

Referências Bibliográficas

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI – 318. **Building Code Requirements for Structural Concrete**. USA. 1999.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI – 440. **Guide for the Design and Construction of the Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures**. USA. 2001.

AMERICAN SOCIETY for TESTING and MATERIALS – ASTM – D3039/D3039. – **Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials**. USA. 2000.

ARAÚJO, A. C. N. **Estudo Experimental do Reforço à Flexão de Vigas de Concreto Armado Utilizando Compósitos com Tecido de Fibras de Carbono**. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2002.

ARAÚJO, A. S. **Reforço ao Cisalhamento de Vigas de T de Concreto Armado com Fibra de Carbono com Dois Tipos de Ancoragem**. Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR-5738. **Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos-de-prova**, Brasil, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR-5739. **Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos – Método de Ensaio**, Brasil, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR-6118. **Projeto de Estruturas de Concreto**, Brasil, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR-ISO - 6892. **Materiais Metálicos – Ensaio de Tração à Temperatura Ambiente**, Brasil, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR-7222. **Argamassa e Concreto – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos-de-prova Cilíndricos – Método de Ensaio**, Brasil, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR-8522 **Concreto – Determinação dos Módulos Estáticos de Elasticidade e de Deformação e da Curva Tensão-Deformação**, Brasil, 2003.

BEBER, A. J. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono**; Tese de Doutorado, UFRGS, Porto Alegre, 2003.

BOUSSELHAM, A.; CHALLAL, O. **Shear Strengthening Reinforced Concrete Beams with Fiber-Reinforced Polymer: Assessment of Influencing Parameters and Required Research**. ACI Structural Journal, v.101, n°2, p.219-227, 2004.

COLOTTI V.; SPADEA, G.; SWAMY, R. N. **Analytical Model to Evaluate Failure Behavior of Plated Reinforced Concrete Beams Strengthened for Shear**. ACI Structural Journal, v.101, n°6, p. 755-764, 2004.

FIB (CEB-FIP). **Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures**. Bulletin 14, Lausanne, 2001.

FUSCO, P. B. **Construções de Concreto – Solicitações Tangenciais**. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

GARCIA, S. L. G. **Taxa de Armadura Transversal Mínima em Vigas de Concreto Armado**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

GUIMARÃES, G. B. **Notas de Aula da Disciplina de Comportamento e Projeto de Estruturas de Concreto Armado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil**. Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2006.

HOANG. L. C.; NIELSEN. M. P. **Plasticity Approach to Shear Design**. Cement and Concrete Composites 20. p. 437-453, 1998.

KANI, G. N. J. **The Riddle of Shear Failure and its Solution**. Journal of The American Concrete Institute, p. 441-467, 1964.

KHALIFA, A.; ALKHRDAJI T.; NANNI A.; LANSBURG S. **Anchorage of Surface Mounted FRP Reinforcement**. Concrete International: Design and Construction, v.21, nº10, p. 49-54, 1999.

KHALIFA, A.; GOLD, W.; NANNI, A.; ABDEL-AZIZ, M. I. **Contribution of Externally Bonded FRP to the Shear Capacity of RC Flexural Members**. ASCE - Journal of Composites for Construction, v.2, nº4, p. 195-202, 1998.

KHALIFA, A.; NANNI A. **Rehabilitation of Rectangular Simply Supported RC Beams with Shear Deficiencies Using CFRO Composites**. Construction and Building Materials 16, p. 135-146, 2002.

LOPES, M. T. **Reforço à Força Cortante em Vigas de Concreto Estrutural através da Colagem de Compósitos de Fibra de Carbono**, Dissertação de Mestrado, UFF, 2002.

MBT, Master Builders Technologies – **Catálogo Eletrônico dos Produtos**, www.masterbuilders.com.br, visitado em 2006.

MACHADO, M. G. **Estudo Experimental da Ductilidade de Vigas em Concreto Armado Reforçadas à Flexão Utilizando Compósitos com Tecido de Fibras de Carbono**. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2004.

MILLER, B. D. **Bond between Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets and Concrete**. M.Sc. Thesis, The University of Missouri, Rolla, 1999.

NIELSEN, M. P. **Limit Analysis and Concrete Plasticity**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1984.

PELLEGRINO, C.; MODENA C. **Fiber Reinforced Polymer Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Transverse Steel Reinforcement**. Journal of Composites for Construction, ASCE, v.6, nº 2, 2002.

RHEOTEC – **Catálogo Eletrônico dos Produtos**; www.rheotec.com.br, visitado em 2006.

SALLES, M. N. **Comportamento ao Cisalhamento de Vigas T de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, UnB, 2000.

SÁNCHEZ, E. **Nova Normalização Brasileira para o Concreto Estrutural**. Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 1999.

SÁNCHEZ, E.; SILVA FILHO, J. J. H.; BARBOSA, M. T. G.; VELASCO, M. S. L. **Modelo Cinemático para Vigas de Concreto Armado Reforçadas à Força Cortante com Compósitos de Fibra de Carbono**. Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto, Rio de Janeiro, 2006.

SATO, Y.; UEDA, T.; KAKUTA, Y.; ONO, S. **Ultimate Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams with Carbon Fiber Sheet**. Proceeding of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, Japan Concrete Institute, Sapporo, v.1, 1997a.

SIKA – **Catálogo Eletrônico de Produtos**, www.sika.com.br, visitado em 2006.

SILVA FILHO, J. N. **Vigas T em Concreto Armado Reforçadas ao Cisalhamento com Compósito de Fibra de Carbono**. Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília, 2001.

SWAMY, R. N.; JONES, R.; CHARIF, A. **Shear Adhesion Properties of Epoxy Resin Adhesive**. Proceedings of the International Symposium, p. 741-755, Aix-en-Provence, France, 1986.

TÄLJSTEN, B. **Förstärkning av Befintliga Betongkonstruktioner med Kolfiberväv eller Laminat, Dimensionering, Material och Utförande**. Technical Report, University of Technology, Lulea, 1999a.

