

Capítulo 4. Análises Comparativas

4.1. Idealização da Curva T-θ

As Curvas $T - \theta$ experimentais resultantes de ensaios de vigas correntes em betão armado sujeitas à torção pura até à rotura e disponíveis na literatura permitem desenhar uma Curva $T - \theta$ como a representada na Fig. 4.1, onde é possível distinguir três zonas (Zonas 1, 2 e 3) correspondentes a fases de comportamento distintas,

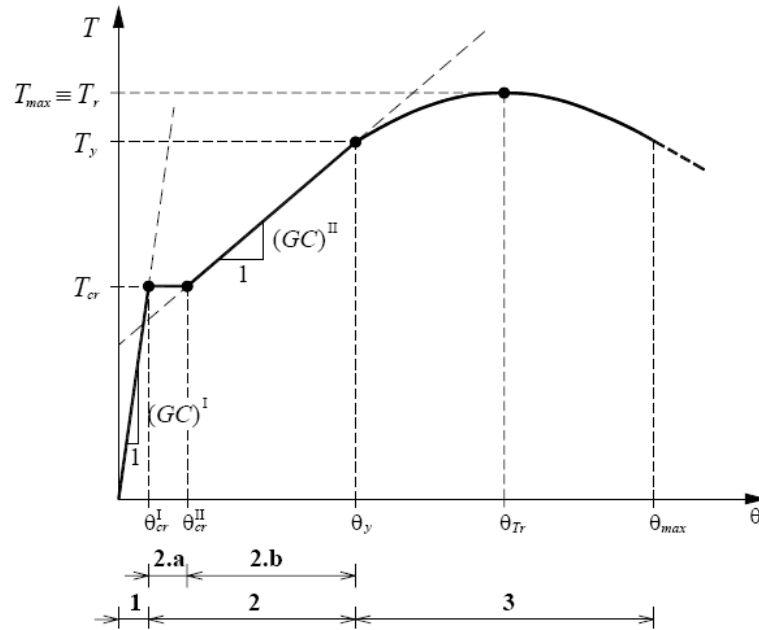


Fig. 4.1 - Curva $T - \theta$ típica para uma viga de betão armado sujeita à torção pura [13]

A Zona 1 da curva típica da Fig. 4.1 corresponde ao Estado I da viga, ou seja, à zona de comportamento da viga antes de ser atingido o momento torsor de fissuração.

Nesta zona o declive da Curva $T - \theta$ representa a rigidez elástica de St. Venant $((GC)^I)$. Nesta fase, a Curva $T - \theta$ pode ser aproximada a uma recta que tem início no ponto de coordenadas $(0;0)$ e termina no ponto de coordenadas $(\theta_{cr}^I; T_{cr})$, onde T_{cr} e θ_{cr}^I representam, respectivamente, o momento torsor de fissuração e a rotação de torção, por unidade de comprimento da viga, correspondente a T_{cr} .

A subzona 2.a da curva de comportamento corresponde ao incremento brusco da rotação, enquanto que a Subzona 2.b corresponde ao desenvolvimento recto da Curva $T - \theta$, cujo declive representa a rigidez de torção pós-fissuração $((GC)^II)$, ou seja, em Estado II. O conjunto das subzonas 2.a e 2.b corresponde ao comportamento da viga em regime fissurado e anterior à perda de comportamento linear.

O comportamento das vigas passa a ser não linear até estas atingirem o momento torsor máximo, constituindo assim a Zona 3 da curva de comportamento.

4.2. Caracterização das Curvas T-θ

Para uma validação correcta dos modelos teóricos e metodologias descritos com base numa análise comparativa entre Curvas $T - \theta$ teóricas e experimentais, torna-se necessário definir pontos e propriedades características de tais curvas sobre os quais incidirão a dita análise comparativa. Os pontos característicos escolhidos para caracterizar uma Curva $T - \theta$ qualquer são definidos pelas suas coordenadas $(\theta; T)$ no referencial. Tais coordenadas relativas aos pontos escolhidos são, de uma forma geral, as seguintes:

T_{cr} = momento torsor de fissuração;

θ_{cr}^I = rotação correspondente a T_{cr} para a zona de comportamento 1 da Fig. 4.1 (análise elástico-linear em estado não fissurado);

θ_{cr}^{II} = rotação correspondente a T_{cr} para a zona de comportamento 2.b da Fig. 4.1 (análise elástico-linear em estado fissurado);

T_{ly} = momento torsor de cedência da armadura longitudinal;

θ_{ly} = rotação correspondente a T_{ly} ;

T_{ty} = momento torsor de cedência da armadura transversal;

θ_{ty} = rotação correspondente a T_{ty} ;

T_r = momento torsor resistente (máximo);

θ_{Tr} = rotação correspondente a T_r .

Para além dos pontos definidos anteriormente através das suas coordenadas no referencial, são escolhidas as seguintes propriedades da Curva $T - \theta$:

$(GJ)^I$ = rigidez de torção na zona de comportamento 1 da Fig. 4.2 (comportamento elástico-linear em estado não fissurado);

$(GJ)^{II}$ = rigidez de torção na zona de comportamento 2.b da Fig. 4.2 (comportamento elástico-linear em estado fissurado).

Contudo Jeng e Hsu não fizeram uma análise comparativa com os seguintes parâmetros: θ_{cr}^I , θ_{ly} , $(GJ)^I$ e $(GJ)^{II}$

A Fig. 4.2 ilustra os pontos e propriedades escolhidas para caracterizar uma Curva $T - \theta$ genérica.

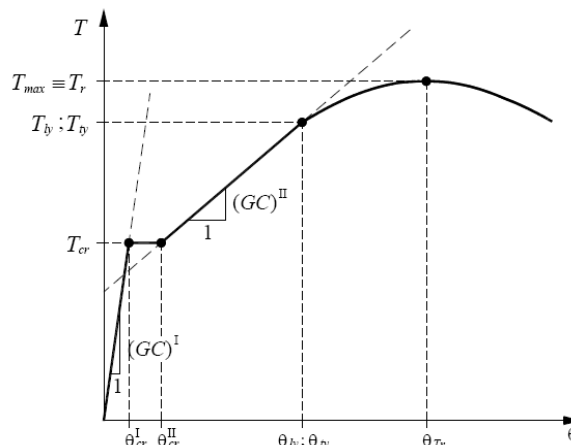


Fig. 4.2 - Caracterização de uma curva $T - \theta$ genérica [13]

4.3. Vigas de Betão Armado de Resistência Normal com Secções Rectangulares Cheias

4.3.1. Análise Elástico-Linear em Regime não Fissurado (Estado I)

Foi desenvolvida uma folha de cálculo em Excel onde foram obtidas as curvas T - θ teóricas das vigas de referência tendo por base o SMMT. Conforme o exemplo apresentado em Anexo para a viga M4 de Hsu.

4.3.2. Análise Comparativa com Resultados Experimentais

Considerou-se que o uso apenas do valor médio é insuficiente para retirar conclusões consistentes, logo optou-se por apresentar também o desvio padrão amostral (s) e o coeficiente de variação (cv) para o conjunto de relações obtidos.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.30)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.31)$$

$$cv = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \quad (4.32)$$

Tendo como base os parâmetros indicados anteriormente de seguida apresentam-se as tabelas onde foi feita a análise comparativa bem como as conclusões retiradas dessa análise.

Análises Comparativas

Tabela 4.1 - Resumo das características das vigas de referência analisadas

Viga	Tipo de Secção	x	y	t	x ₁	y ₁	A _{st}	A _{st/s}
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ² /m)
N-06-06 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	11,92	7,13
N-06-12 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	20,27	7,13
N-12-12 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	20,27	14,26
N-12-16 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	28,65	14,26
N-20-20 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	34,38	23,04
N-07-10 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	17,19	7,92
N-07-16 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	28,65	7,92
N-14-10 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	17,19	15,84
H-06-12 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	20,27	7,13
H-12-12 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	20,27	14,26
H-12-16 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	28,65	14,26
H-20-20 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	34,38	23,04
H-07-10 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	17,19	7,92
H-07-16 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	28,65	7,92
H-14-10 – Fang e Shiau (2004)	Cheia	35,00	50,00	-	30,00	45,00	17,19	15,84
A2 - McMullen e Rangan (1978)	Cheia			-				
A3 - McMullen e Rangan (1978)	Cheia			-				
A4 - McMullen e Rangan (1978)	Cheia			-				
B3 - McMullen e Rangan (1978)	Cheia			-				
B4 - McMullen e Rangan (1978)	Cheia			-				
B3 - Hsu (1968)	Cheia			-				
B4 - Hsu (1968)	Cheia			-				
B5 - Hsu (1968)	Cheia			-				
B6 - Hsu (1968)	Cheia			-				
B7 - Hsu (1968)	Cheia			-				
B8 - Hsu (1968)	Cheia			-				
B9 - Hsu (1968)	Cheia			-				
B10 - Hsu (1968)	Cheia			-				
M1 - Hsu (1968)	Cheia			-				
M2 - Hsu (1968)	Cheia			-				
M3 - Hsu (1968)	Cheia			-				
M4 - Hsu (1968)	Cheia			-				
M5 - Hsu (1968)	Cheia			-				
M6 - Hsu (1968)	Cheia			-				
I3 - Hsu (1968)	Cheia			-				
I4 - Hsu (1968)	Cheia			-				
I5 - Hsu (1968)	Cheia			-				
I6 - Hsu (1968)	Cheia			-				

Análises Comparativas

Tabela 4.1 (cont.) - Resumo das características das vigas de referência analisadas

Viga	Tipo de Secção	x	y	t	x ₁	y ₁	A _{sl}	A _{st/s}
J4 - Hsu (1968)	Cheia			-				
J3 - Hsu (1968)	Cheia			-				
J2 - Hsu (1968)	Cheia			-				
J1 - Hsu (1968)	Cheia			-				
K2 - Hsu (1968)	Cheia			-				
K3 - Hsu (1968)	Cheia			-				
K4 - Hsu (1968)	Cheia			-				
N1 - Hsu (1968)	Cheia			-				
N1a - Hsu (1968)	Cheia			-				
N2 - Hsu (1968)	Cheia			-				
N2a - Hsu (1968)	Cheia			-				
N3 - Hsu (1968)	Cheia			-				
N4 - Hsu (1968)	Cheia			-				
C4 - Hsu (1968)	Cheia			-				
C5 - Hsu (1968)	Cheia			-				
C6 - Hsu (1968)	Cheia			-				
G3 - Hsu (1968)	Cheia			-				
G4 - Hsu (1968)	Cheia			-				
G5 - Hsu (1968)	Cheia			-				
G7 - Hsu (1968)	Cheia			-				
G8 - Hsu (1968)	Cheia			-				
VM3 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VM2 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VM1 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VU1 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VU2 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VU3 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VU4 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VS2, VQ2 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VS3 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VS4, VQ5 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VS9 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VS10, VB1 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VB2 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VB3 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VB4 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				

Análises Comparativas

Tabela 4.1 (cont.) - Resumo das características das vigas de referência analisadas

Viga	Tipo de Secção	x	y	t	x ₁	y ₁	A _{sl}	A _{st} /s
VQ1 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VQ3 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				
VQ9 - Leonhardt (1974)	Cheia			-				

O Quadro 4.1 apresenta, de uma forma resumida, as características principais e necessárias para o cálculo teórico das Curvas $T - \theta$ relativas a 77 vigas ensaiadas por diversos autores, cujos resultados experimentais foram encontrados na literatura consultada.

No Quadro 4.1, os modelos experimentais de referência analisados encontram-se identificados de acordo com a designação original do autor. Além do tipo de secção, cheia ou oca, encontram-se resumidas as principais características geométricas da secção, nomeadamente: a largura (x) e a altura (y) da secção (Fig. 1.14), a espessura da parede (t , só para secções ocas) e as dimensões x_1 e y_1 referentes às dimensões médias das cintas (Fig. 1.14). O Quadro 4.1 fornece também as características mecânicas da secção, designadamente: a área de armadura longitudinal (A_{sl}), e a área distribuída de um ramo da armadura transversal (A_{st} / s), sendo s o respectivo espaçamento longitudinal.

