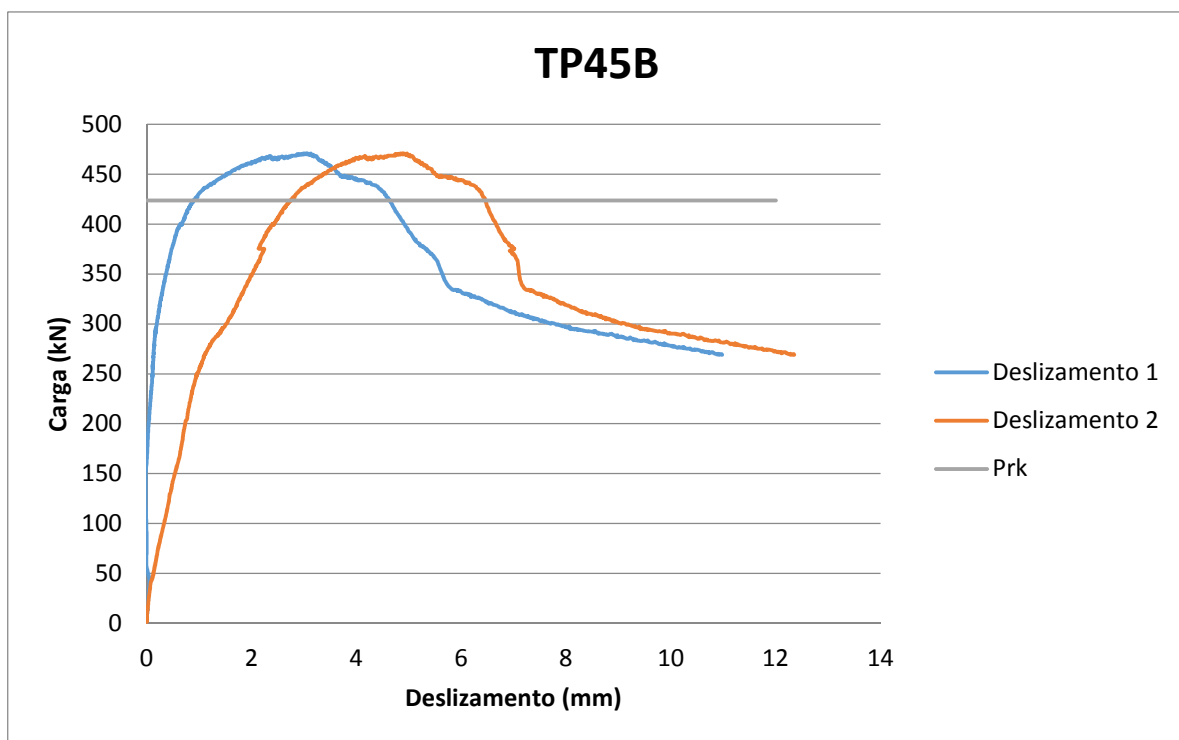


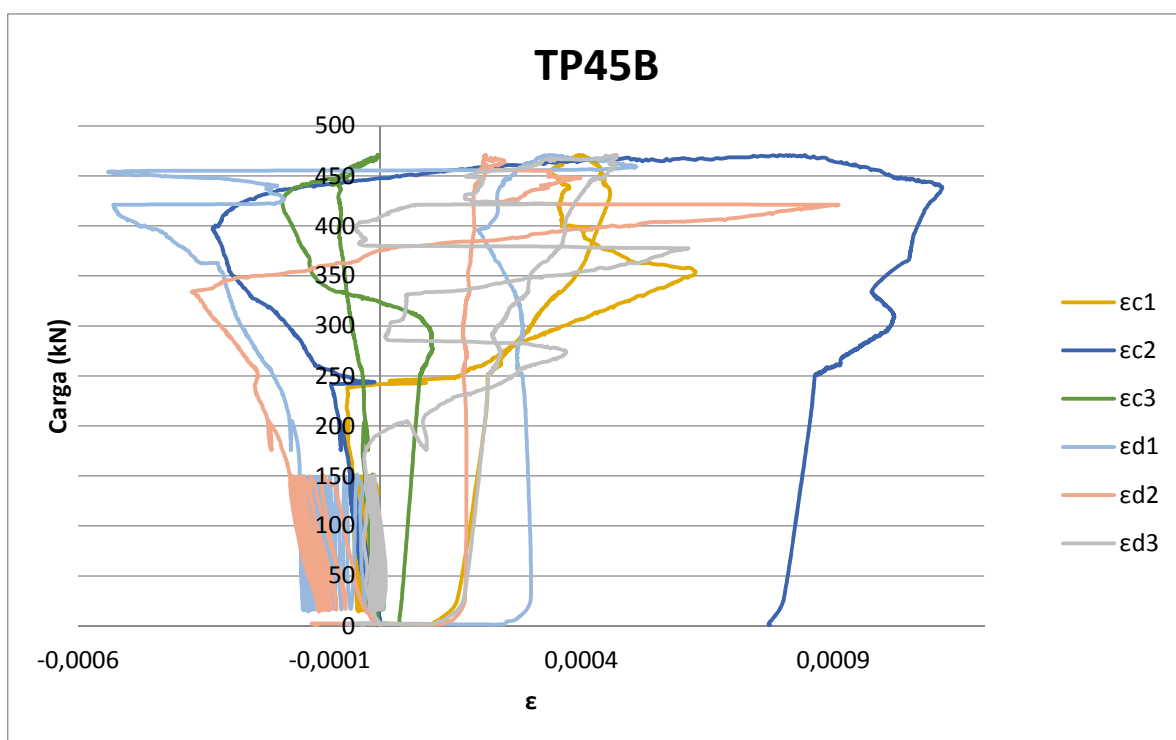
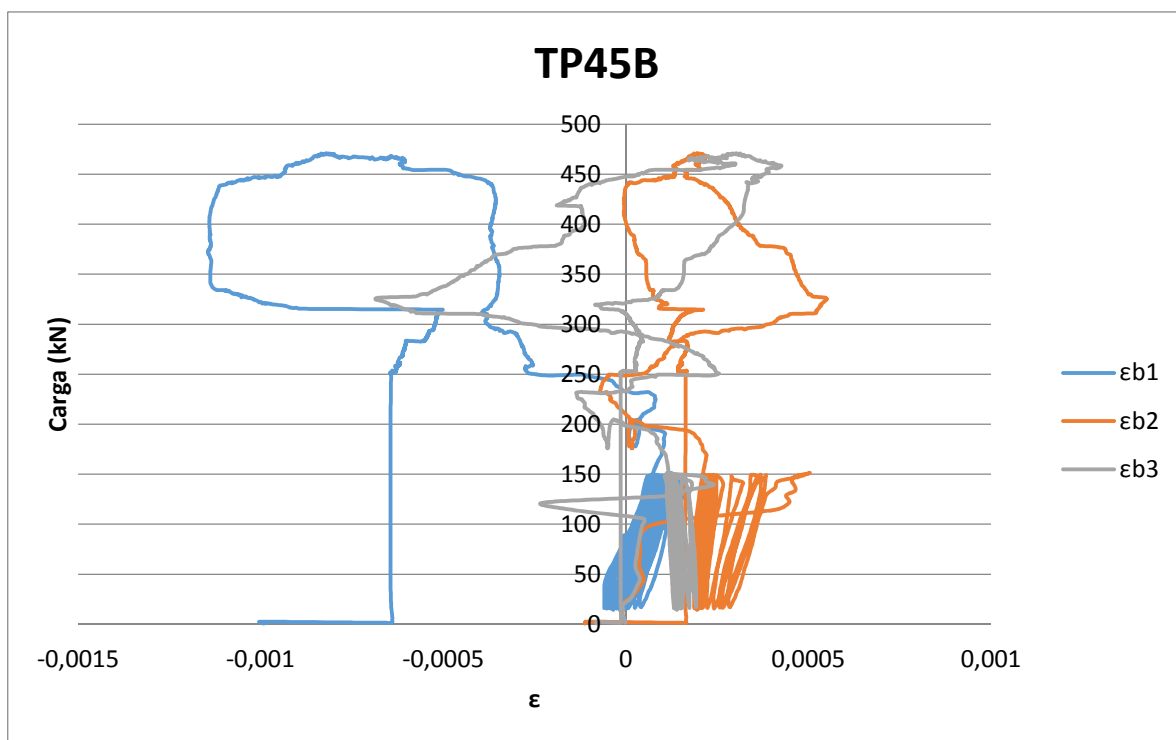