TENG, J. G.; CHEN, J. F.; SMITH, S. T.; LAM, L. **FRP Strengthened RC Structures**. John Wiley & Sons, Great Britain, 2002.

TRIAANTAFILLOU, T. C. **Shear Strengthened of Reinforced Concrete Beams Using Epoxy-Bonded FRP Composites**. ACI Structural Journal, 95(2), p. 107-115, 1998.

TRIAANTAFILLOU, T. C; ANTONOPOULOS, C. P. **Design of Concrete Flexural Members Strengthened in Shear with FRP**. Journal of Composites for Construction, ASCE, 4(4), 2000.

Anexo A

Registros Fotográficos



Foto A.1 – Ensaio de resistência à compressão simples dos corpos-de-prova de concreto.



Foto A.2 – Sistema de aplicação de força em corpo-de-prova para determinação do módulo de elasticidade do concreto.



Foto A.3 – Ensaio de compressão diametral dos corpos-de-prova de concreto.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0510727/CA



Foto A.4 – Amostras das barras de aço de 5,0 e 16,0 mm para os ensaios de resistência tração.

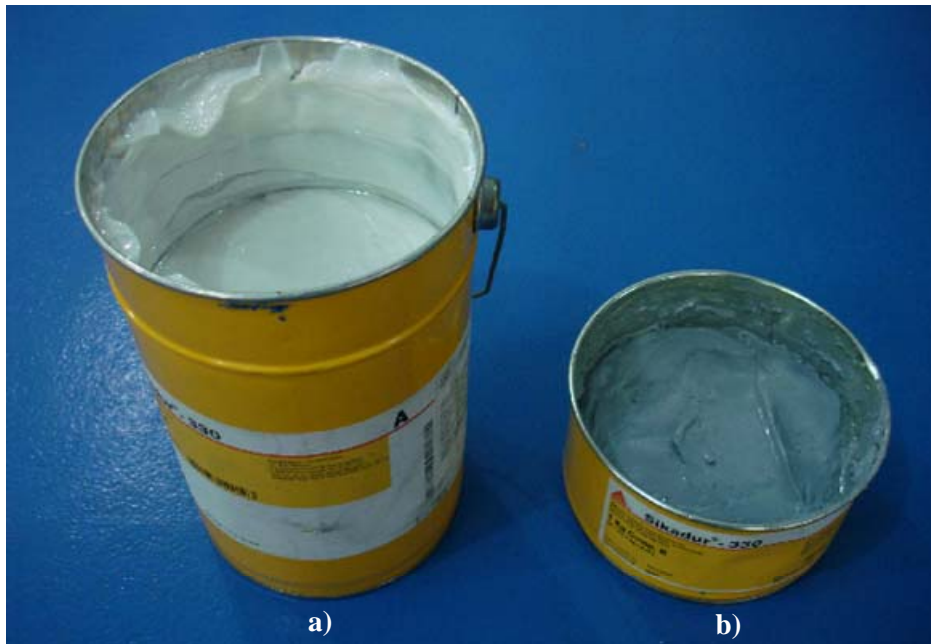


Foto A.5 – Componentes **A** (a) e **B** (b) utilizados no preparo da resina epoxídica.

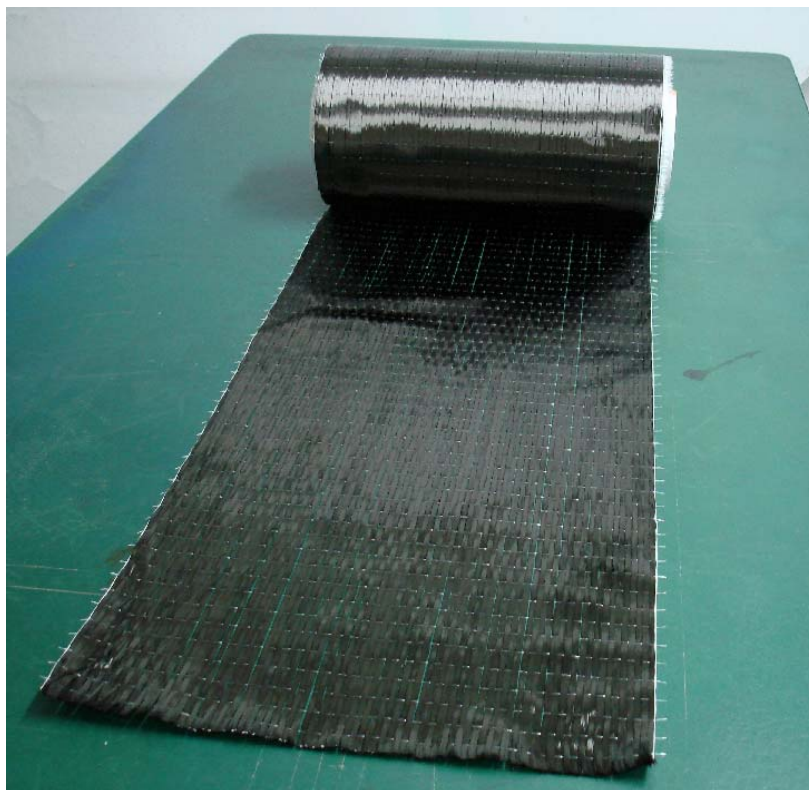


Foto A.6 – Rolo de tecido de fibras de carbono.