Tabela 4.2 - Resumo das características das vigas de referência analisadas

Viga	f_{cm}	f_{lym}	f_{tym}
	(MPa)	(MPa)	(MPa)
N-06-06 – Fang e Shiau (2004)	35,50	440,00	440,00
N-06-12 – Fang e Shiau (2004)	35,50	440,00	410,00
N-12-12 – Fang e Shiau (2004)	35,50	440,00	410,00
N-12-16 – Fang e Shiau (2004)	35,50	440,00	520,00
N-20-20 – Fang e Shiau (2004)	35,50	440,00	560,00
N-07-10 – Fang e Shiau (2004)	33,50	420,00	500,00
N-07-16 – Fang e Shiau (2004)	33,50	420,00	500,00
N-14-10 – Fang e Shiau (2004)	33,50	360,00	500,00
H-06-12 – Fang e Shiau (2004)	78,50	440,00	410,00
H-12-12 – Fang e Shiau (2004)	78,50	440,00	410,00
H-12-16 – Fang e Shiau (2004)	78,50	440,00	520,00
H-20-20 – Fang e Shiau (2004)	78,50	440,00	560,00
H-07-10 – Fang e Shiau (2004)	68,40	420,00	500,00
H-07-16 – Fang e Shiau (2004)	68,40	420,00	500,00
H-14-10 – Fang e Shiau (2004)	68,40	360,00	500,00
A2 - McMullen e Rangan (1978)			
A3 - McMullen e Rangan (1978)			
A4 - McMullen e Rangan (1978)			

Análises Comparativas

Tabela 4.2 (cont.) - Resumo das características das vigas de referência analisadas

Viga	f_{cm}	f_{lym}	f_{lym}
	(MPa)	(MPa)	(MPa)
B3 - McMullen e Rangan (1978)			
B4 - McMullen e Rangan (1978)			
B3 - Hsu (1968)			
B4 - Hsu (1968)			
B5 - Hsu (1968)			
B6 - Hsu (1968)			
B7 - Hsu (1968)			
B8 - Hsu (1968)			
B9 - Hsu (1968)			
B10 - Hsu (1968)			
M1 - Hsu (1968)			
M2 - Hsu (1968)			
M3 - Hsu (1968)			
M4 - Hsu (1968)			
M5 - Hsu (1968)			
M6 - Hsu (1968)			
I3 - Hsu (1968)			
I4 - Hsu (1968)			
I5 - Hsu (1968)			
I6 - Hsu (1968)			
J4 - Hsu (1968)			
J3 - Hsu (1968)			
J2 - Hsu (1968)			
J1 - Hsu (1968)			
K2 - Hsu (1968)			
K3 - Hsu (1968)			
K4 - Hsu (1968)			
N1 - Hsu (1968)			
N1a - Hsu (1968)			
N2 - Hsu (1968)			
N2a - Hsu (1968)			
N3 - Hsu (1968)			
N4 - Hsu (1968)			
C4 - Hsu (1968)			
C5 - Hsu (1968)			
C6 - Hsu (1968)			
G3 - Hsu (1968)			
G4 - Hsu (1968)			

Tabela 4.2 (cont.) - Resumo das características das vigas de referência analisadas

Viga	f _{cm}	f _{lym}	f _{tyl}
	(MPa)	(MPa)	(MPa)
G5 - Hsu (1968)			
G7 - Hsu (1968)			
G8 - Hsu (1968)			
VM3 - Leonhardt (1974)			
VM2 - Leonhardt (1974)			
VM1 - Leonhardt (1974)			
VU1 - Leonhardt (1974)			
VU2 - Leonhardt (1974)			
VU3 - Leonhardt (1974)			
VU4 - Leonhardt (1974)			
VS2, VQ2 - Leonhardt (1974)			
VS3 - Leonhardt (1974)			
VS4, VQ5 - Leonhardt (1974)			
VS9 - Leonhardt (1974)			
VS10, VB1 - Leonhardt (1974)			
VB2 - Leonhardt (1974)			
VB3 - Leonhardt (1974)			
VB4 - Leonhardt (1974)			
VQ1 - Leonhardt (1974)			
VQ3 - Leonhardt (1974)			
VQ9 - Leonhardt (1974)			

O Quadro 4.2 identifica também as características dos materiais, designadamente: a resistência média à compressão (f_{cm}), a tensão média de cedência da armadura longitudinal (f_{lym}) e transversal (f_{tyl}).

As unidades dos vários parâmetros enunciados anteriormente encontram-se segundo o Sistema Internacional (SI), tendo-se previamente efectuado a conversão das unidades dos parâmetros nos estudos onde tal sistema não foi utilizado

A partir do Quadro 4.2 e com base na folha de cálculo desenvolvida, foi executado o cálculo teórico para todos os modelos experimentais referenciados.

Análises Comparativas

Tabela 4.3 - Análise Comparativa em estado I

Viga	$T_{cr,exp}$ (kNm)	$T_{cr,th}$ (kNm)	$\frac{T_{cr,exp}}{T_{cr,th}}$	$(GC)^I_{exp}$ (kNm ²)	$(GC)^I_{th}$ (kNm ²)	$\frac{(GC)^I_{exp}}{(GC)^I_{th}}$
N-06-06 – Fang e Shiau (2004)	43,2	55,02	0,785	642,110	55569,000	0,012
N-06-12 – Fang e Shiau (2004)	51,8	55,49	0,934	19776,000	44703,000	0,442
N-12-12 – Fang e Shiau (2004)	49,3	56,1	0,879	36796,000	32191,000	1,143
N-12-16 – Fang e Shiau (2004)	57,1	56,48	1,011	21777,000	42087,000	0,517
N-20-20 – Fang e Shiau (2004)	55	57,38	0,959	25003,000	42096,000	0,594
N-07-10 – Fang e Shiau (2004)	41,6	55,39	0,751	38215,000	42876,000	0,891
N-07-16 – Fang e Shiau (2004)	40	55,99	0,714	18546,000	34103,000	0,544
N-14-10 – Fang e Shiau (2004)	41,8	55,98	0,747	26391,000	31450,000	0,839
H-06-12 – Fang e Shiau (2004)	75	78,18	0,959	35536,000	74538,000	0,477
H-12-12 – Fang e Shiau (2004)	77,1	77,46	0,995	29026,000	63398,000	0,458
H-12-16 – Fang e Shiau (2004)	79,3	78,32	1,013	42212,000	68721,000	0,614
H-20-20 – Fang e Shiau (2004)	76	79,93	0,951	39564,000	77706,000	0,509
H-07-10 – Fang e Shiau (2004)	70,5	73,8	0,955	15862,000	63006,000	0,252
H-07-16 – Fang e Shiau (2004)	65,3	73,37	0,890	20329,000	39460,000	0,515
H-14-10 – Fang e Shiau (2004)	61,8	73,21	0,844	13540,000	55804,000	0,243
A2 - McMullen e Rangan (1978)	11,29	13,13	0,860	5230,800	5230,500	1,000
A3 - McMullen e Rangan (1978)	12,19	13,45	0,906	5639,830	5639,830	1,000
A4 - McMullen e Rangan (1978)	12,53	13,64	0,919	4410,200	6002,500	0,735
B3 - McMullen e Rangan (1978)	8,805	11,93	0,738	3579,090	3579,090	1,000
B4 - McMullen e Rangan (1978)	10,16	12,11	0,839	3579,090	3924,650	0,912
B3 - Hsu (1968)	20,09	20,61	0,975	9295,270	8938,430	1,040
B4 - Hsu (1968)	21,9	21,69	1,010	10566,900	9112,430	1,160
B5 - Hsu (1968)	22,58	21,44	1,053	10603,070	9325,370	1,137
B6 - Hsu (1968)	24,95	21,62	1,154	6806,100	10386,000	0,655
B7 - Hsu (1968)	20,21	18,7	1,081	5478,200	9475,200	0,578
B8 - Hsu (1968)	21,79	20,28	1,074	6409,900	9331,700	0,687
B9 - Hsu (1968)	19,64	20,67	0,950	7638,900	11171,000	0,684
B10 - Hsu (1968)	17,61	20,25	0,870	8276,700	8879,300	0,932
M1 - Hsu (1968)	19,19	20,88	0,919	5765,300	10897,000	0,529
M2 - Hsu (1968)	20,55	21,3	0,965	10654,140	9325,370	1,142
M3 - Hsu (1968)	20,66	20,25	1,020	4590,700	7614,800	0,603
M4 - Hsu (1968)	20,66	20,39	1,013	3904,700	8741,200	0,447
M5 - Hsu (1968)	21,67	21,14	1,025	4435,800	4752,700	0,933
M6 - Hsu (1968)	22,69	21,81	1,040	5977,800	4175,400	1,432
I3 - Hsu (1968)	25,51	25,3	1,008	3994,600	14382,000	0,278
I4 - Hsu (1968)	28	25,73	1,088	9420,600	14395,000	0,654
I5 - Hsu (1968)	28,11	26,17	1,074	5055,500	13985,000	0,361

Análises Comparativas

Tabela 4.3 (cont.) - Análise Comparativa em estado I

Viga	$T_{cr,exp}$ (kNm)	$T_{cr,th}$ (kNm)	$\frac{T_{cr,exp}}{T_{cr,th}}$	$(GC)_{exp}^I$ (kNm ²)	$(GC)_{th}^I$ (kNm ²)	$\frac{(GC)_{exp}^I}{(GC)_{th}^I}$
I6 - Hsu (1968)	27,54	26,78	1,028	3496,000	7823,800	0,447
J4 - Hsu (1968)	17,95	16,15	1,111	3628,100	3069,900	1,182
J3 - Hsu (1968)	16,93	16,12	1,050	3112,400	2899,500	1,073
J2 - Hsu (1968)	17,05	14,87	1,147	1948,900	5008,900	0,389
J1 - Hsu (1968)	14	14,72	0,951	2089,900	4761,300	0,439
K2 - Hsu (1968)	12,19	12,15	1,003	1735,100	1207,000	1,438
K3 - Hsu (1968)	12,42	12,02	1,033	1701,200	3619,000	0,470
K4 - Hsu (1968)	13,1	12,16	1,077	2992,100	2712,700	1,103
N1 - Hsu (1968)	7,586	6,544	1,159	1044,900	257,740	4,054
N1a - Hsu (1968)	7,022	6,461	1,087	1060,700	2052,400	0,517
N2 - Hsu (1968)	7,439	6,727	1,106	855,920	1908,200	0,449
N2a - Hsu (1968)	7,496	6,515	1,151	437,420	1775,600	0,246
N3 - Hsu (1968)	7,406	6,365	1,164	1325,800	548,860	2,416
N4 - Hsu (1968)	7,597	6,453	1,177	1086,600	787,480	1,380
C4 - Hsu (1968)	11,85	11,56	1,025	4753,100	1907,300	2,492
C5 - Hsu (1968)	14	11,74	1,193	3141,000	2019,700	1,555
C6 - Hsu (1968)	13,89	12	1,158	3699,300	4569,800	0,810
G3 - Hsu (1968)	27,09	29,23	0,927	3165,200	11995,000	0,264
G4 - Hsu (1968)	28,67	30,19	0,950	5673,100	14837,000	0,382
G5 - Hsu (1968)	29,46	29,79	0,989	4150,100	13172,000	0,315
G7 - Hsu (1968)	33,64	31,24	1,077	2780,600	13881,000	0,200
G8 - Hsu (1968)	33,64	30,32	1,109	15661,180	14028,540	1,116
VM3 - Leonhardt (1974)		61,88	0	13084,000	41613,000	0,314
VM2 - Leonhardt (1974)		24,96	0	15145,000	5184,600	2,921
VM1 - Leonhardt (1974)		7,668	0	1927,300	3309,300	0,582
VU1 - Leonhardt (1974)		18,82	0	5221,800	9767,500	0,535
VU2 - Leonhardt (1974)		18,88	0	5221,800	7395,200	0,706
VU3 - Leonhardt (1974)		18,43	0	5883,900	7019,100	0,838
VU4 - Leonhardt (1974)		18,4	0	4784,400	7829,800	0,611
VS2, VQ2 - Leonhardt (1974)		18,55	0	3371,000	7348,200	0,459
VS3 - Leonhardt (1974)		18,64	0	3992,100	8713,400	0,458
VS4, VQ5 - Leonhardt (1974)		18,71	0	6699,300	7756,900	0,864
VS9 - Leonhardt (1974)		17,85	0	3518,600	7237,200	0,486
VS10, VB1 - Leonhardt (1974)		18,7	0	8977,900	7964,800	1,127
VB2 - Leonhardt (1974)		21,79	0	12350,000	9177,700	1,346
VB3 - Leonhardt (1974)		25,88	0	10218,000	13815,000	0,740
VB4 - Leonhardt (1974)		28,61	0	7166,700	16233,000	0,441

Análises Comparativas

Tabela 4.3 (cont.) - Análise Comparativa em estado I

Viga	T _{cr,exp} (kNm)	T _{cr,th} (kNm)	$\frac{T_{cr,exp}}{T_{cr,th}}$	(GC) ^I _{exp} (kNm ²)	(GC) ^I _{th} (kNm ²)	$\frac{(GC)^I_{exp}}{(GC)^I_{th}}$
VQ1 - Leonhardt (1974)		19,6	0	6921,800	8503,200	0,814
VQ3 - Leonhardt (1974)		15,97	0	7175,000	6146,100	1,167
VQ9 - Leonhardt (1974)		14,32	0	2311,900	4098,200	0,564
		média	0,994		média	0,827
		s	0,117		s	0,621
		cv	11,725		cv	75,121

Dos cálculos teóricos efectuados, obtiveram-se os resultados expostos nos Quadros 4.3 e 4.4. Os referidos quadros resumem também, para uma análise comparativa, os valores experimentais dos pontos e propriedades características referentes às vigas de referência, quando estes se encontram disponíveis. Tais dados experimentais são transcritos a partir dos resultados publicados pelos vários autores. Muitas das publicações apresentam apenas parcialmente os valores numéricos dos dados pretendidos. Para completar a informação requerida, a metodologia seguida foi a de obter, na medida do possível, a informação directamente a partir das Curvas $T - \theta$ experimentais desenhadas e publicadas.

O Quadro 4.3 resume a análise comparativa efectuada e referente à fase elástico-linear em Estado I. Para tal, são indicados os valores experimentais do momento torsor de fissuração ($T_{cr,exp}$) e da rigidez de torção em Estado I ($(GC)^I_{exp}$). Encontram-se também indicados os valores teóricos calculados para o momento torsor de fissuração com base nas diversas teorias apresentadas. São também indicados os valores teóricos calculados para a rigidez de torção em Estado I ($(GC)^I_{th}$).

Encontram-se também apresentados os valores das relações entre o valor experimental e o correspondente valor teórico dos vários parâmetros, com vista a facilitar a análise comparativa entre a teoria usada. No final de cada coluna referente à relação entre os valores experimentais e teóricos, apresenta-se a título indicativo (visto não se possuir um número significativo de vigas) o respectivo valor médio (X_m), desvio padrão amostral (s) em vez do usual desvio padrão (σ) e o coeficiente de variação (cv).