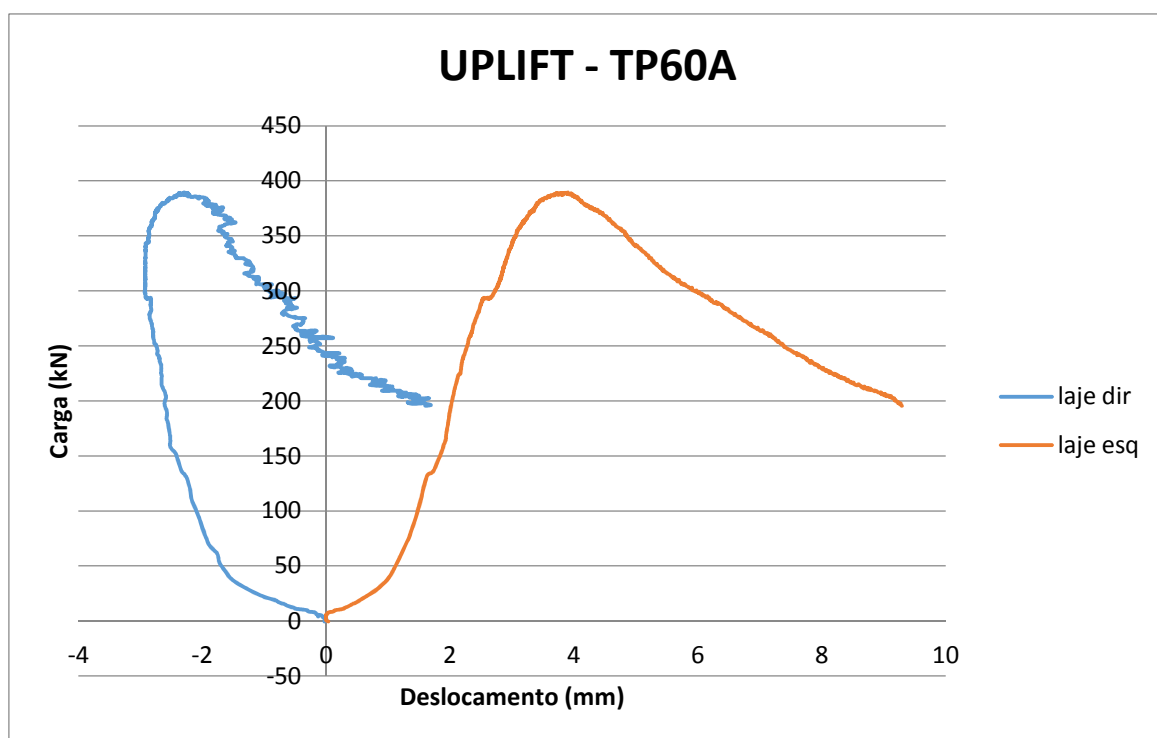
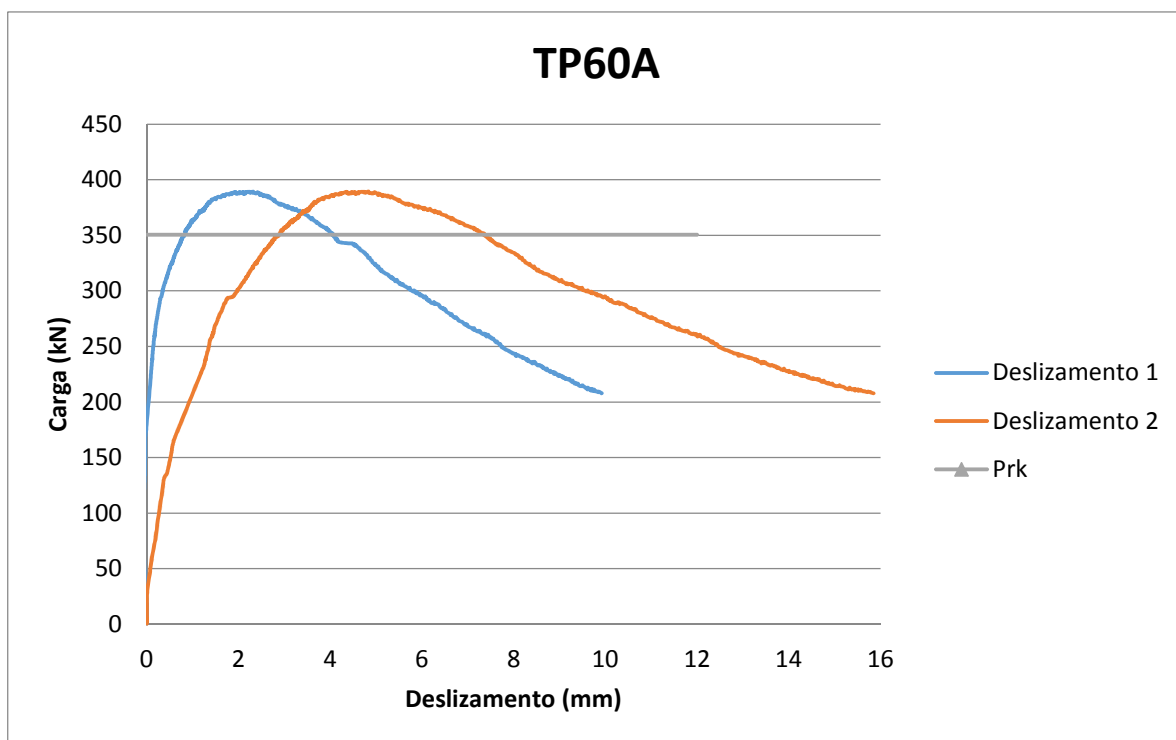