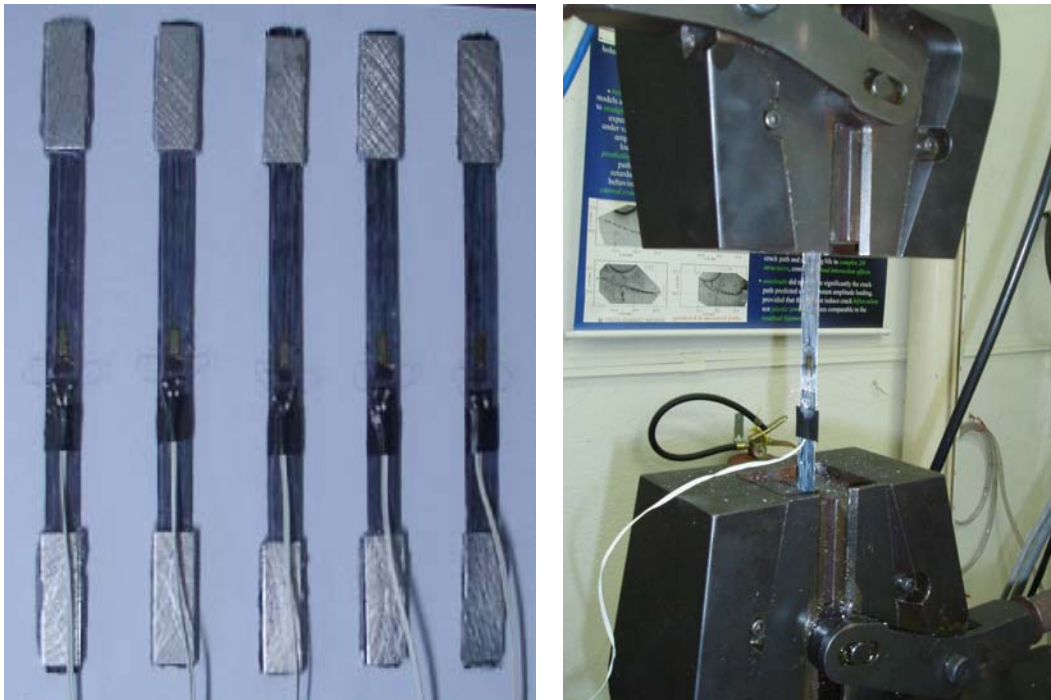


Foto A.7 – Corpos-de-prova de CFC e sistema de aplicação de força de tração.



Foto A.8 – Formas e armaduras.



Foto A.9 – Detalhes das montagens das vigas antes do recebimento do concreto.



Foto A.10 – Vigas após as desformas.

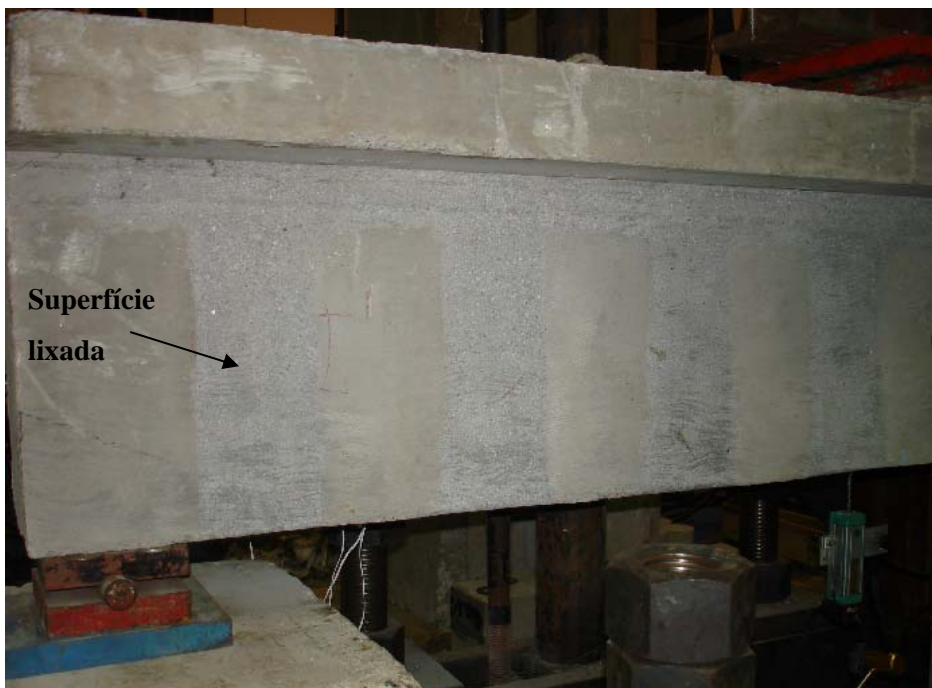


Foto A.11 – Superfície do concreto após lixamento.



Foto A.12 – Equipamentos diversos (espátulas e rolo "tira-bolha") utilizados na aplicação da resina epoxídica.



Foto A.13 – Viga reforçada à força cortante com CFC.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0510727/CA

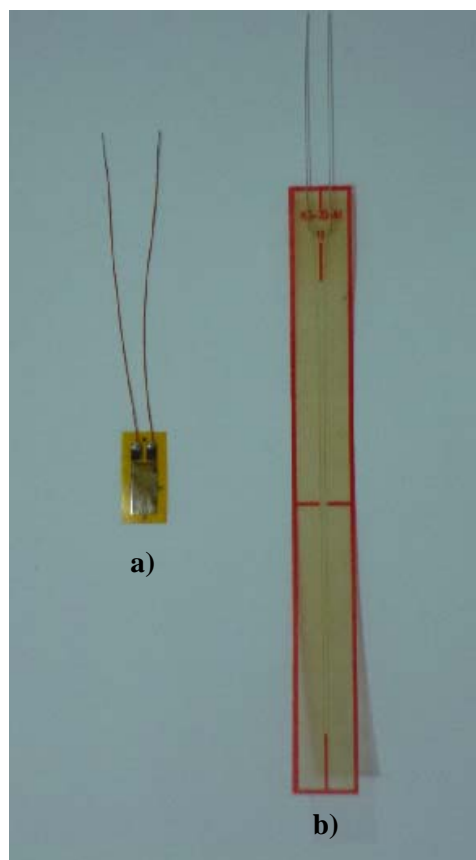


Foto A.14 – Extensômetro elétrico de resistência utilizado no aço e no CFC (a) e no concreto (b).