Em relação ao momento torsor de fissuração devido à média pode-se concluir que apresenta valores óptimos, contudo em relação ao coeficiente de variação este apresenta um valor relativamente baixo. Em relação a rotação devido à média pode-se concluir que apresenta valores óptimos, contudo em relação ao coeficiente de variação este apresenta um valor extremamente grande.

Estes resultados já tinham sido obtidos por Jeng e Hsu, no entanto o presente estudo só veio a comprovar a grande dispersão dos resultados.

Análises Comparativas

Tabela 4.4 - Análise Comparativa em estado II

Viga	$(T_0)_{exp}$ (kNm)	$(T_0)_{th}$ (kNm)	$\frac{T_{0,esp}}{T_{0,th}}$	$(GC)_{exp}^{II}$ (kNm ²)	$(GC)_{th}^{II}$ (kNm ²)	$\frac{(GC)_{exp}^{II}}{(GC)_{th}^{II}}$
N-06-06 – Fang e Shiau (2004)	14,109	26,044	0,542	2725,200	1849,300	1,474
N-06-12 – Fang e Shiau (2004)	48,973	44,144	1,109	1291,300	1396,000	0,925
N-12-12 – Fang e Shiau (2004)	48,062	55,697	0,863	1674,700	1675,400	1,000
N-12-16 – Fang e Shiau (2004)	53,449	58,772	0,909	2316,500	1752,900	1,322
N-20-20 – Fang e Shiau (2004)	50,178	64,367	0,780	3704,900	2283,300	1,623
N-07-10 – Fang e Shiau (2004)	43,201	39,415	1,096	1530,600	1720,800	0,889
N-07-16 – Fang e Shiau (2004)	43,719	44,684	0,978	1495,500	1801,900	0,830
N-14-10 – Fang e Shiau (2004)	45,518	51,355	0,886	1545,900	513,550	3,010
H-06-12 – Fang e Shiau (2004)	76,276	59,169	1,289	1227,400	1354,600	0,906
H-12-12 – Fang e Shiau (2004)	69,659	58,154	1,198	2419,800	2714,100	0,892
H-12-16 – Fang e Shiau (2004)	72,368	69,754	1,037	3594,100	2652,600	1,355
H-20-20 – Fang e Shiau (2004)	69,642	86,391	0,806	4160,400	3043,100	1,367
H-07-10 – Fang e Shiau (2004)	68,819	60,271	1,142	1592,600	1221,600	1,304
H-07-16 – Fang e Shiau (2004)	57,746	60,863	0,949	2390,500	1691,000	1,414
H-14-10 – Fang e Shiau (2004)	53,097	58,685	0,905	2151,500	2276,100	0,945
A2 - McMullen e Rangan (1978)	10,515	7,808	1,347	191,890	337,970	0,568
A3 - McMullen e Rangan (1978)	10,960	19,960	0,549	353,190	353,190	1,000
A4 - McMullen e Rangan (1978)	12,421	15,292	0,812	360,070	304,210	1,184
B3 - McMullen e Rangan (1978)	7,989	7,989	1,000	294,186	294,186	1,000
B4 - McMullen e Rangan (1978)	8,203	9,267	0,885	395,113	380,143	1,039
B3 - Hsu (1968)	16,717	17,306	0,966	560,794	677,444	0,828
B4 - Hsu (1968)	19,109	17,643	1,083	775,771	940,946	0,824
B5 - Hsu (1968)	20,213	18,055	1,120	913,138	1975,171	0,462
B6 - Hsu (1968)	32,179	27,533	1,169	483,620	629,270	0,769
B7 - Hsu (1968)	18,145	16,877	1,075	208,010	221,570	0,939
B8 - Hsu (1968)	20,606	18,268	1,128	304,630	360,530	0,845
B9 - Hsu (1968)	19,519	16,392	1,191	214,270	333,880	0,642
B10 - Hsu (1968)	20,531	20,849	0,985	310,680	264,400	1,175
M1 - Hsu (1968)	18,972	14,156	1,340	268,210	402,400	0,667
M2 - Hsu (1968)	17,982	18,055	0,996	588,659	572,103	1,029
M3 - Hsu (1968)	20,879	18,921	1,103	443,250	488,220	0,908
M4 - Hsu (1968)	23,300	22,695	1,027	481,990	466,940	1,032
M5 - Hsu (1968)	27,939	27,625	1,011	484,010	452,920	1,069
M6 - Hsu (1968)	28,841	33,061	0,872	642,870	403,000	1,595
I3 - Hsu (1968)	26,187	17,153	1,527	447,610	887,690	0,504
I4 - Hsu (1968)	7,451	24,000	0,310	1271,700	836,590	1,520
I5 - Hsu (1968)	32,285	28,377	1,138	783,470	825,310	0,949

Análises Comparativas

Tabela 4.4 (cont.) - Análise Comparativa em estado II

Viga	$(T_0)_{exp}$ (kNm)	$(T_0)_{th}$ (kNm)	$\frac{T_{0,esp}}{T_{0,th}}$	$(GC)_{exp}^{II}$ (kNm ²)	$(GC)_{th}^{II}$ (kNm ²)	$\frac{(GC)_{exp}^{II}}{(GC)_{th}^{II}}$
I6 - Hsu (1968)	35,566	36,922	0,963	843,960	733,550	1,151
J4 - Hsu (1968)	20,611	26,588	0,775	363,470	138,220	2,630
J3 - Hsu (1968)	20,791	21,369	0,973	287,480	194,950	1,475
J2 - Hsu (1968)	18,541	13,851	1,339	217,050	233,940	0,928
J1 - Hsu (1968)	14,577	11,782	1,237	146,200	216,820	0,674
K2 - Hsu (1968)	12,410	11,458	1,083	203,250	217,800	0,933
K3 - Hsu (1968)	13,777	13,445	1,025	216,400	205,680	1,052
K4 - Hsu (1968)	17,332	16,044	1,080	230,720	225,690	1,022
N1 - Hsu (1968)	7,599	4,077	1,864	15,492	90,159	0,172
N1a - Hsu (1968)	7,534	4,040	1,865	15,887	84,724	0,188
N2 - Hsu (1968)	7,732	5,990	1,291	76,657	104,470	0,734
N2a - Hsu (1968)	6,911	7,394	0,935	80,403	74,895	1,074
N3 - Hsu (1968)	7,663	4,397	1,743	37,424	103,470	0,362
N4 - Hsu (1968)	8,616	8,135	1,059	82,329	83,072	0,991
C4 - Hsu (1968)	15,516	18,104	0,857	137,410	149,120	0,921
C5 - Hsu (1968)	20,282	21,484	0,944	145,330	126,240	1,151
C6 - Hsu (1968)	24,614	15,558	1,582	102,520	341,900	0,300
G3 - Hsu (1968)	31,690	22,641	1,400	340,240	762,190	0,446
G4 - Hsu (1968)	31,809	30,756	1,034	691,810	781,510	0,885
G5 - Hsu (1968)	33,680	42,955	0,784	675,720	491,130	1,376
G7 - Hsu (1968)	34,725	25,607	1,356	406,840	861,520	0,472
G8 - Hsu (1968)	27,197	23,188	1,173	1265,010	1197,578	1,056
VM3 - Leonhardt (1974)	48,166	29,028	1,659	1069,000	1638,200	0,653
VM2 - Leonhardt (1974)	12,341	23,204	0,532	608,420	282,170	2,156
VM1 - Leonhardt (1974)	7,765	5,624	1,381	73,787	92,449	0,798
VU1 - Leonhardt (1974)	20,007	14,983	1,335	67,598	148,140	0,456
VU2 - Leonhardt (1974)	20,007	14,509	1,379	67,598	294,620	0,229
VU3 - Leonhardt (1974)	17,190	12,369	1,390	197,740	300,130	0,659
VU4 - Leonhardt (1974)	15,823	12,858	1,231	174,690	230,580	0,758
VS2, VQ2 - Leonhardt (1974)	12,047	8,866	1,359	158,720	311,430	0,510
VS3 - Leonhardt (1974)	18,855	12,766	1,477	155,850	315,260	0,494
VS4, VQ5 - Leonhardt (1974)	17,799	16,729	1,064	262,110	273,950	0,957
VS9 - Leonhardt (1974)	13,178	11,312	1,165	140,200	203,220	0,690
VS10, VB1 - Leonhardt (1974)	16,997	15,788	1,077	255,000	278,430	0,916
VB2 - Leonhardt (1974)	22,156	17,942	1,235	294,910	341,730	0,863
VB3 - Leonhardt (1974)	23,742	19,579	1,213	267,840	408,740	0,655
VB4 - Leonhardt (1974)	27,966	13,883	2,014	267,920	654,080	0,410

Análises Comparativas

Tabela 4.4 (cont.) - Análise Comparativa em estado II

Viga	$(T_0)_{exp}$ (kNm)	$(T_0)_{th}$ (kNm)	$\frac{T_{0,exp}}{T_{0,th}}$	$(GC)_{exp}^{II}$ (kNm ²)	$(GC)_{th}^{II}$ (kNm ²)	$\frac{(GC)_{exp}^{II}}{(GC)_{th}^{II}}$
VQ1 - Leonhardt (1974)	15,118	10,543	1,434	132,480	280,420	0,472
VQ3 - Leonhardt (1974)	12,636	8,813	1,434	151,890	249,320	0,609
VQ9 - Leonhardt (1974)	12,480	8,742	1,428	126,630	191,370	0,662
		média	1,134			0,945
		s	0,303			0,476
		cv	26,733			50,412

O Quadro 4.4 resume a análise comparativa efectuada e referente à fase elástico-linear em Estado II. Para tal, são indicados os valores experimentais da ordenada na origem $(T_0)_{exp}$ somente para as secções cheias, e da rigidez de torção em Estado II $(GC)_{exp}^{II}$.

Os parâmetros enunciados anteriormente são calculados, de uma forma aproximada, a partir da porção da curva experimental $T - \theta$ que se pode considerar recta. Para tal, é executada uma análise de regressão linear com os pontos que definem a referida porção da Curva $T - \theta$, por forma a determinar a equação da referida recta.

A partir desta equação facilmente se obtêm os parâmetros referidos. No Quadro 4.4 são também indicados os valores teóricos calculados para os mesmos parâmetros $(T_0)_{th}$ e $(GC)_{th}^{II}$.

O Quadro 4.4 apresenta também à relação entre os valores experimentais e teóricos, apresenta-se e a título indicativo o respectivo valor médio (X_m), desvio padrão amostral (s) em vez do usual desvio padrão (σ) e o coeficiente de variação (cv).

Em relação a ordenada na origem e a rigidez de torção em estado II conclui-se que devido a média ambos os parâmetros apresentam valores bastante aceitáveis. Contudo existe uma grande dispersão nos resultados o que demonstra que o SMMT tem alguma dificuldade em prever o comportamento das vigas em estado fissurado.

Análises Comparativas

Tabela 4.5 - Análise Comparativa para a fase não linear

Vigas	$T_{u,exp}$ (°/m)	$T_{u,th}$ (°/m)	$\frac{T_{u,exp}}{T_{u,th}}$	$\theta_{tu,exp}$ (°/m)	$\theta_{tu,th}$ (°/m)	$\frac{\theta_{tu,exp}}{\theta_{tu,th}}$
N-06-06 – Fang e Shiau (2004)	79,7	84,07	0,948	56,6	48,75	1,161
N-06-12 – Fang e Shiau (2004)	95,2	98,58	0,966	40,4	48,98	0,825
N-12-12 – Fang e Shiau (2004)	116,8	135,27	0,863	47,8	59,61	0,802
N-12-16 – Fang e Shiau (2004)	138	137,1	1,007	40,2	55,25	0,728
N-20-20 – Fang e Shiau (2004)	158	152,2	1,038	30,5	50,09	0,609
N-07-10 – Fang e Shiau (2004)	111,7	105,5	1,059	50,8	50,69	1,002
N-07-16 – Fang e Shiau (2004)	117,3	110,3	1,063	55,2	42,71	1,292
N-14-10 – Fang e Shiau (2004)	125	126,5	0,988	58,8	49,91	1,178
H-06-12 – Fang e Shiau (2004)	115,1	114,9	1,002	25,4	54,8	0,464
H-12-12 – Fang e Shiau (2004)	155,3	156	0,996	37,8	41,6	0,909
H-12-16 – Fang e Shiau (2004)	196	175,5	1,117	39,3	45,47	0,864
H-20-20 – Fang e Shiau (2004)	239	220,3	1,085	46,5	55,11	0,844
H-07-10 – Fang e Shiau (2004)	126,7	120,1	1,055	33,2	58,31	0,569
H-07-16 – Fang e Shiau (2004)	144,5	126,4	1,143	37,5	44,83	0,836
H-14-10 – Fang e Shiau (2004)	135,2	143,2	0,944	38,1	45,57	0,836
A2 - McMullen e Rangan (1978)	22,58	21,96	1,028	69,4	51,91	1,337
A3 - McMullen e Rangan (1978)	27,77	30,2	0,920	56,35	59,09	0,954
A4 - McMullen e Rangan (1978)	34,43	36,28	0,949	69,4	86,03	0,807
B3 - McMullen e Rangan (1978)	25,29	27,74	0,912	82,46	71,91	1,147
B4 - McMullen e Rangan (1978)	31,72	32,45	0,978	79,02	93,14	0,848
B3 - Hsu (1968)	37,48	45,01	0,833	51,54	60,6	0,850
B4 - Hsu (1968)	47,3	53,39	0,886	57,03	68,67	0,830
B5 - Hsu (1968)	56,11	54,41	1,031	61,84	63,03	0,981
B6 - Hsu (1968)	61,64	56,2	1,097	65,28	59,23	1,102
B7 - Hsu (1968)	26,87	27,47	0,978	48,1	61,82	0,778
B8 - Hsu (1968)	32,51	30,68	1,060		43,83	-
B9 - Hsu (1968)	29,8	30,91	0,964	50,85	59,04	0,861
B10 - Hsu (1968)	34,32	31,99	1,073	54,97	41,66	1,182
M1 - Hsu (1968)	30,37	30,23	1,005	43,98	46,5	0,701
M2 - Hsu (1968)	40,53	39,43	1,028	51,54	62,77	0,951
M3 - Hsu (1968)	43,8	43,49	1,007	53,6	54,2	0,842
M4 - Hsu (1968)	49,56	47,24	1,049	57,72	63,66	0,927
M5 - Hsu (1968)	55,65	51,61	1,078	62,53	62,24	1,018
M6 - Hsu (1968)	60,06	55,29	1,086		61,43	-
I3 - Hsu (1968)	45,61	50,69	0,900	47,41	41,14	0,973
I4 - Hsu (1968)	58,02	62,74	0,925		48,74	-
I5 - Hsu (1968)	70,67	73,62	0,960	53,6	69,33	0,817