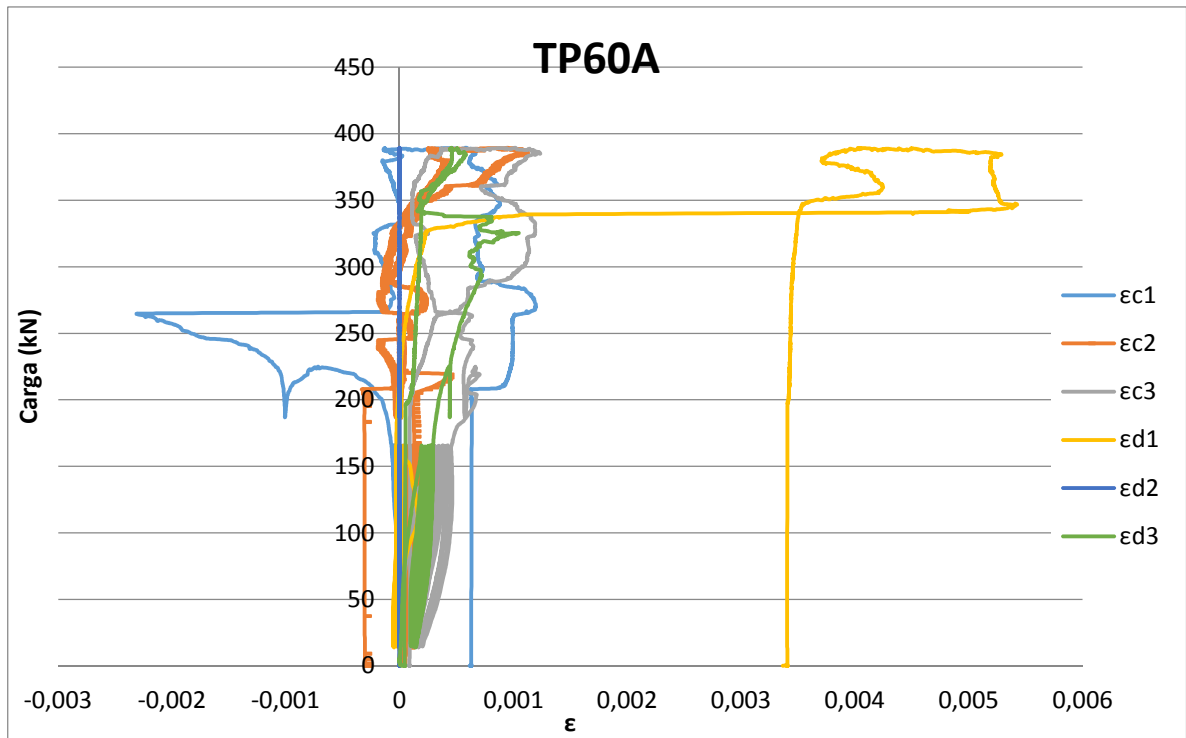
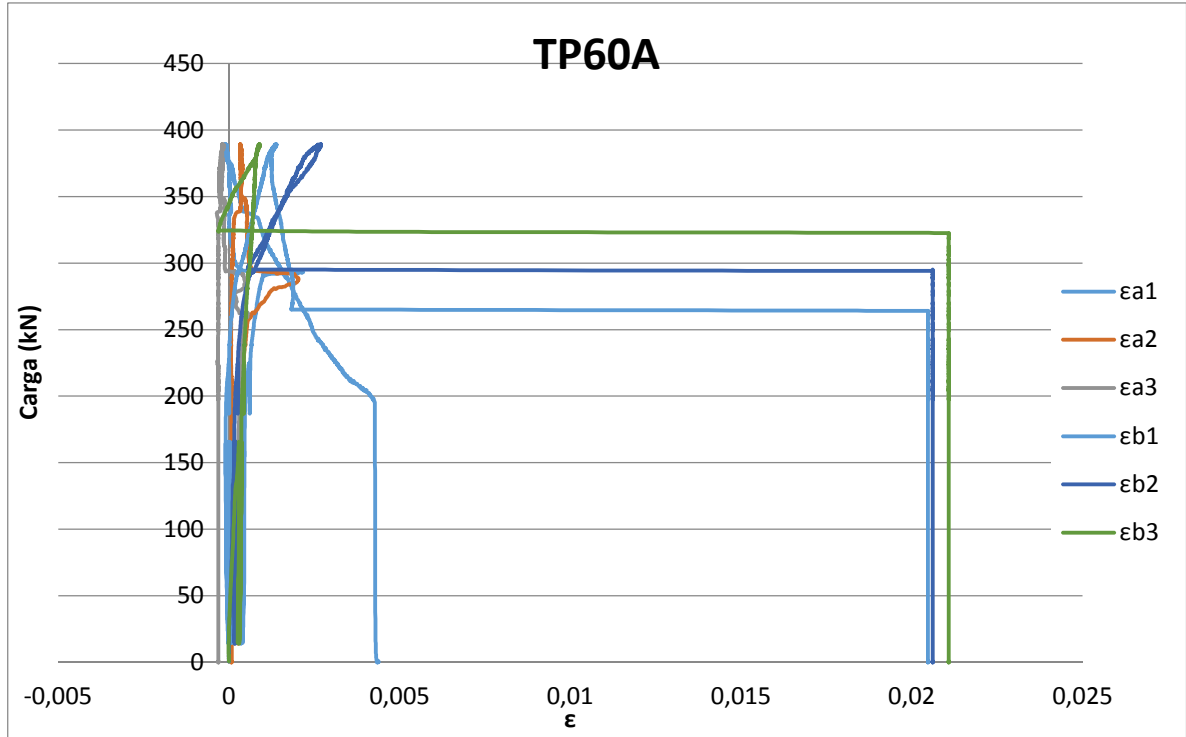