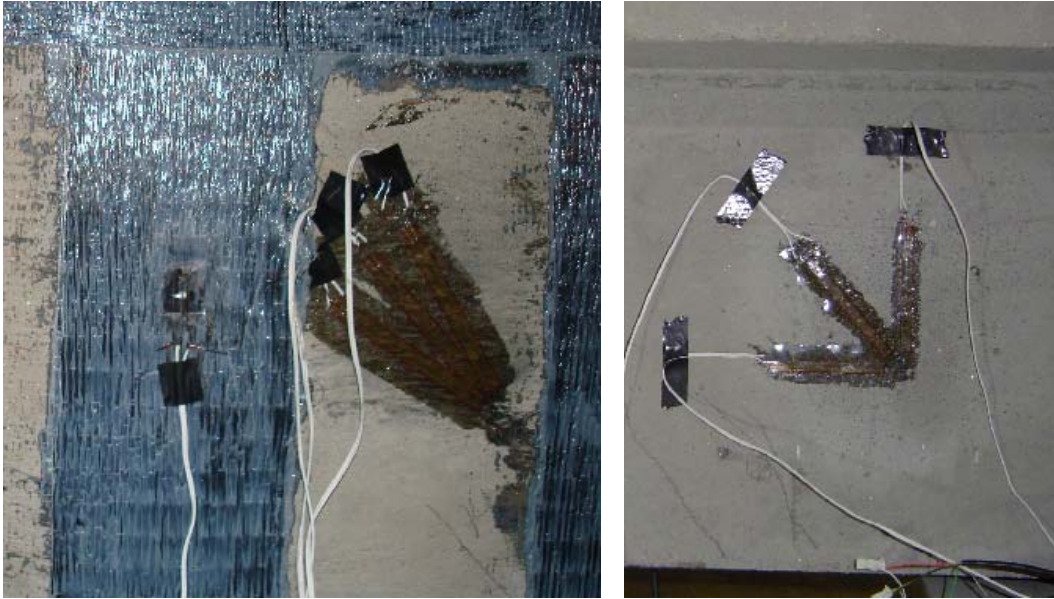


Foto A.15 – Detalhes da fixação dos EER nas superfícies do CFC e do concreto.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0510727/CA

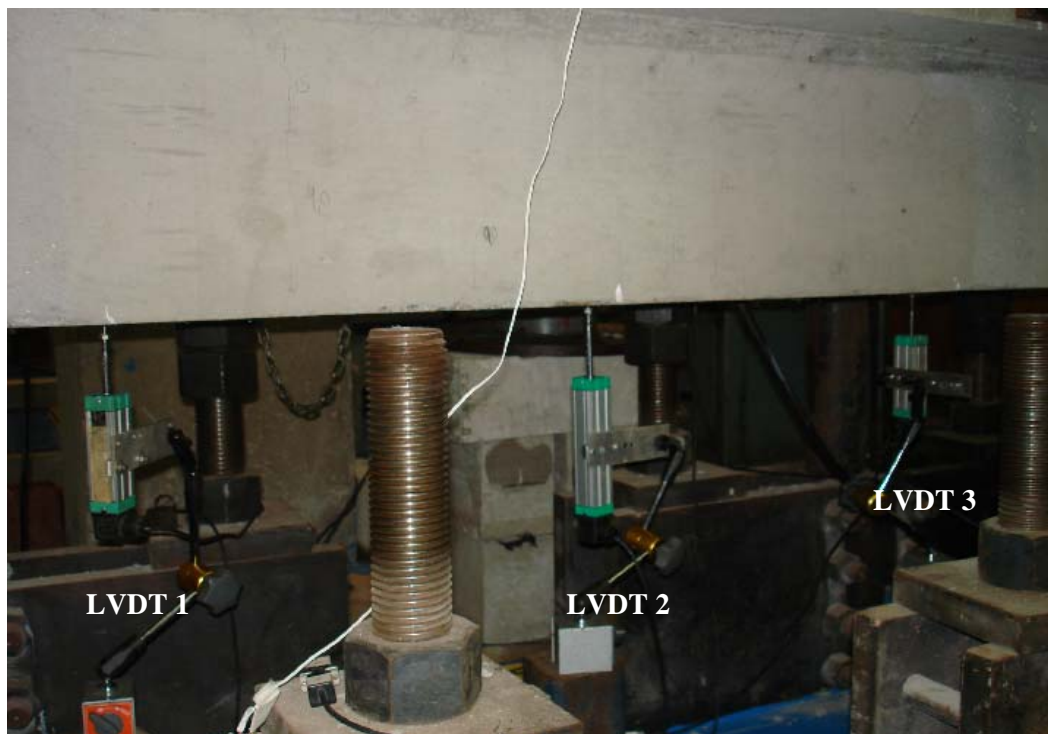


Foto A.16 – Posicionamento dos LVDT para medição das flechas.



Foto A.17 – Sistema aporticado para aplicação de força até 500 kN.



Foto A.18 – Sistema aporticado para aplicação de força até 1000 kN.



Foto A.19 – Perfil de aço e chapa utilizados no travamento da viga de concreto no sistema aporticado para força até 500 kN.



Foto A.20 – Perfil de aço utilizado no travamento da viga de concreto no sistema aporticado para força até 1000 kN.



Foto A.21 – Detalhe da ruptura da viga VR1 (1).



Foto A.22 – Detalhe da ruptura da viga VR1 (2).



Foto A.23 – Detalhe da ruptura da viga VI-1 (1).



Foto A.24 – Detalhe da ruptura da viga VI-1 (2).



Foto A.25 – Detalhe da ruptura da viga VI-2 (1).



Foto A.26 – Detalhe da ruptura da viga VI-2 (2).



Foto A.27 – Detalhe da ruptura da viga VI-3 (1).



Foto A.28 – Detalhe da ruptura da viga VI-3 (2).



Foto A.29 – Detalhe da ruptura da viga VR2 (1).