Análises Comparativas

Tabela 4.5 (cont.) - Análise Comparativa para a fase não linear

Vigas	$T_{u,exp}$ (°/m)	$T_{u,th}$ (°/m)	$\frac{T_{u,exp}}{T_{u,th}}$	$\theta_{tu,exp}$ (°/m)	$\theta_{tu,th}$ (°/m)	$\frac{\theta_{tu,exp}}{\theta_{tu,th}}$
I6 - Hsu (1968)	76,65	77,58	0,988	54,97	65,58	1,153
J4 - Hsu (1968)	40,64	34,26	1,186	58,41	47,68	0,945
J3 - Hsu (1968)	35,22	32,16	1,095	54,97	61,84	0,820
J2 - Hsu (1968)	29,13	26,84	1,085	51,54	67,05	0,890
J1 - Hsu (1968)	21,45	22,74	0,943	46,04	57,92	0,691
K2 - Hsu (1968)	23,71	24,96	0,950		66,64	-
K3 - Hsu (1968)	28,45	29,64	0,960	75,59	93,38	0,903
K4 - Hsu (1968)	35	31,54	1,110	85,89	83,69	1,575
N1 - Hsu (1968)	9,088	9,053	1,004	75,59	54,53	1,416
N1a - Hsu (1968)	8,986	9,005	0,998	75,59	53,37	0,958
N2 - Hsu (1968)	14,45	14,26	1,013	85,89	78,93	0,909
N2a - Hsu (1968)	13,21	14,09	0,938	84,52	94,44	1,065
N3 - Hsu (1968)	12,19	12,49	0,976	81,77	79,35	0,794
N4 - Hsu (1968)	15,69	15,08	1,040	89,33	103	1,169
C4 - Hsu (1968)	25,29	27,98	0,904	77,65	76,39	1,437
C5 - Hsu (1968)	29,69	29,71	0,999	84,52	54,03	1,586
C6 - Hsu (1968)	34,21	32,12	1,065	91,39	53,29	2,106
G3 - Hsu (1968)	49,56	54,05	0,917	50,85	43,4	0,975
G4 - Hsu (1968)	64,8	66,91	0,968	53,6	52,18	0,892
G5 - Hsu (1968)	71,91	70,85	1,015	54,28	60,11	1,532
G7 - Hsu (1968)	52,61	55,87	0,942	44,66	35,43	0,702
G8 - Hsu (1968)	73,38	70,49	1,041	49,47	63,66	1,295
VM3 - Leonhardt (1974)	100,8	98,71	1,021	41,92	38,21	0,961
VM2 - Leonhardt (1974)	39,17	38,37	1,021	63,9	43,62	0,554
VM1 - Leonhardt (1974)	13,89	13,07	1,063	98,26	115,4	1,335
VU1 - Leonhardt (1974)	23,93	24,08	0,994	51,54	73,6	0,792
VU2 - Leonhardt (1974)	30,37	31,21	0,973	71,46	65,08	1,166
VU3 - Leonhardt (1974)	31,04	30,17	1,029	72,15	61,28	1,156
VU4 - Leonhardt (1974)	25,96	24,45	1,062	56,35	62,44	1,259
VS2, VQ2 - Leonhardt (1974)	19,53	22,71	0,860	46,73	44,76	0,716
VS3 - Leonhardt (1974)	28,56	31,14	0,917	76,96	65,3	1,039
VS4, VQ5 - Leonhardt (1974)	34,32	34,49	0,995	70,78	74,08	0,839
VS9 - Leonhardt (1974)	21,56	26,58	0,811	63,22	84,38	0,836
VS10, VB1 - Leonhardt (1974)	33,3	34,02	0,979	68,71	75,64	0,805
VB2 - Leonhardt (1974)	42,11	42,49	0,991	73,52	85,33	1,157
VB3 - Leonhardt (1974)	46,4	50,25	0,923	76,96	63,53	1,395
VB4 - Leonhardt (1974)	48,54	51,4	0,944	74,9	55,16	1,358

Análises Comparativas

Tabela 4.5 (cont.) - Análise Comparativa para a fase não linear

Vigas	$T_{u,exp}$ (°/m)	$T_{u,th}$ (°/m)	$\frac{T_{u,exp}}{T_{u,th}}$	$\theta_{tu,exp}$ (°/m)	$\theta_{tu,th}$ (°/m)	$\frac{\theta_{tu,exp}}{\theta_{tu,th}}$
VQ1 - Leonhardt (1974)	21,11	22,09	0,956	57,03	45,19	1,262
VQ3 - Leonhardt (1974)	19,98	22,15	0,902	52,22	57,56	0,907
VQ9 - Leonhardt (1974)	21,9	22,26	0,984	81,08	72,7	1,115
		média	0,995		média	1,004
		s	0,071		s	0,278
		cv	7,188		cv	27,721

O Quadro 4.5 resume a análise comparativa efectuada e referente à não linear. Para tal, são indicados os valores experimentais do momento torsor resistente ($T_{u,exp}$) somente para as secções cheias, e da rotação ($\theta_{tu,exp}$).

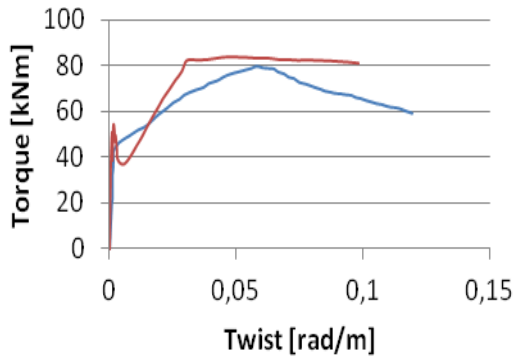
No Quadro 4.5 são também indicados os valores teóricos calculados para os mesmos parâmetros ($T_{u,exp}$) e ($\theta_{tu,exp}$).

O Quadro 4.5 apresenta também à relação entre os valores experimentais e teóricos, apresenta-se e a título indicativo o respectivo valor médio (X_m), desvio padrão amostral (s) em vez do usual desvio padrão (σ) e o coeficiente de variação (cv).

Em relação aos dois parâmetros pode-se concluir que existem bons resultados em termos da média. Contudo, verifica-se uma dispersão de resultados elevados para a rotação mas bastante aceitáveis para o momento torsor resistente, o que mostra que o SMMT tem alguma dificuldade em prever a deformação das vigas para a fase não linear.

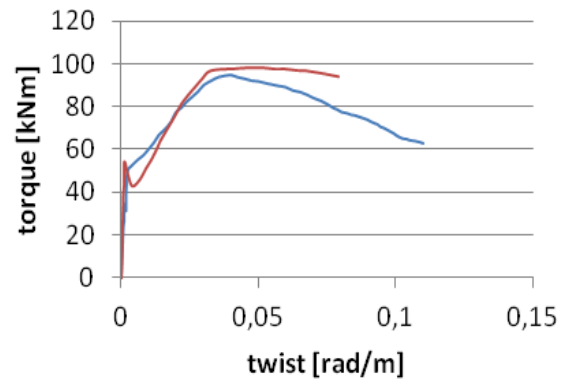
As figuras 4.3 a 4.79 representam os gráficos das curvas T- θ , teóricas e experimentais, obtidas para cada uma das vigas em análise.

Análises Comparativas



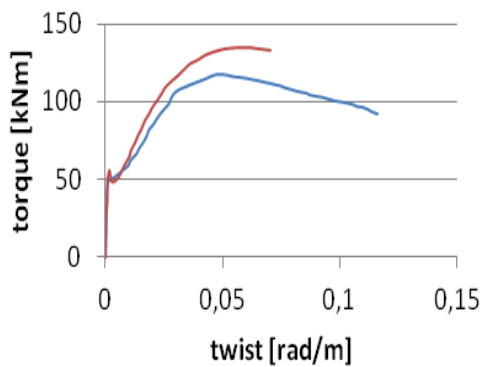
— experimental — teórica

Fig. 4.3 - Curvas $T-\theta$ - N-06-06 [50]



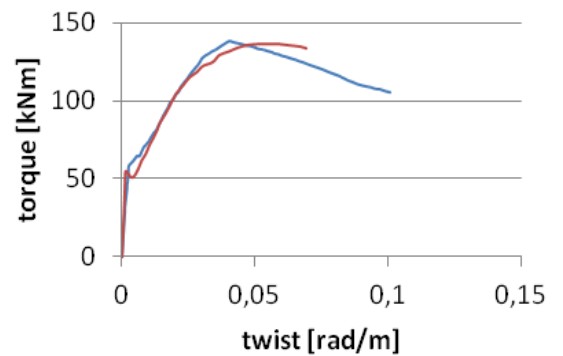
— experimental — teórica

Fig. 4.4 - Curvas $T-\theta$ - N-06-12 [50]



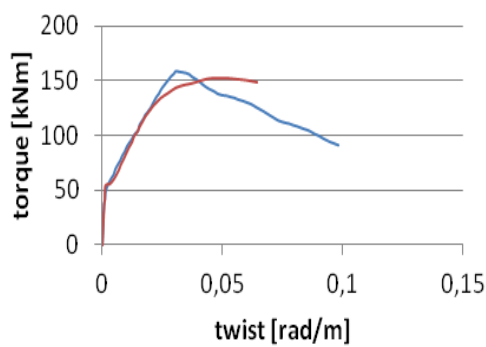
— experimental — teórica

Fig. 4.5 - Curvas $T-\theta$ - N-12-12 [50]



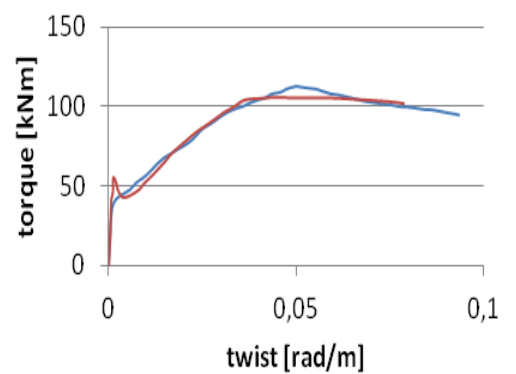
— experimental — teórica

Fig. 4.6 - Curvas $T-\theta$ - N-12-16 [50]



— experimental — teórica

Fig. 4.7 - Curvas $T-\theta$ - N-20-20 [50]



— experimental — teórica

Fig. 4.8 - Curvas $T-\theta$ - N-07-10 [50]

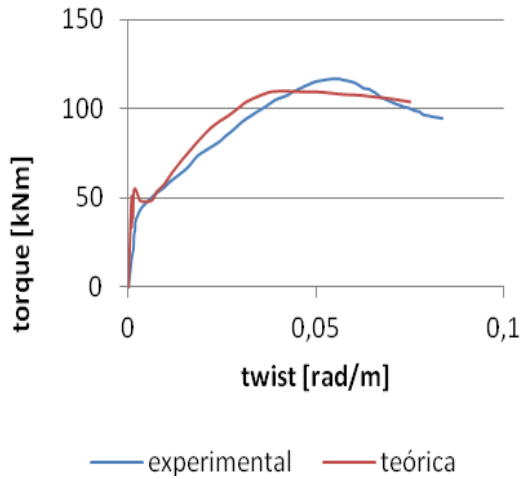


Fig. 4.9 - Curvas $T-\theta$ - N-07-16 [50]

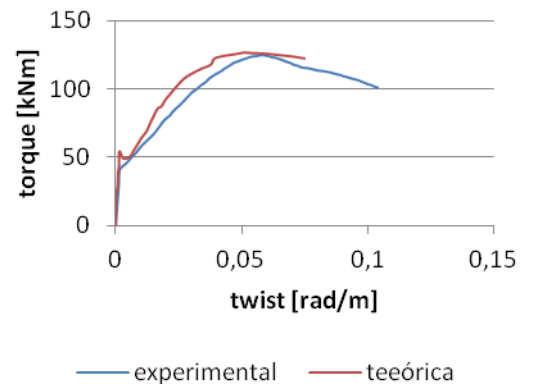


Fig. 4.10 - Curvas $T-\theta$ - N-14-10 [50]