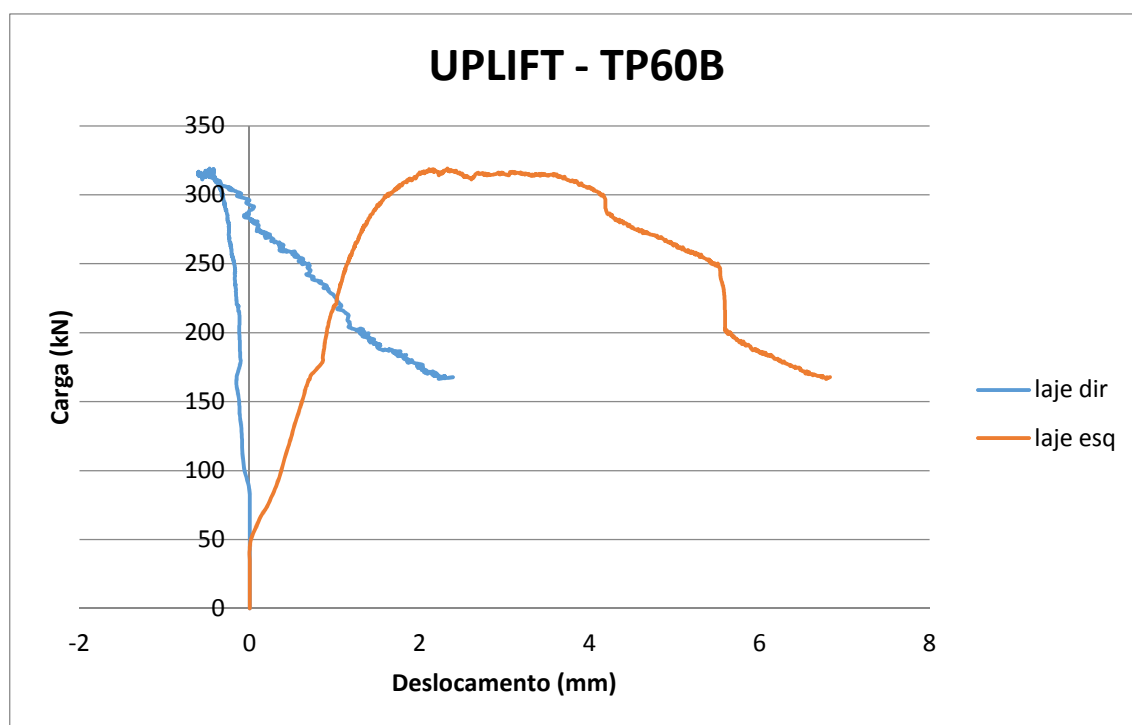
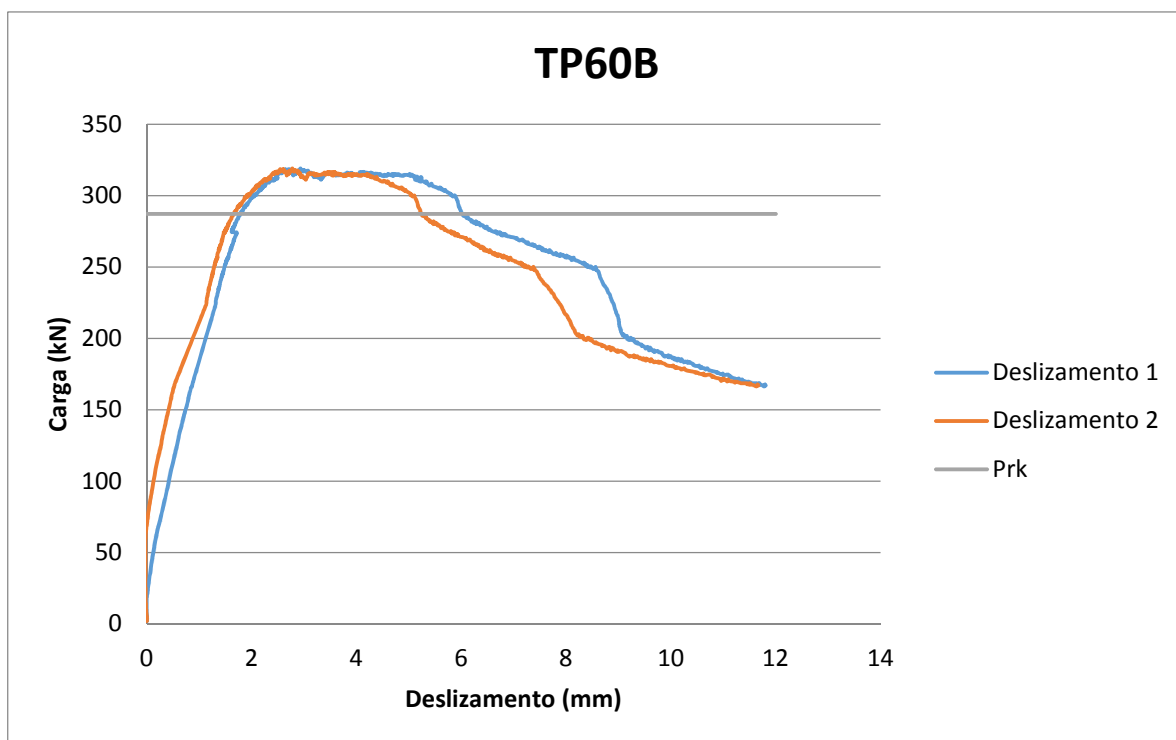