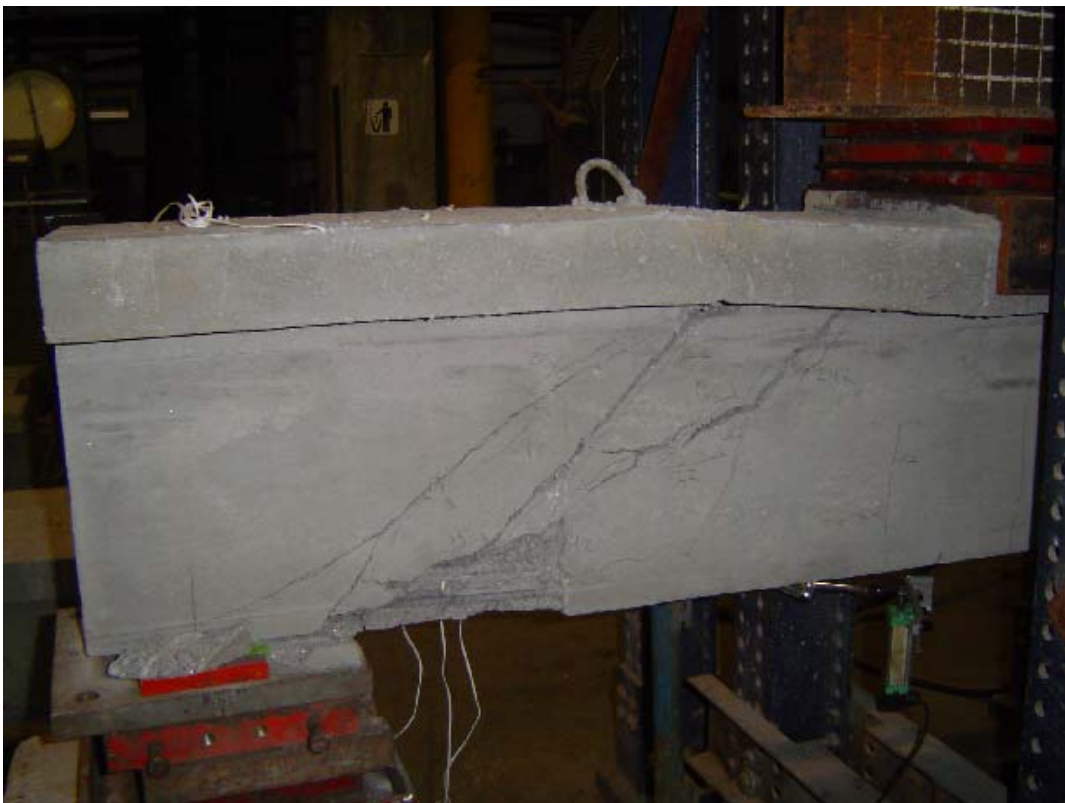


Foto A.30 – Detalhe da ruptura da viga VR2 (2).

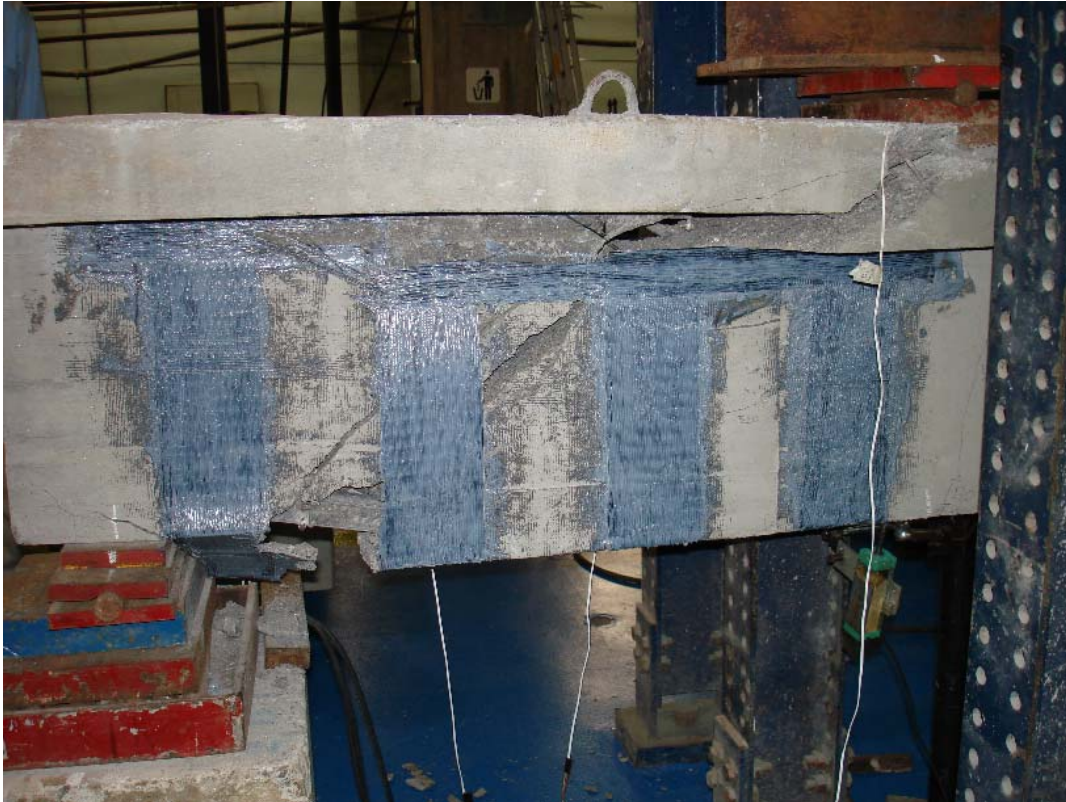


Foto A.31 – Detalhe da ruptura da viga VII-1 (1).