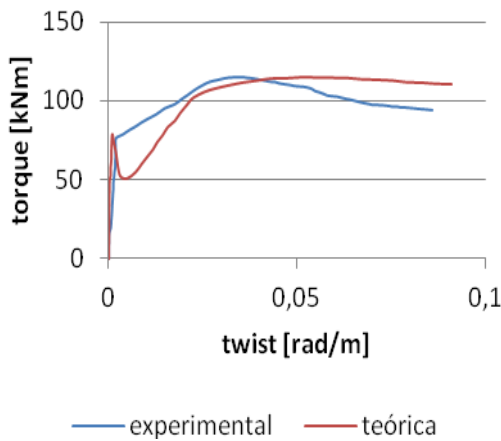


Fig. 4.11 - Curvas $T-\theta$ - H-06-12 [50]

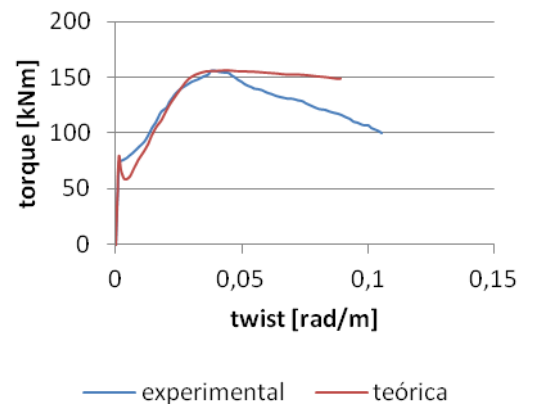


Fig. 4.12 - Curvas $T-\theta$ - H-12-12 [50]

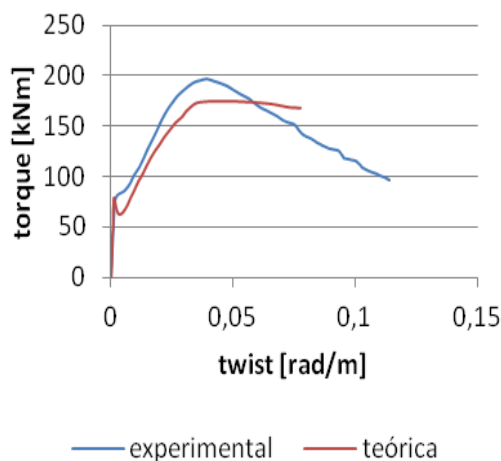


Fig. 4.13 - Curvas $T-\theta$ - H-12-16 [50]

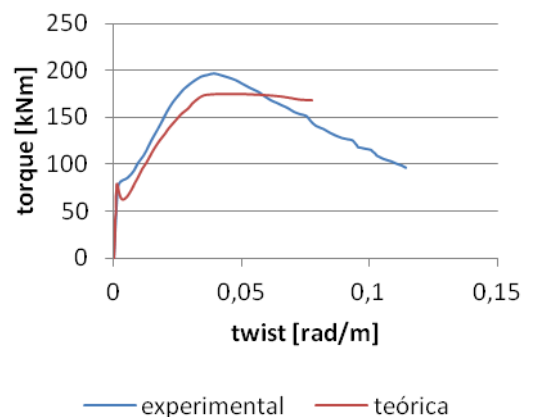


Fig. 4.14 - Curvas $T-\theta$ - H-20-20 [50]

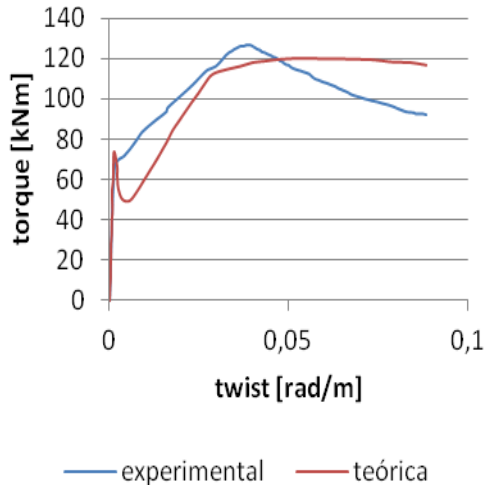


Fig. 4.15 - Curvas $T-\theta$ - H-07-10 [50]

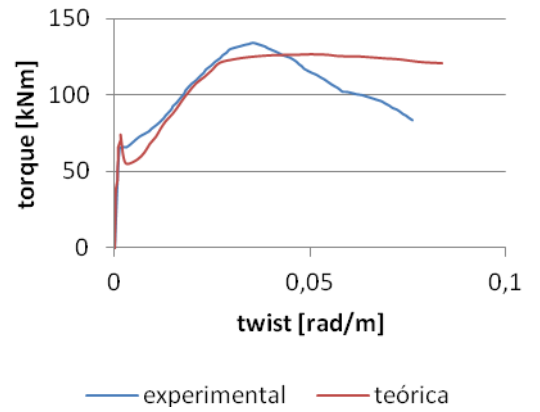


Fig. 4.16 - Curvas $T-\theta$ - H-07-16 [50]

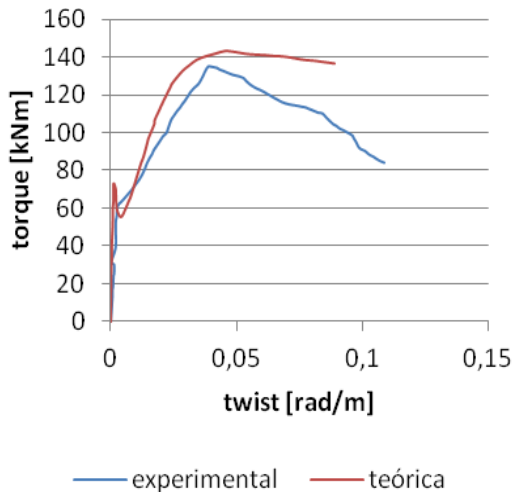


Fig. 4.17 - Curvas $T-\theta$ - H-14-10 [50]

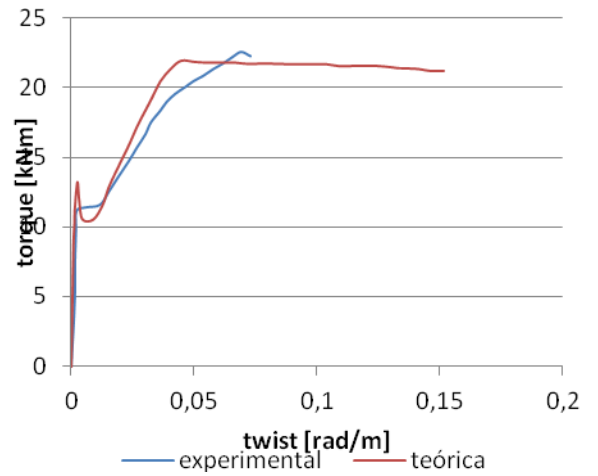


Fig. 4.18 - Curvas $T-\theta$ - A2 [50]

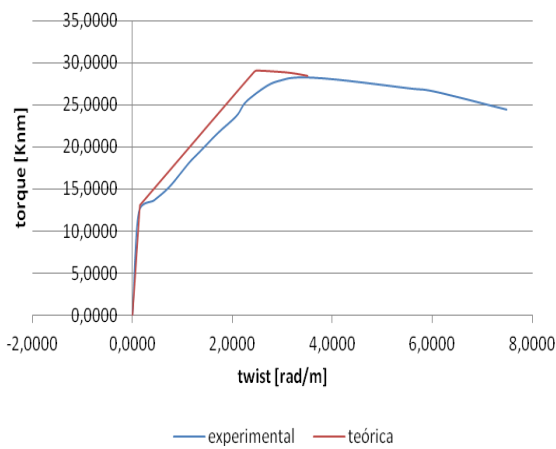


Fig. 4.19 - Curvas $T-\theta$ - A3 [50]

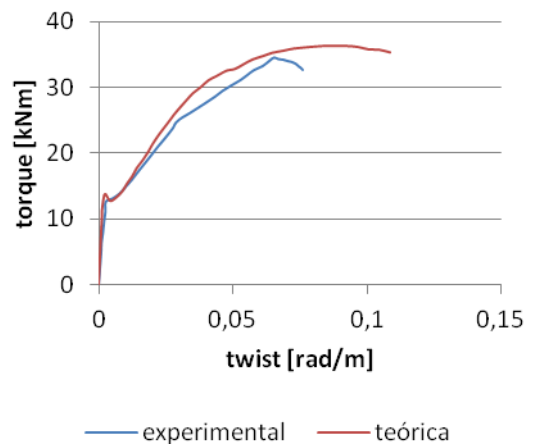


Fig. 4.20 - Curvas $T-\theta$ - A4 [50]

Análises Comparativas

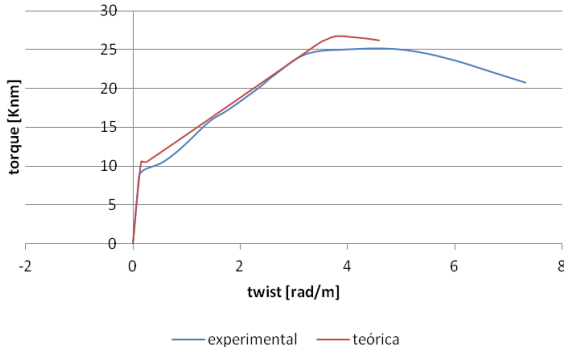


Fig. 4.21 - Curvas $T-\theta$ - B3 [50]

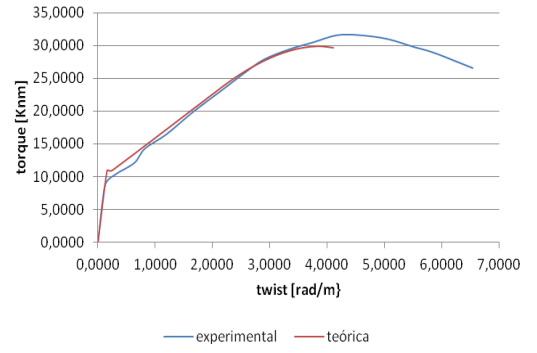


Fig. 4.22 - Curvas $T-\theta$ - B4 [50]

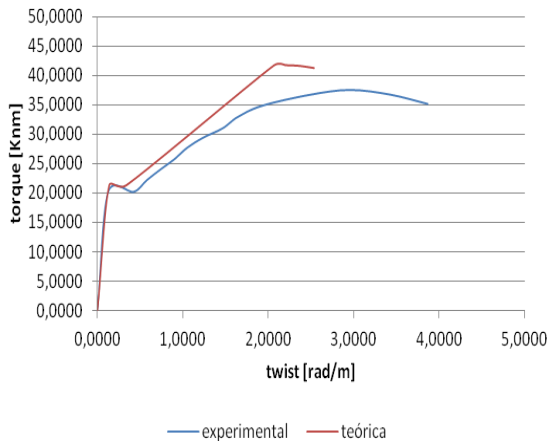


Fig. 4.23 - Curvas $T-\theta$ - B3 [50]

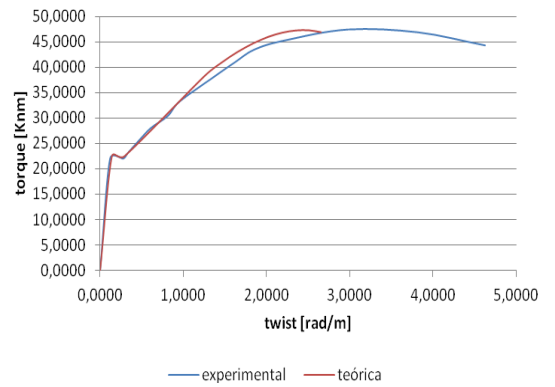


Fig. 4.24 - Curvas $T-\theta$ - B4 [50]

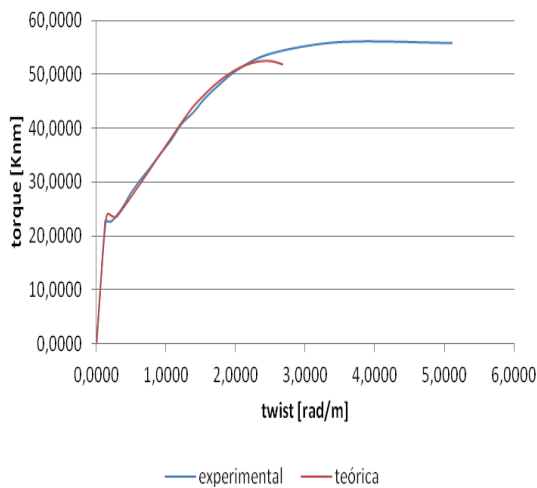


Fig. 4.25 - Curvas $T-\theta$ - B5 [50]

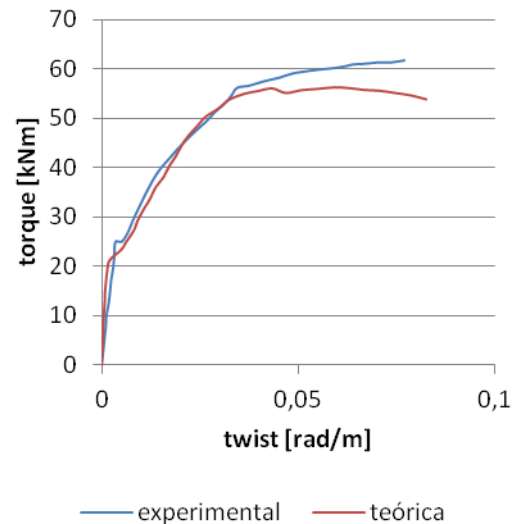


Fig. 4.26 - Curvas $T-\theta$ - B6 [50]