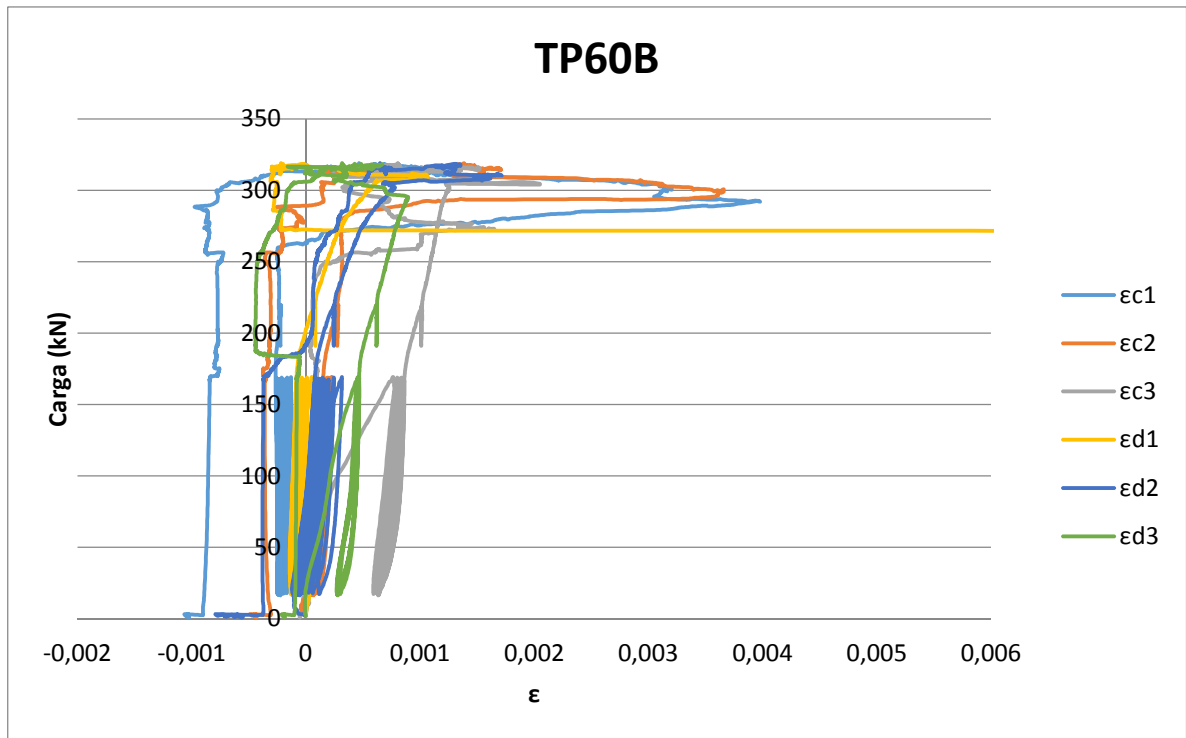
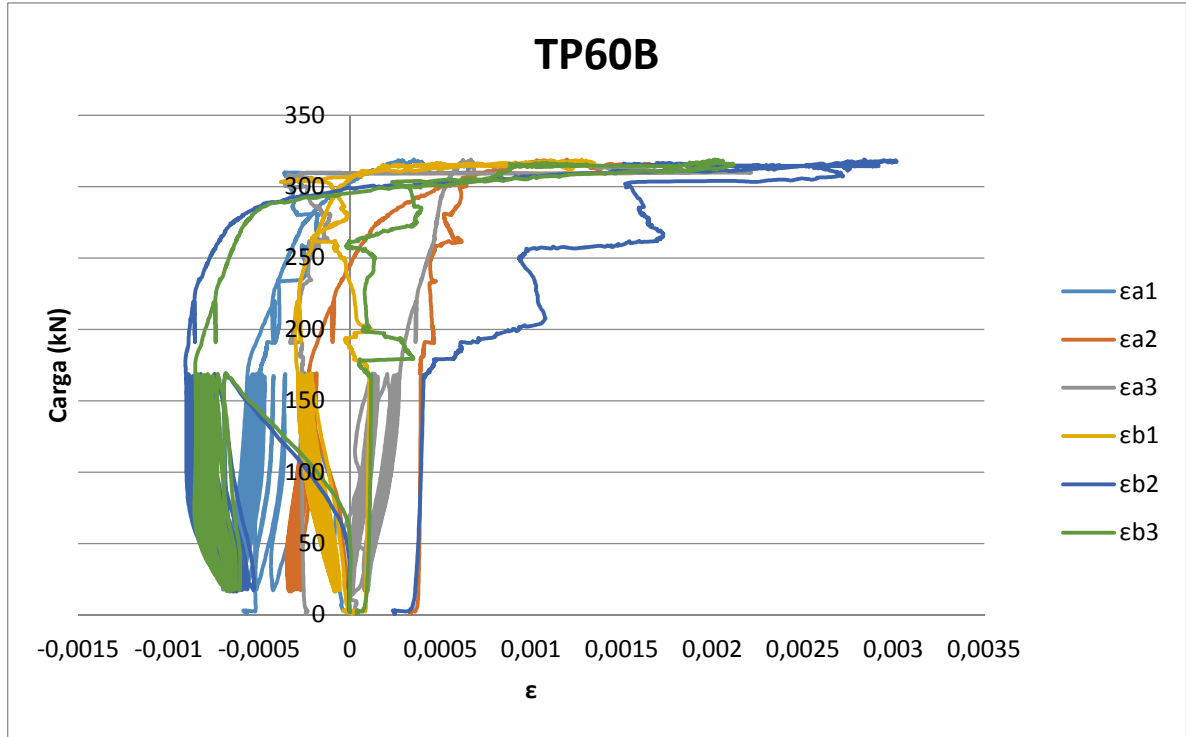


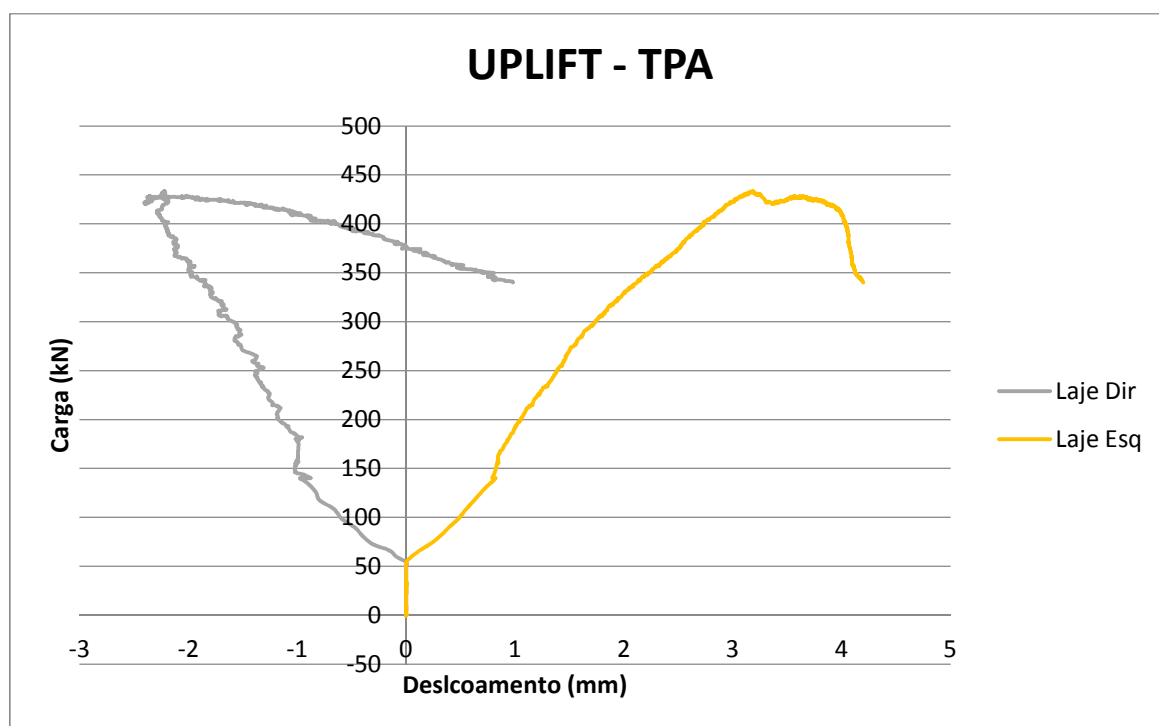
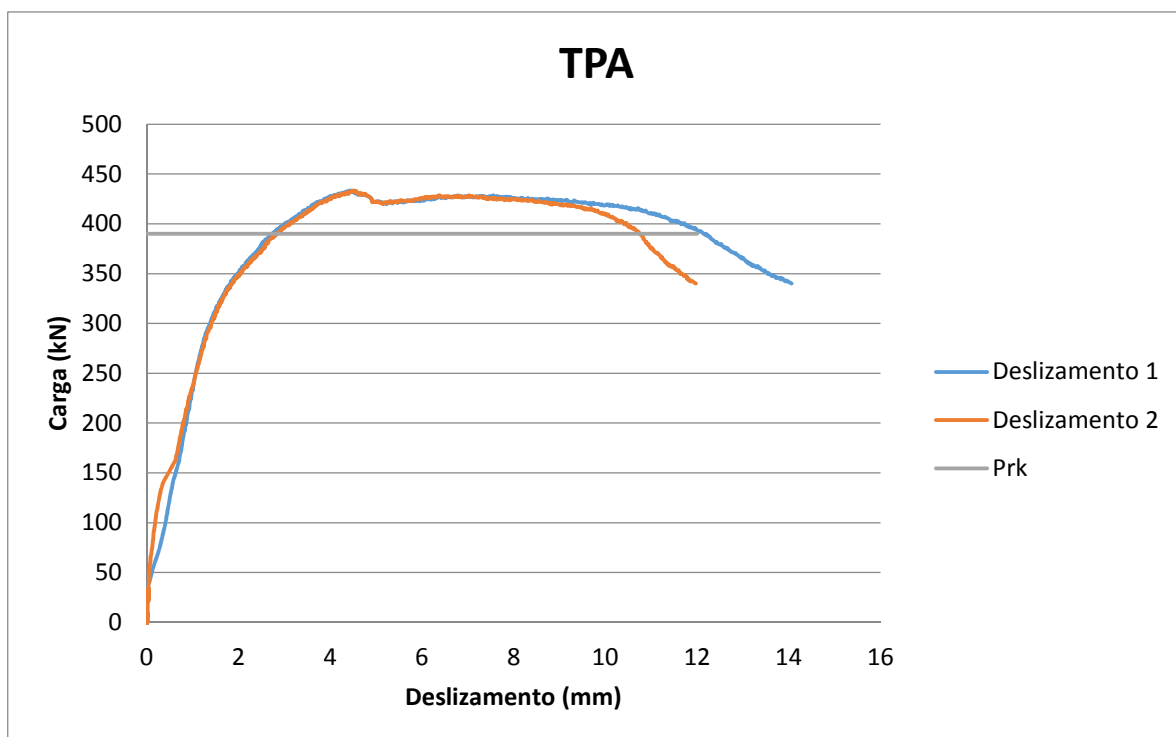