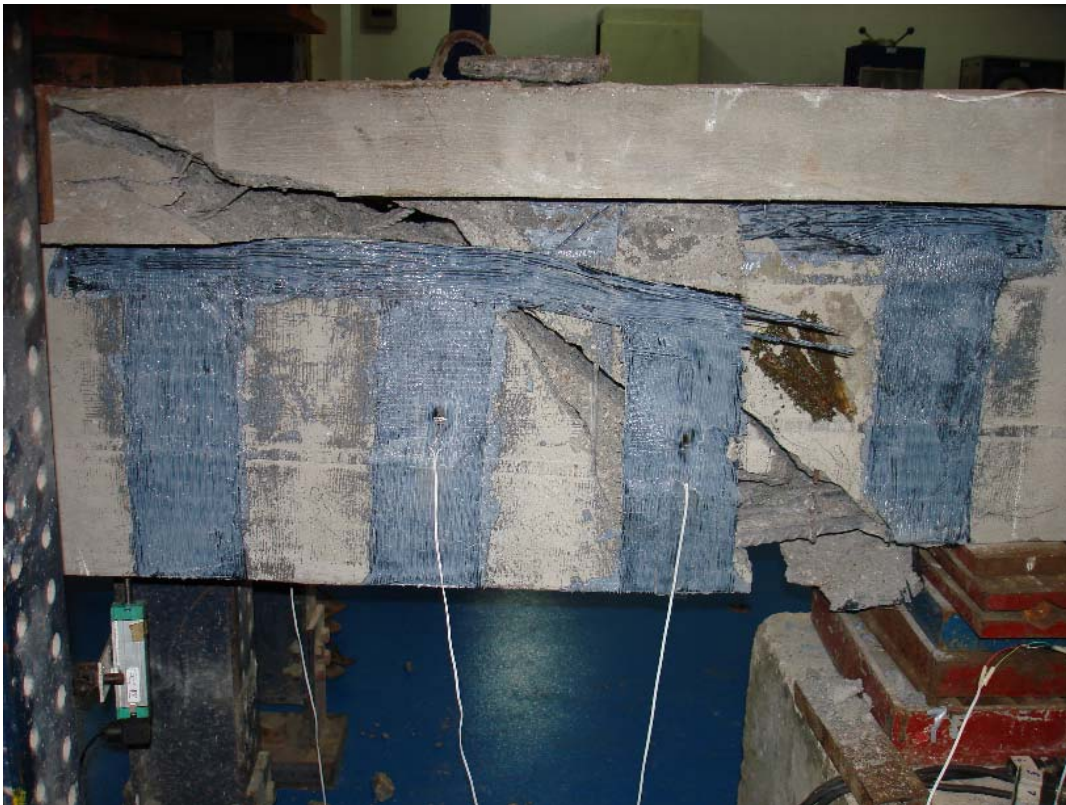


Foto A.32 – Detalhe da ruptura da viga VII-1 (2).



Foto A.33 – Detalhe da ruptura da viga VII-2 (1).

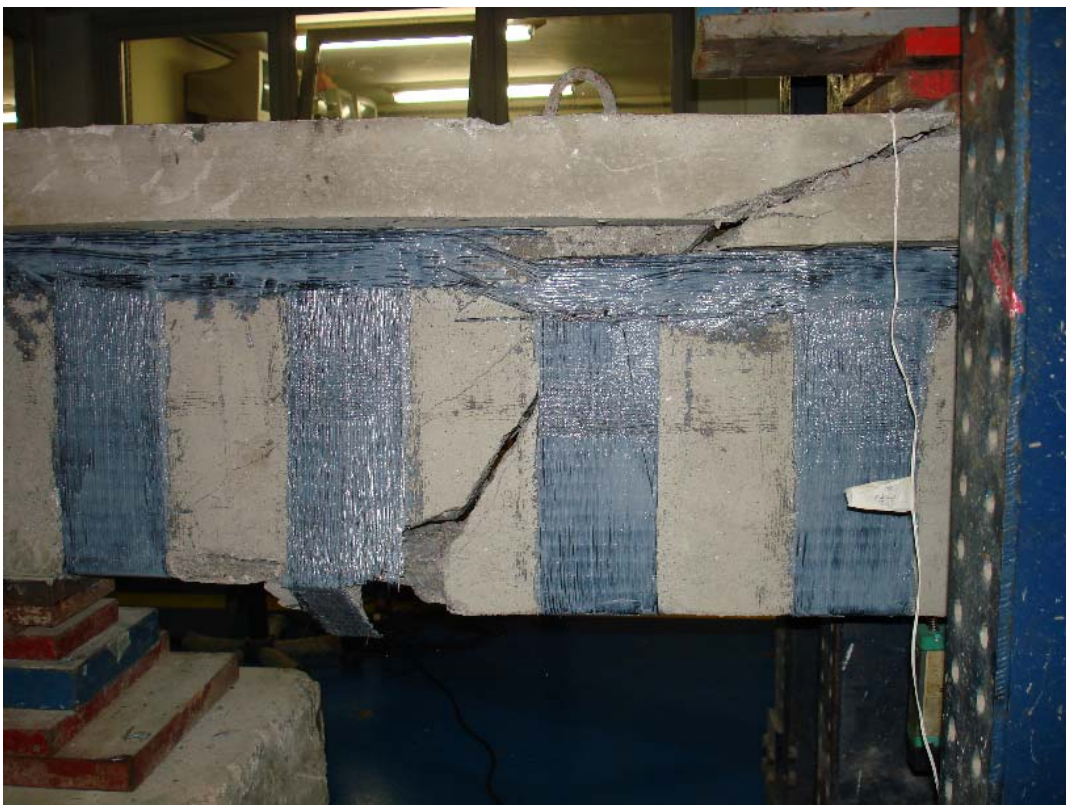


Foto A.34 – Detalhe da ruptura da viga VII-2 (2).



Foto A.35 – Detalhe da ruptura da viga VII-3 (1).



Foto A.36 – Detalhe da ruptura da viga VII-3 (2).

Anexo B

Resultados dos Ensaios à Tração das Barras de Aço

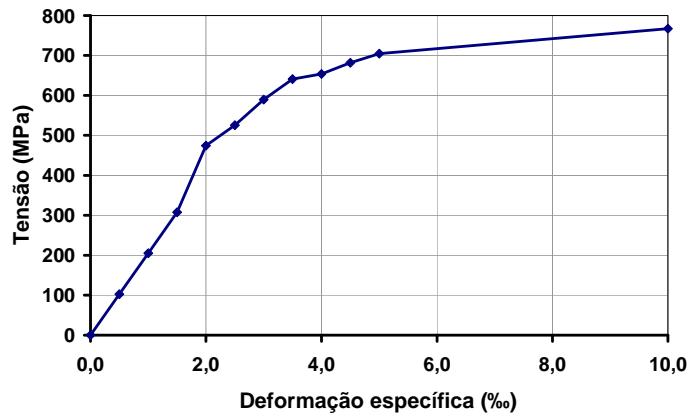


Figura B.1 – Diagrama tensão x deformação específica da primeira barra de aço ensaiada com diâmetro de 5,0 mm.