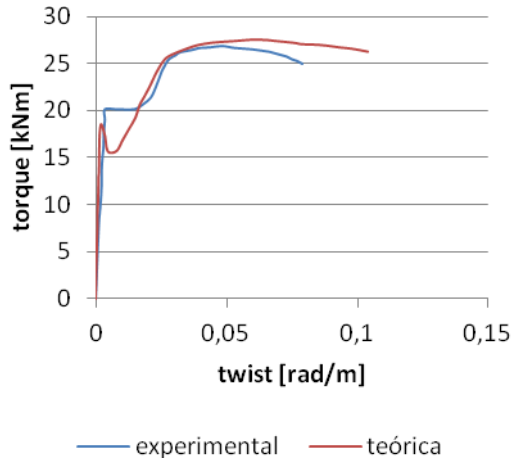


Fig. 4.27 - Curvas $T-\theta$ - B7 [50]

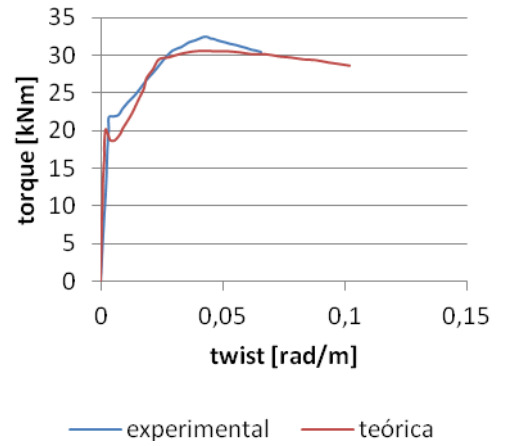


Fig. 4.28 - Curvas $T-\theta$ - B8 [50]

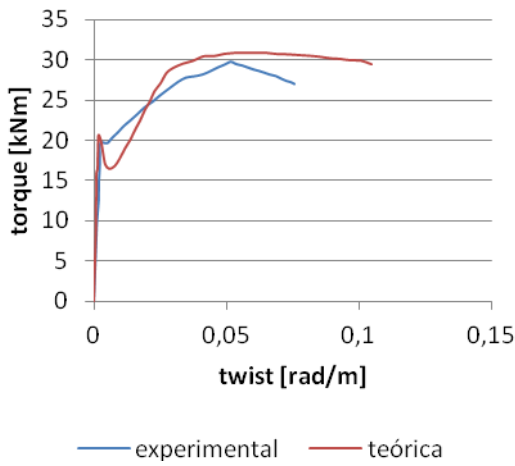


Fig. 4.29 - Curvas $T-\theta$ - B9 [50]

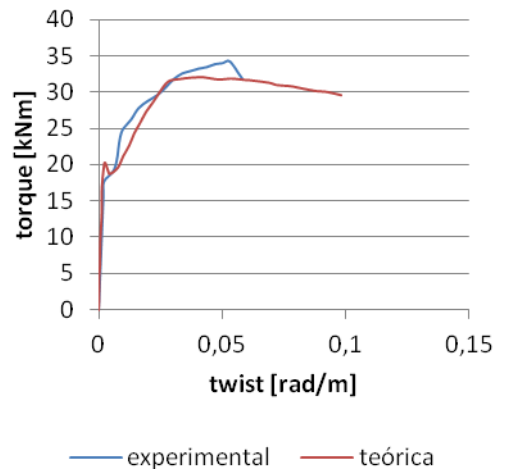


Fig. 4.30 - Curvas $T-\theta$ - B10 [50]

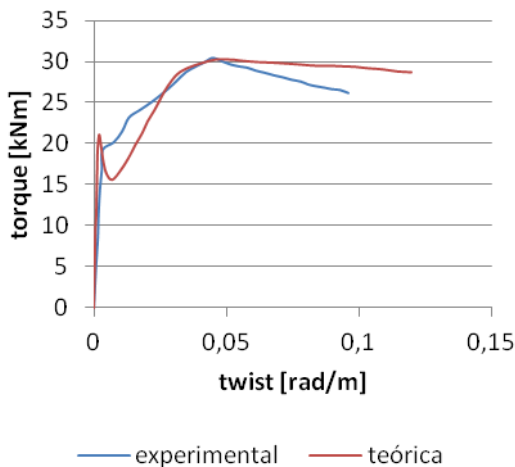


Fig. 4.31 - Curvas $T-\theta$ - M1 [50]

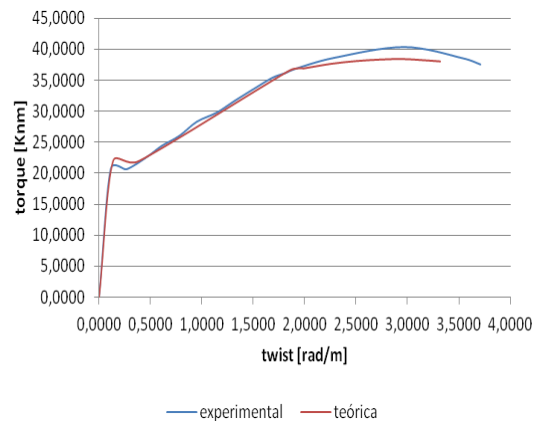


Fig. 4.32 - Curvas $T-\theta$ - M2 [50]

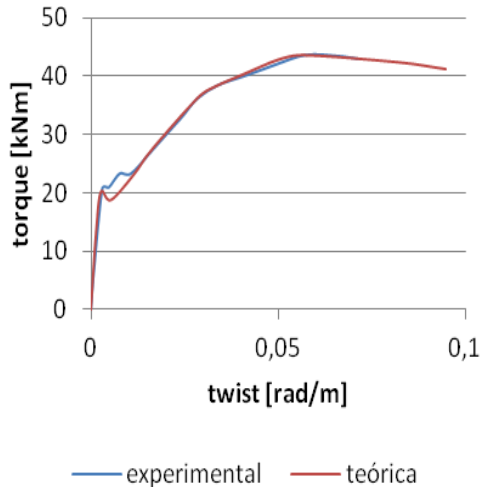


Fig. 4.33 - Curvas $T-\theta$ - M3 [50]

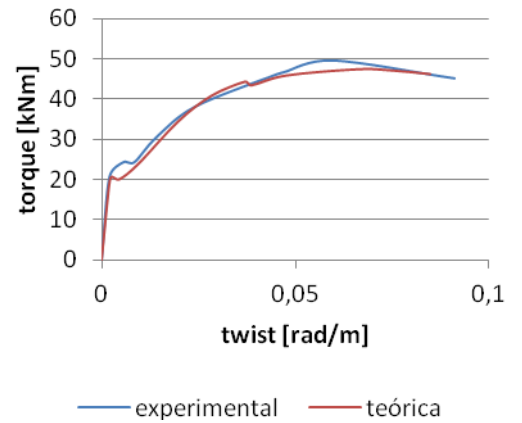


Fig. 4.34 - Curvas $T-\theta$ - M4 [50]

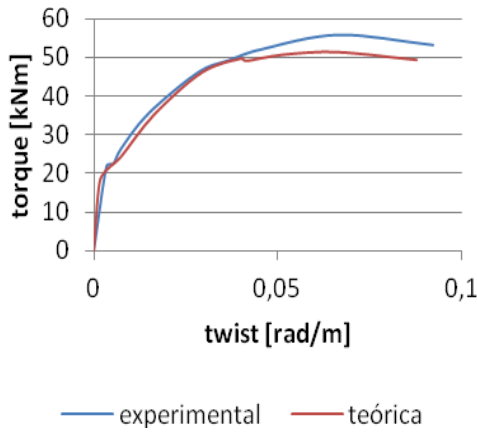


Fig. 4.35 - Curvas $T-\theta$ - M5 [50]

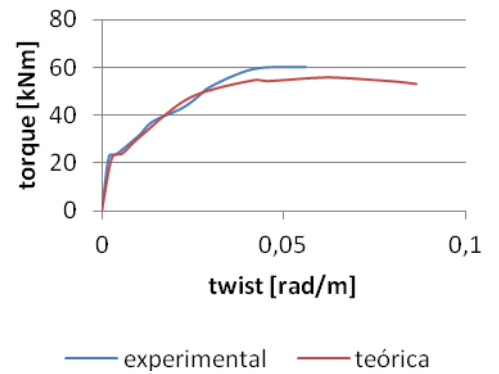


Fig. 4.36 - Curvas $T-\theta$ - M6 [50]

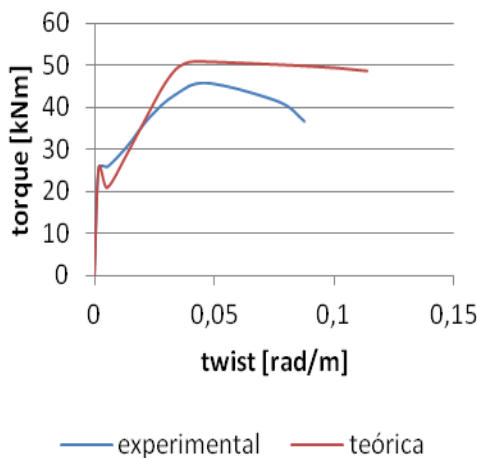


Fig. 4.37 - Curvas $T-\theta$ - I3 [50]

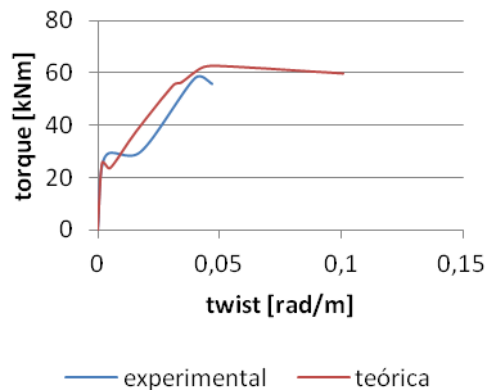


Fig. 4.38 - Curvas $T-\theta$ - I4 [50]

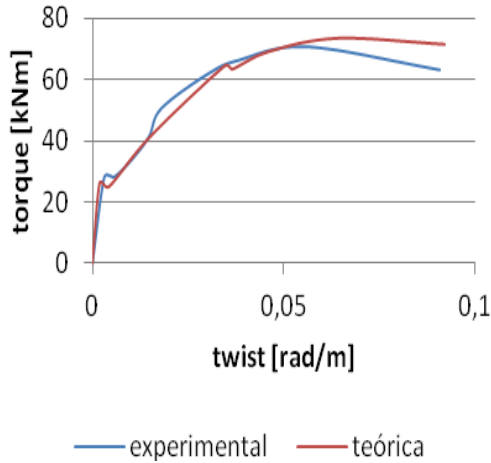


Fig. 4.39 - Curvas $T-\theta$ - I5 [50]

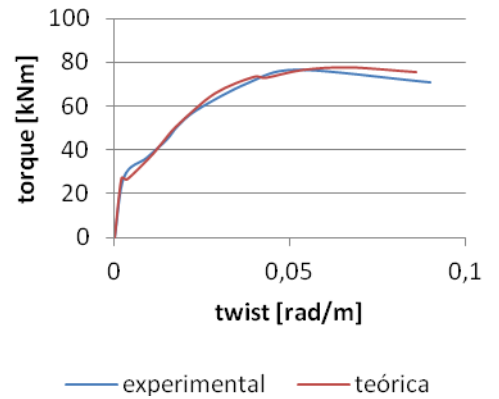


Fig. 4.40 - Curvas $T-\theta$ - I6 [50]

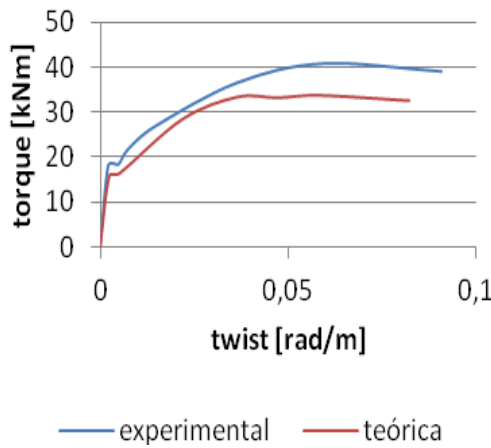


Fig. 4.41 - Curvas $T-\theta$ - J4 [50]

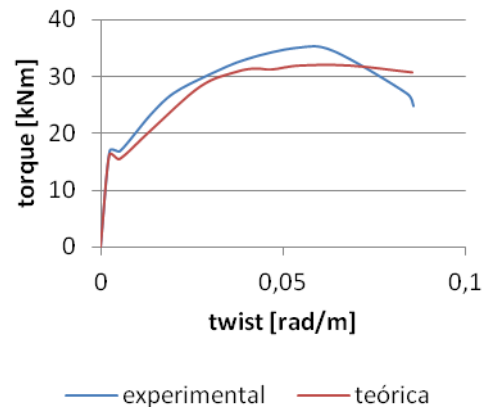


Fig. 4.42 - Curvas $T-\theta$ - J3 [50]

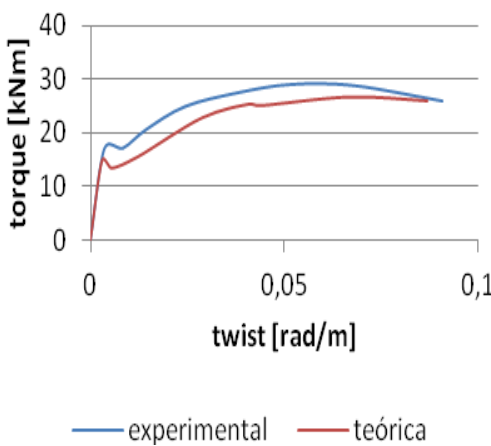


Fig. 4.43 - Curvas $T-\theta$ - J2 [50]