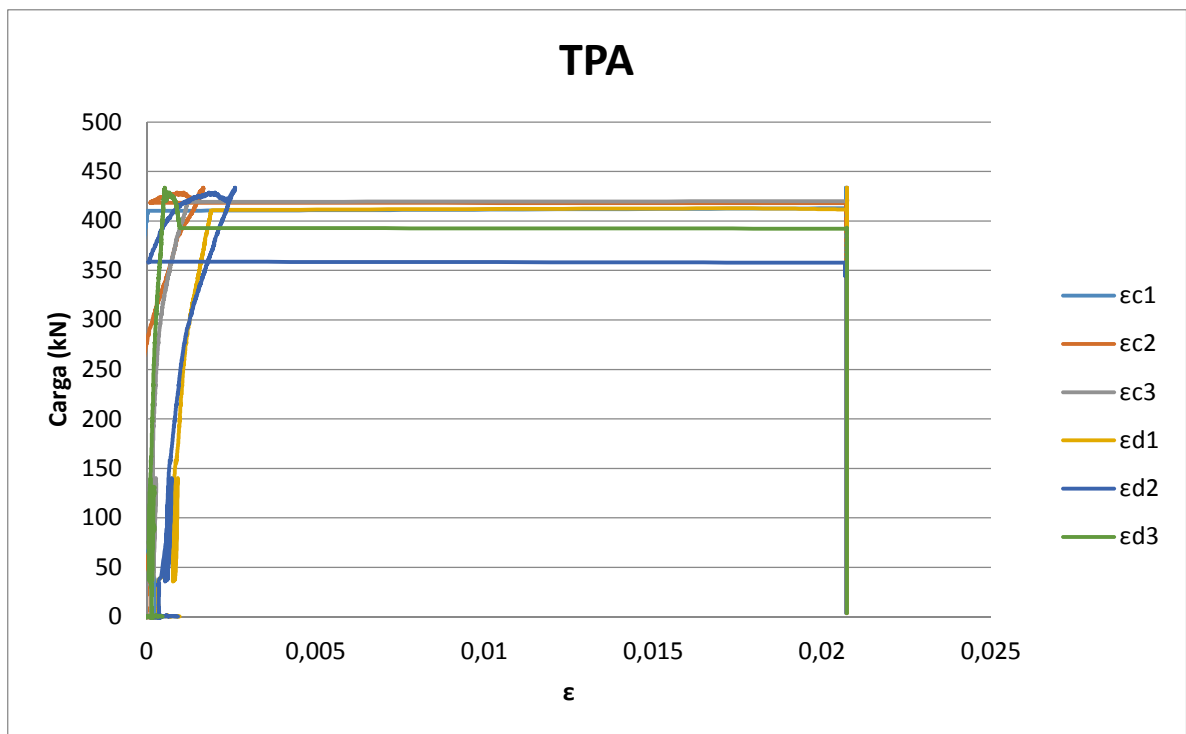
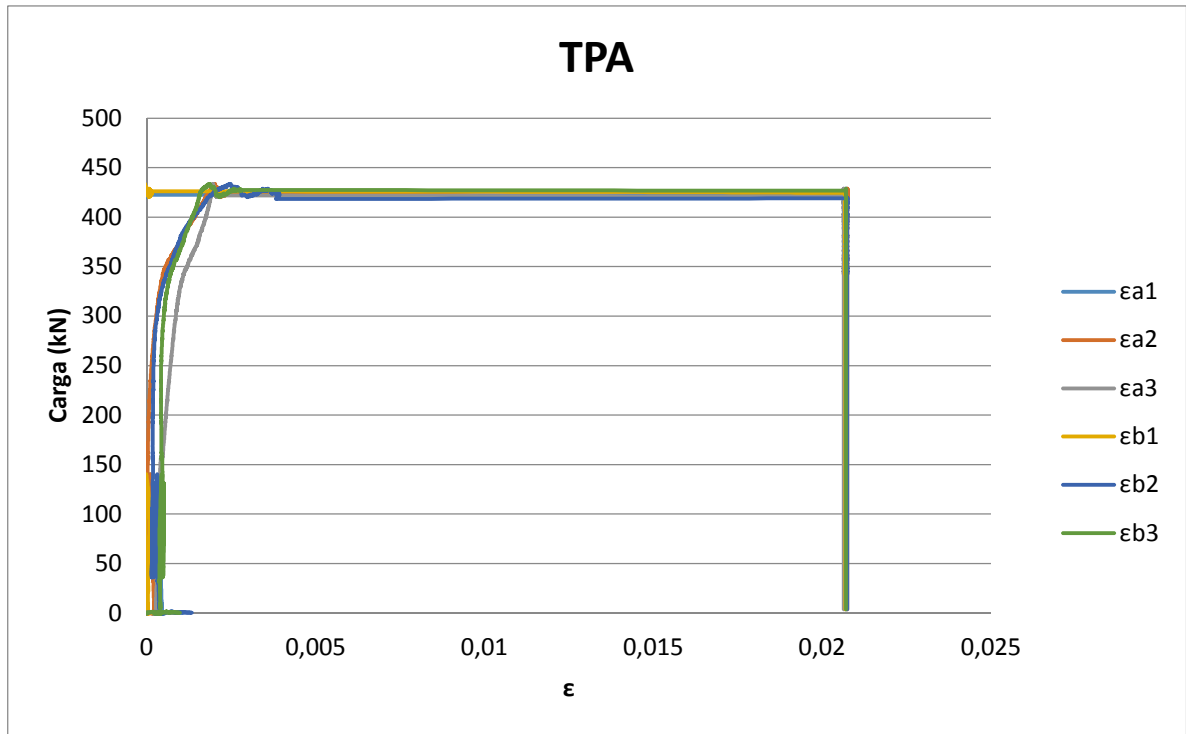