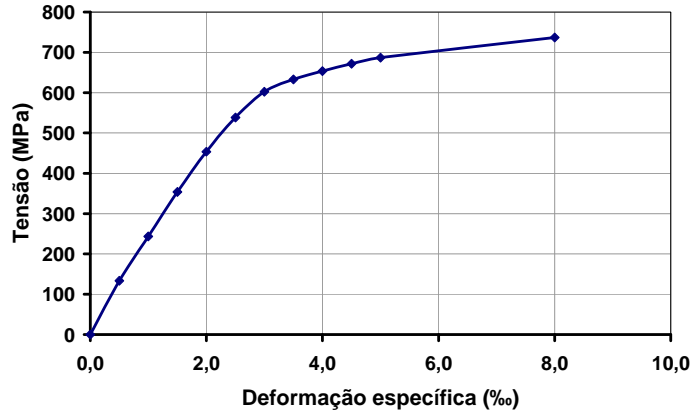


Figura B.2 – Diagrama tensão x deformação específica da segunda barra de aço ensaiada com diâmetro de 5,0 mm.

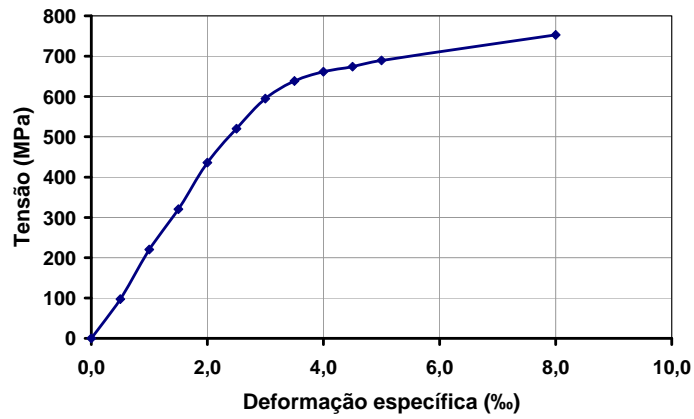


Figura B.3 – Diagrama tensão x deformação específica da terceira barra de aço ensaiada com diâmetro de 5,0 mm.

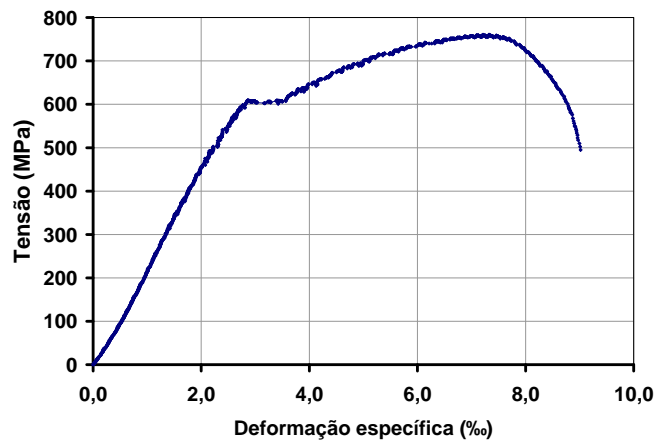


Figura B.4 – Diagrama tensão x deformação específica da primeira barra de aço ensaiada com diâmetro de 16,0 mm.

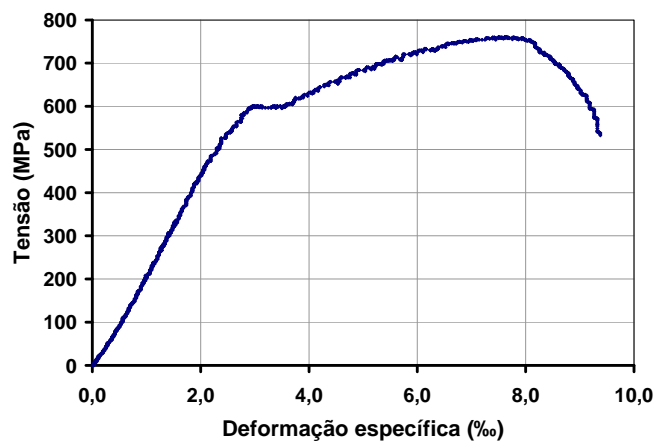


Figura B.5 – Diagrama tensão x deformação específica da segunda barra de aço ensaiada com diâmetro de 16,0 mm.

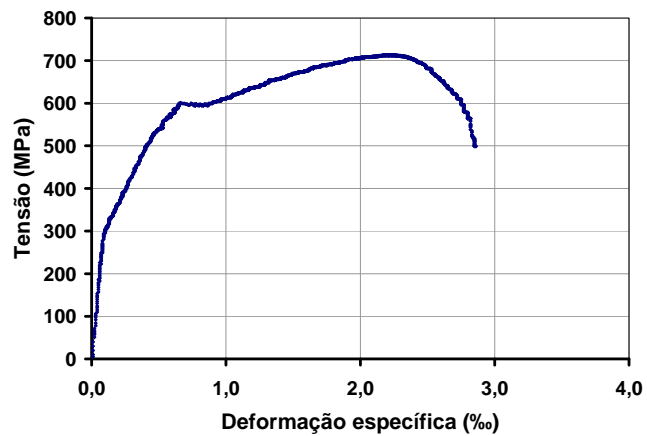


Figura B.6 – Diagrama tensão x deformação específica da terceira barra de aço ensaiada com diâmetro de 16,0 mm.