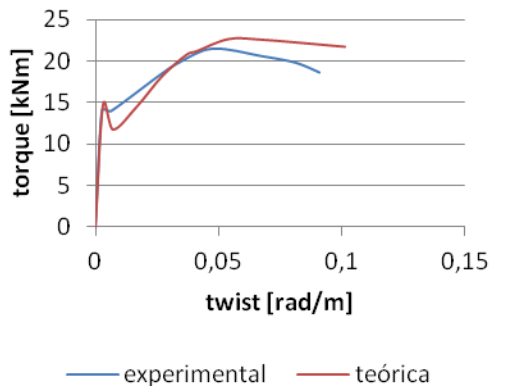


Fig. 4.44 - Curvas $T-\theta$ - J1 [50]

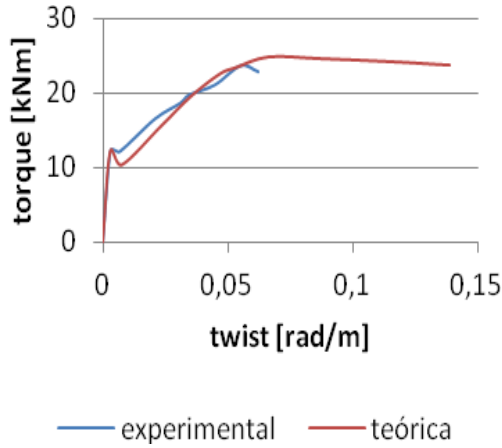


Fig. 4.45 - Curvas $T-\theta$ - K2 [50]

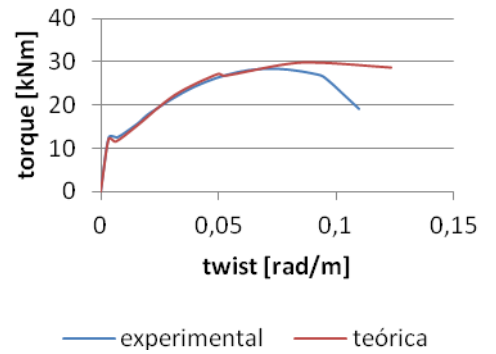


Fig. 4.46 - Curvas $T-\theta$ - K3 [50]

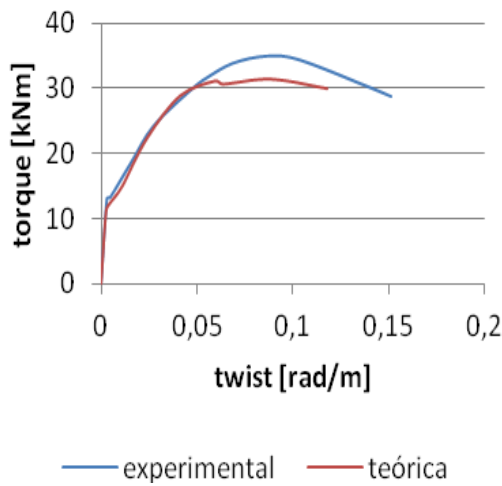


Fig. 4.47 - Curvas $T-\theta$ - K4 [50]

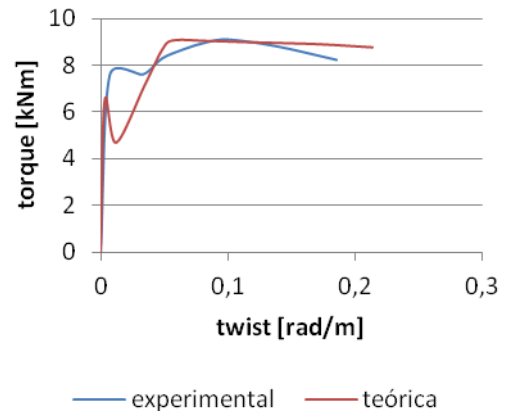


Fig. 4.48 - Curvas $T-\theta$ - N1 [50]

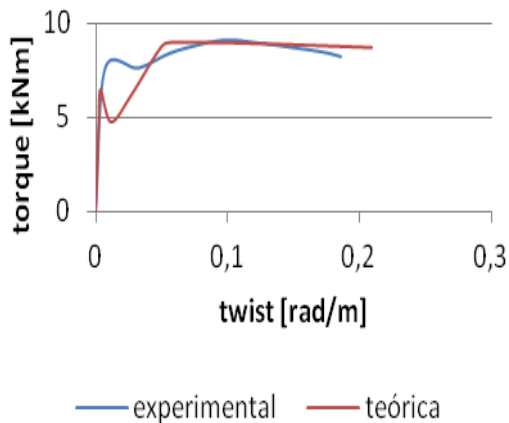


Fig. 4.49 - Curvas $T-\theta$ - N1a [50]

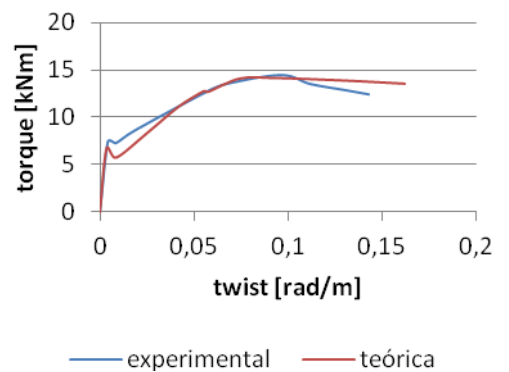


Fig. 4.50 - Curvas $T-\theta$ - N2 [50]

Análises Comparativas

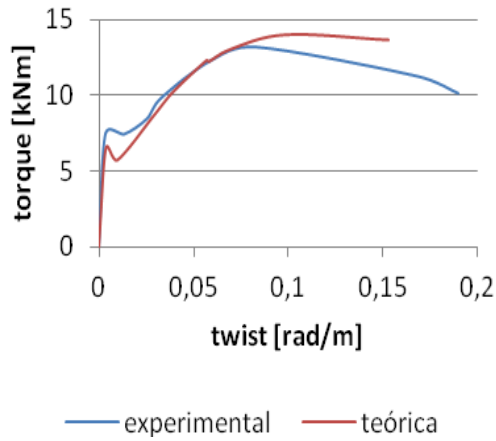


Fig. 4.51 - Curvas $T-\theta$ - N2a [50]

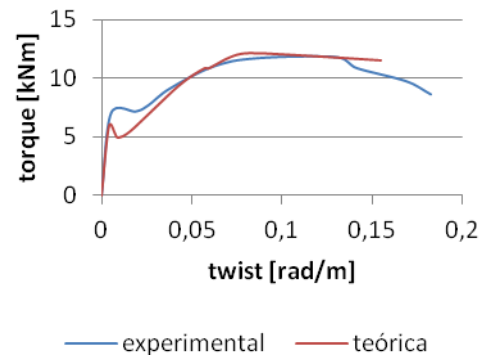


Fig. 4.52 - Curvas $T-\theta$ - N3 [50]

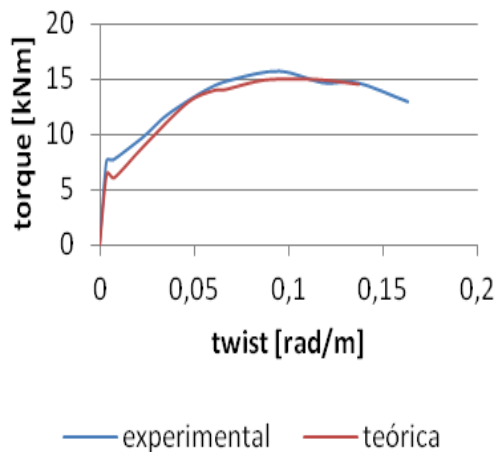


Fig. 4.53 - Curvas $T-\theta$ - N4 [50]

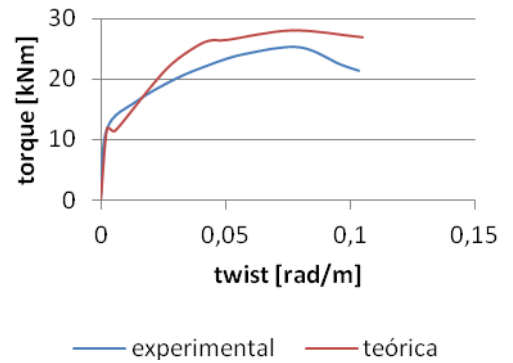


Fig. 4.54 - Curvas $T-\theta$ - C4 [50]

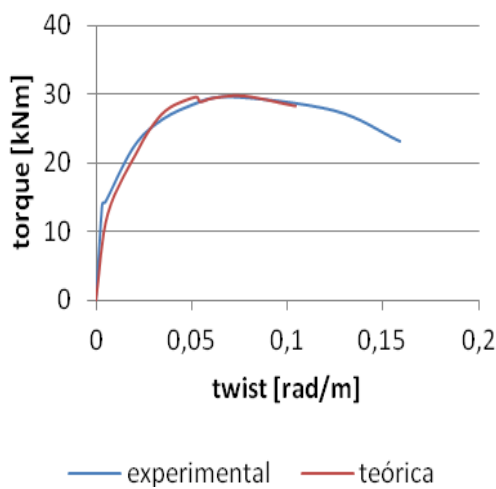


Fig. 4.55 - Curvas $T-\theta$ - C5 [50]

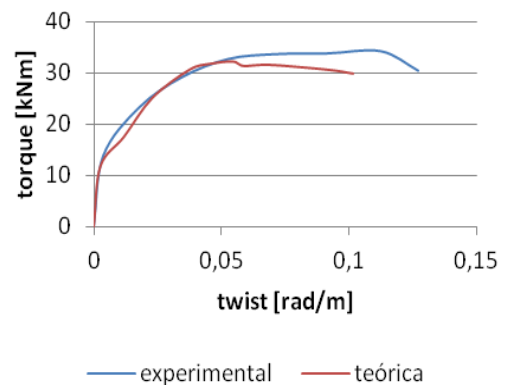


Fig. 4.56 - Curvas $T-\theta$ - C6 [50]

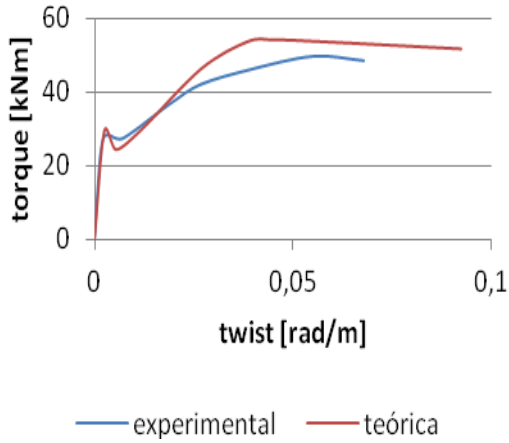


Fig. 4.57 - Curvas $T-\theta$ - G3 [50]

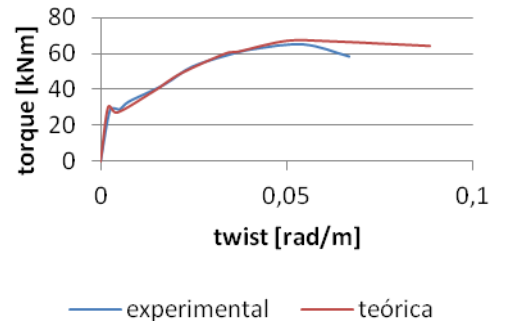


Fig. 4.58 - Curvas $T-\theta$ - G4 [50]

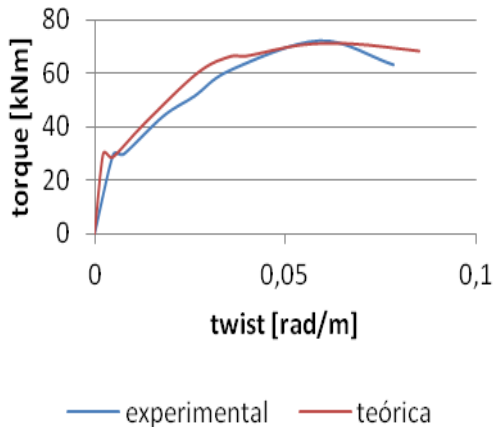


Fig. 4.59 - Curvas $T-\theta$ - G5 [50]

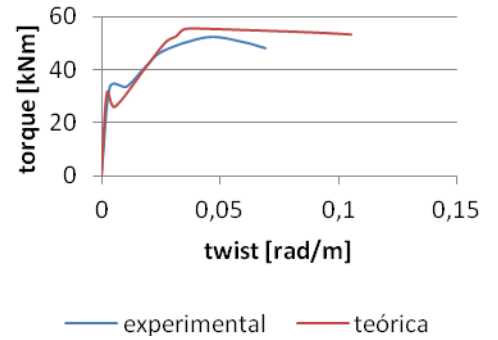


Fig. 4.60 - Curvas $T-\theta$ - G7 [50]

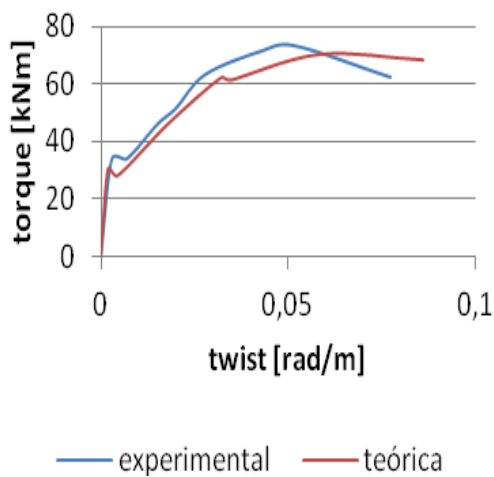


Fig. 4.61 - Curvas $T-\theta$ - G8 [50]