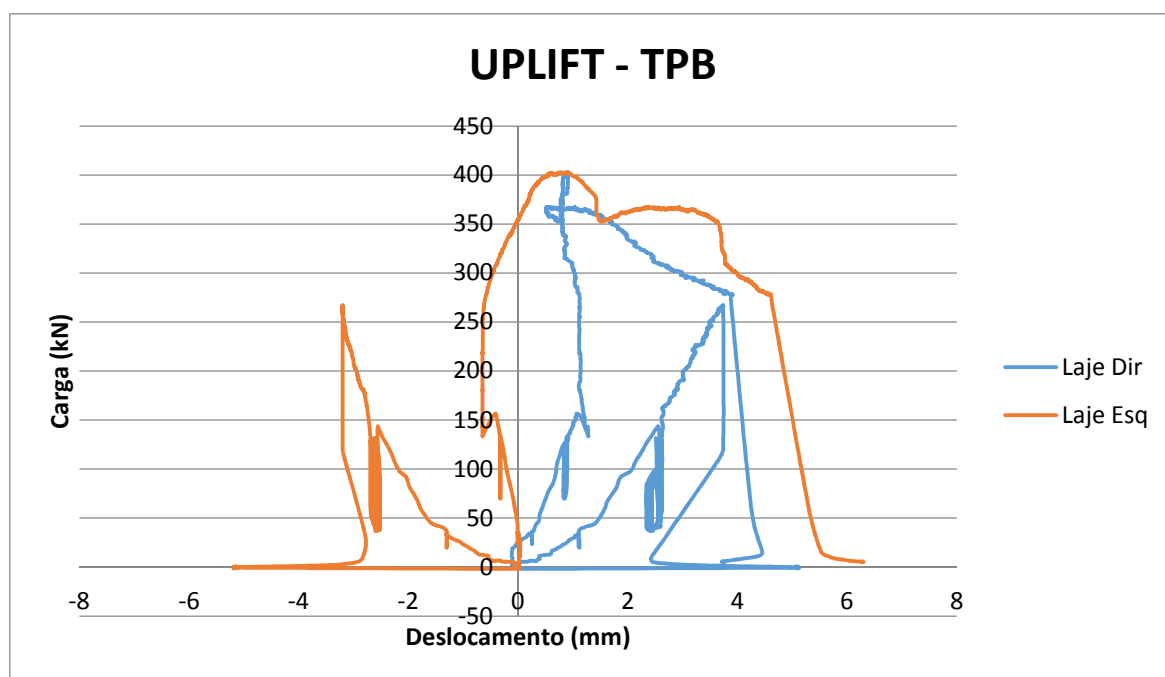
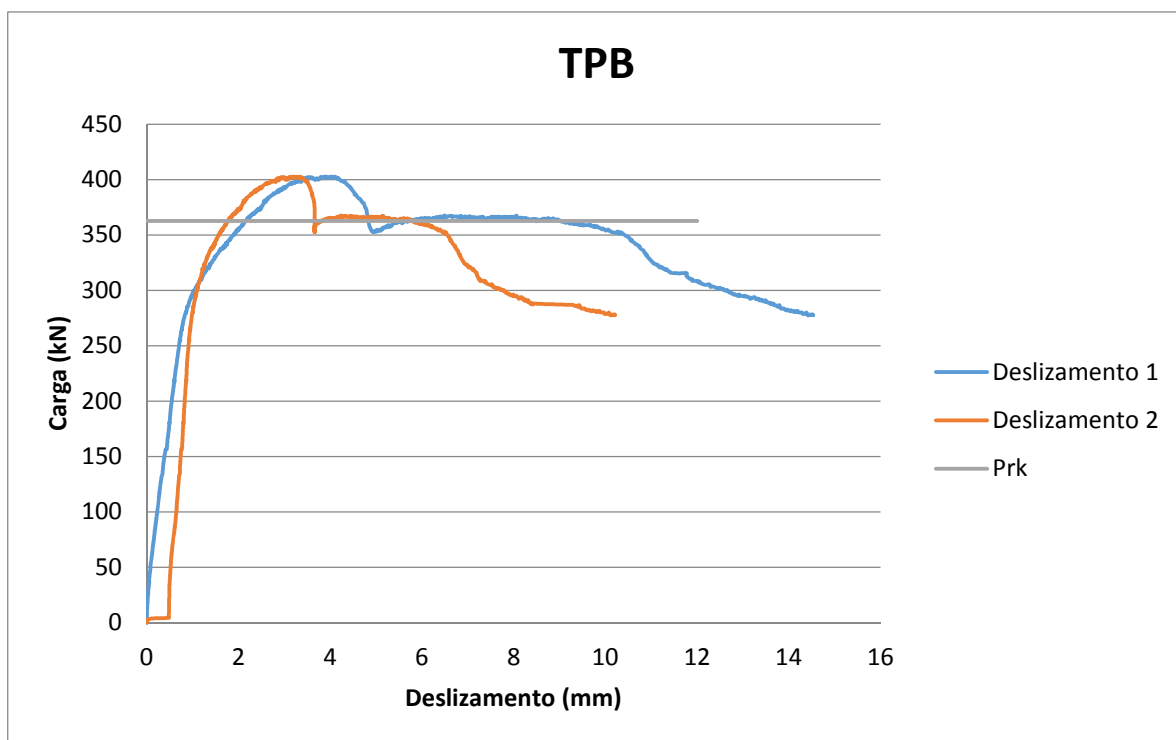


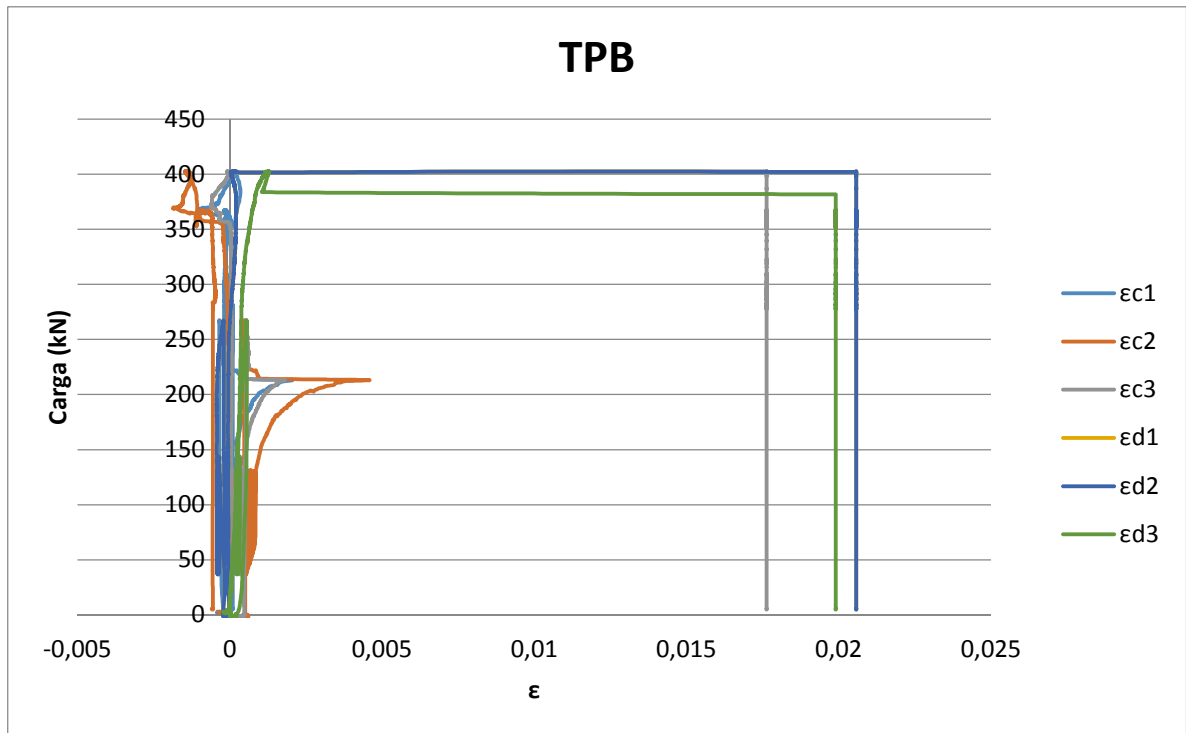
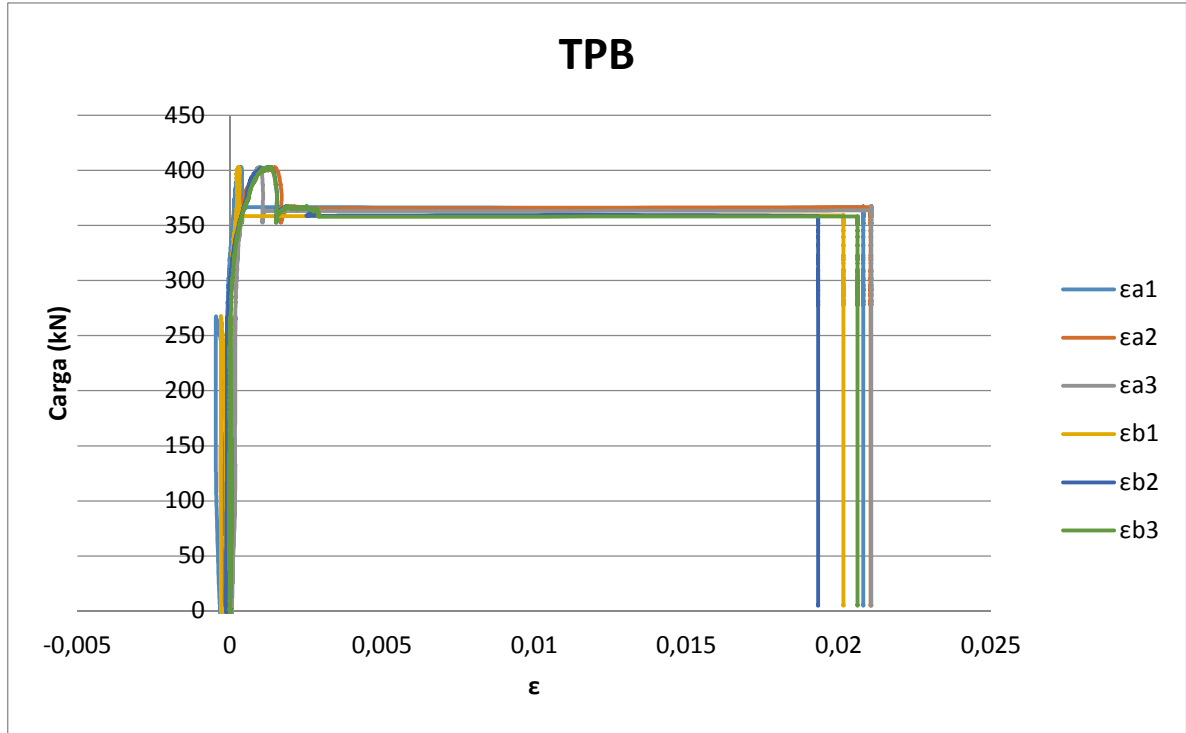












APENDICE C – RESULTADOS DOS ENSAIOS COM T-PERFOBOND COM FURO.

Abaixo serão apresentados os ensaios com os conectores T-Perfobond sem os furos, a nomenclatura adota segue apresentada abaixo:

TP60F1	1º ensaio com T-Perfobond com ângulo 60º e furo
TP60F2	2º ensaio com T-Perfobond com ângulo 60º e furo
TP60FB1	1º ensaio com T-Perfobond com ângulo 60º, com furo e barra de reforço
TP60FB2	2º ensaio com T-Perfobond com ângulo 60º, com furo e barra de reforço

As rosetas foram nomeadas de acordo com a seguinte nomenclatura, ϵ_{ni} , sendo;

ϵ a identificação de strain,

n a identificação da roseta -a, b, c, d

i a posição do strain – 1 para horizontal, 2 para 45º e 3 para 90º