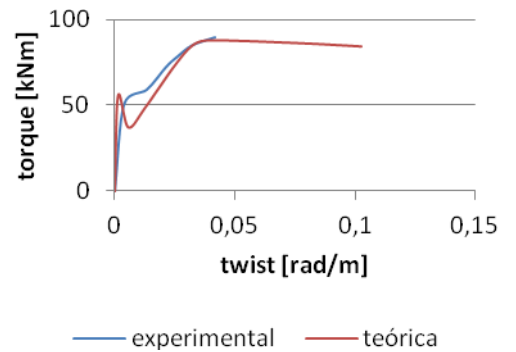


Fig. 4.62 - Curvas $T-\theta$ - VM3 [50]

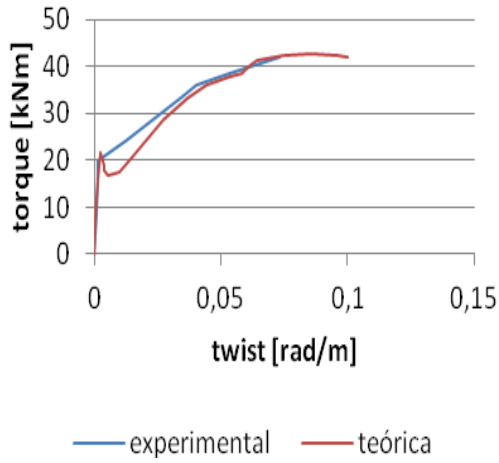


Fig. 4.63 - Curvas $T-\theta$ - VM2 [50]

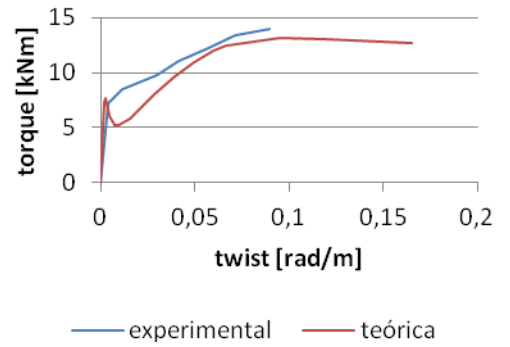


Fig. 4.64 - Curvas $T-\theta$ - VM1 [50]

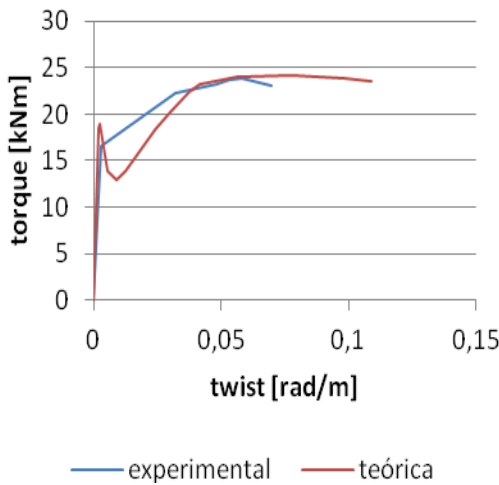


Fig. 4.65 - Curvas $T-\theta$ - VU1 [50]

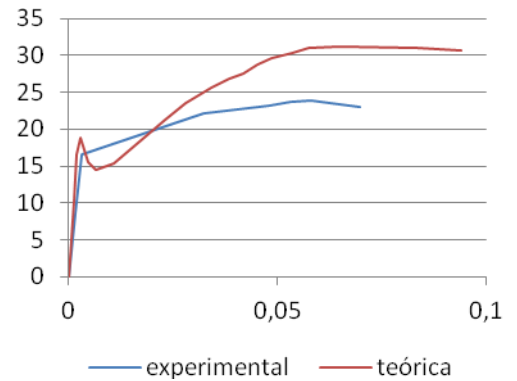


Fig. 4.66 - Curvas $T-\theta$ - VU2 [50]

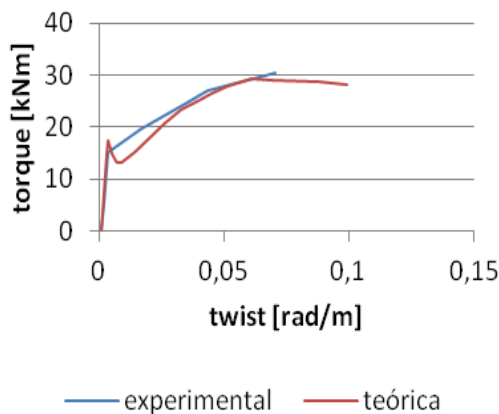


Fig. 4.67 - Curvas $T-\theta$ - VU3 [50]

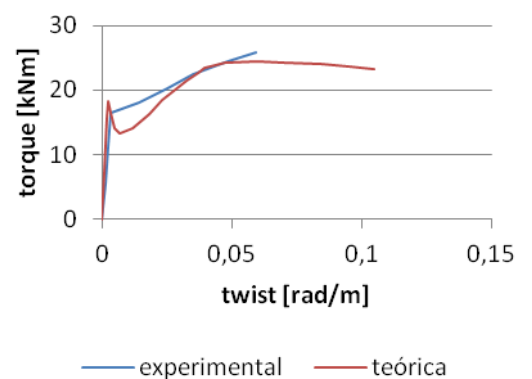


Fig. 4.68 - Curvas $T-\theta$ - VU4 [50]

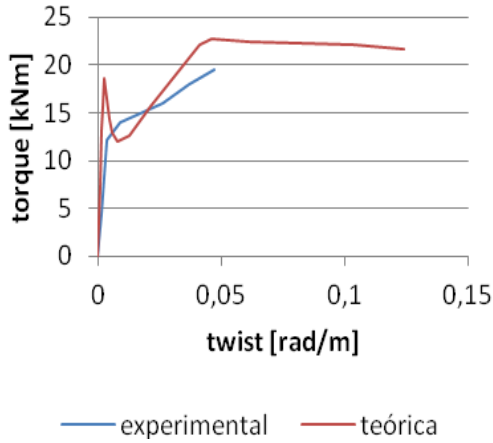


Fig. 4.69 - Curvas $T-\theta$ - VS2, VQ2 [50]

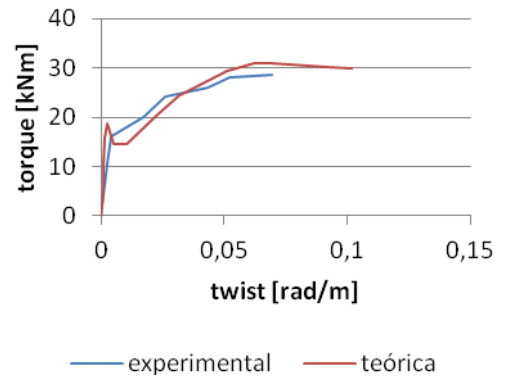


Fig. 4.70 - Curvas $T-\theta$ - VS3 [50]

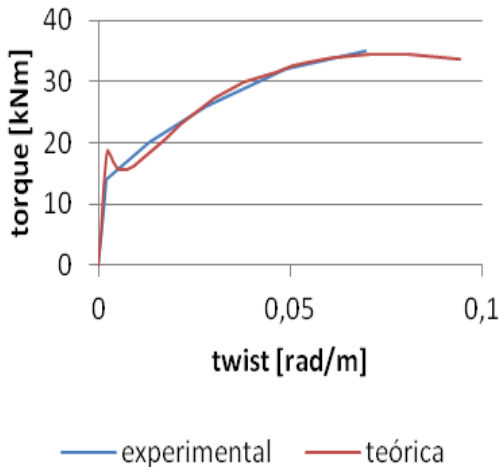


Fig. 4.71 - Curvas $T-\theta$ - VS4, VQ5 [50]

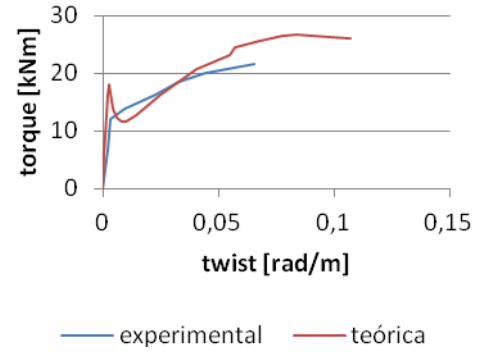


Fig. 4.71 - Curvas $T-\theta$ - VS9 [50]

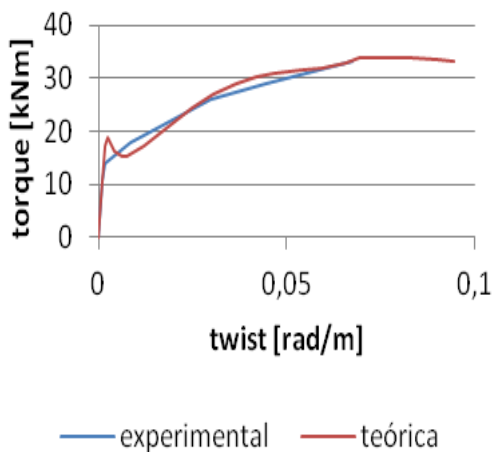


Fig. 4.73 - Curvas $T-\theta$ - VS10, VB1 [50]

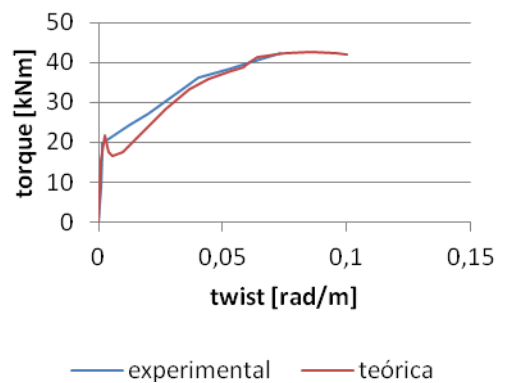


Fig. 4.74 - Curvas $T-\theta$ - VB2 [50]

Análises Comparativas

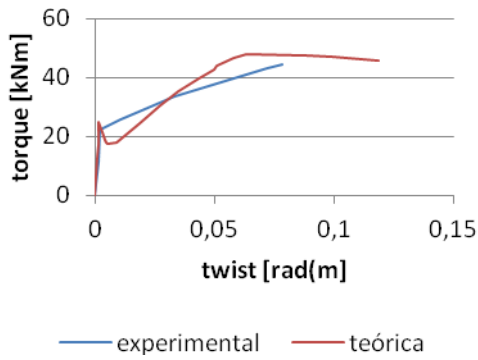


Fig. 4.75 - Curvas $T-\theta$ - VB3 [50]

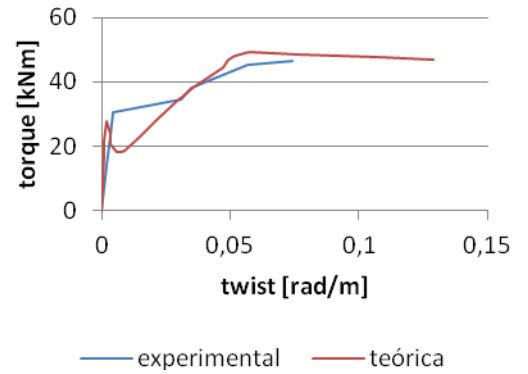


Fig. 4.76 - Curvas $T-\theta$ - VB4 [50]

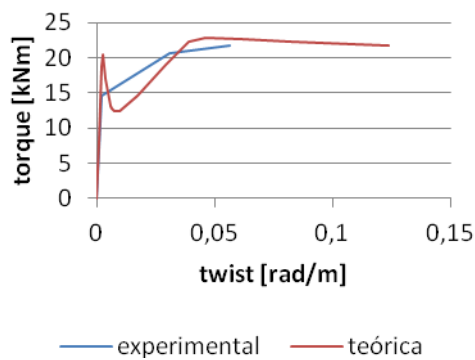


Fig. 4.77 - Curvas $T-\theta$ - VQ1 [50]

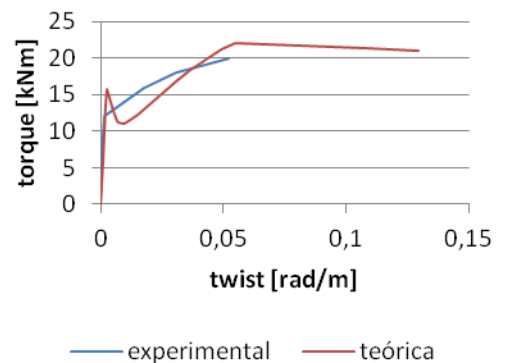


Fig. 4.78 - Curvas $T-\theta$ - VQ3 [50]

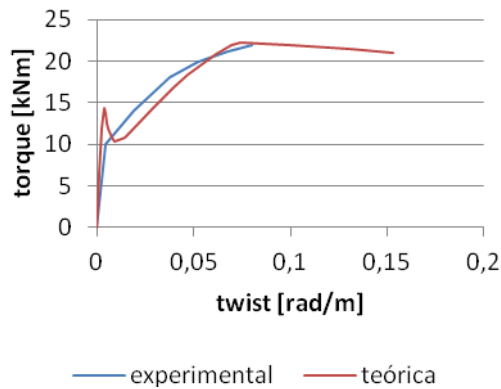


Fig. 4.79 - Curvas $T-\theta$ - VQ9 [50]

As Figuras anteriores permitem, de uma forma geral, confirmar as conclusões obtidas aquando da análise das tabelas 4.1 a 4.5.