Anexo C

Resultados dos Ensaios à Tração dos Corpos-de-Prova de CFC

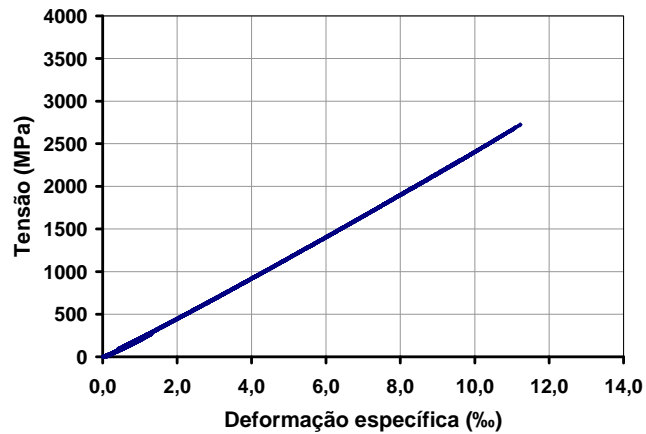


Figura C.1 – Diagrama tensão x deformação específica do primeiro corpo-de-prova ensaiado de CFC.

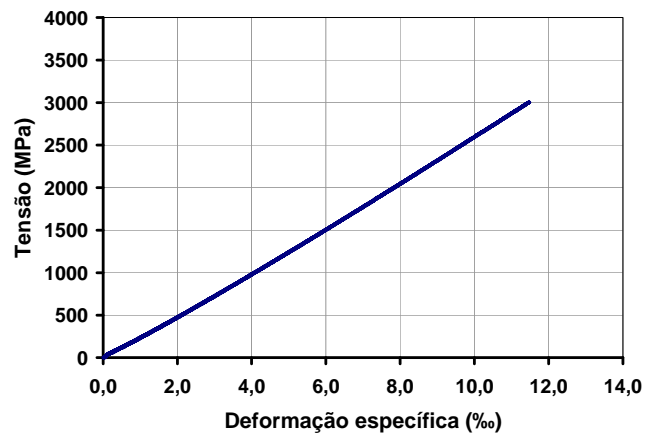


Figura C.2 – Diagrama tensão x deformação específica do segundo corpo-de-prova ensaiado de CFC.

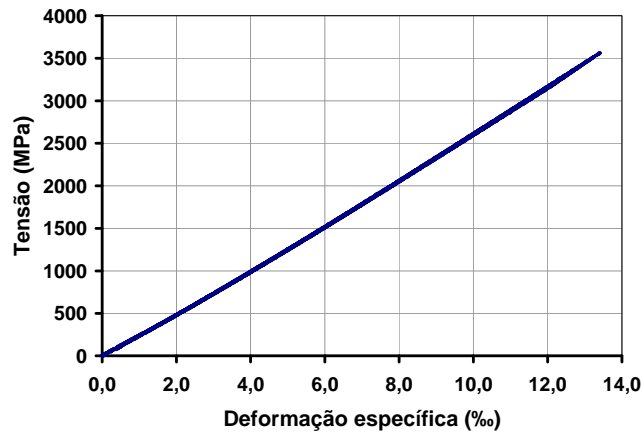


Figura C.3 – Diagrama tensão x deformação específica do terceiro corpo-de-prova ensaiado de CFC.

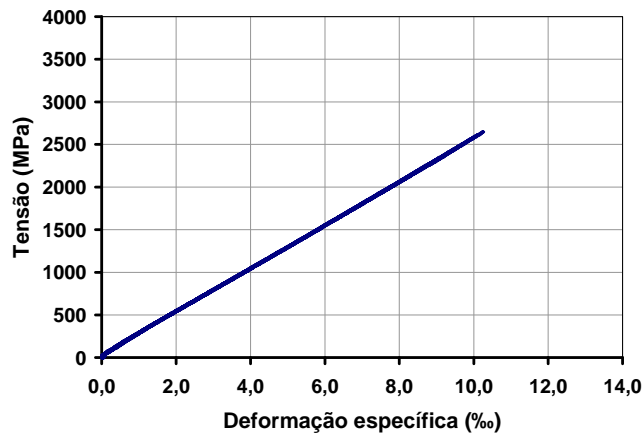


Figura C.4 – Diagrama tensão x deformação específica do quarto corpo-de-prova ensaiado de CFC.

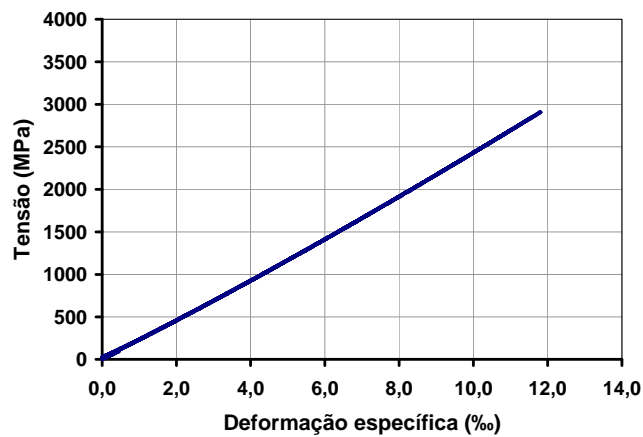


Figura C.5 – Diagrama tensão x deformação específica do quinto corpo-de-prova ensaiado de CFC.

Anexo D

Resultados dos Ensaio das Vigas

Tabela D.1 – Leituras dos LVDT e extensômetros colados no aço da viga VR1.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,22	0,00	0,00	0,07	0,009	-0,006	0,004	0,001	0,001
2,10	0,00	0,00	0,08	-0,009	-0,004	0,003	0,004	0,002
2,70	0,00	0,00	0,08	-0,009	-0,003	0,004	0,003	0,005
3,48	0,00	0,01	0,08	-0,011	-0,004	0,004	0,003	0,008
4,87	0,00	0,04	0,07	-0,011	-0,004	0,005	0,004	0,012
5,71	0,00	0,06	0,07	-0,010	-0,003	0,004	0,003	0,013
7,49	0,00	0,10	0,07	-0,011	-0,003	0,005	0,004	0,019
7,66	0,00	0,11	0,06	-0,007	-0,004	0,006	0,004	0,020
9,59	0,00	0,16	0,06	-0,009	-0,005	0,005	0,005	0,025
11,59	0,00	0,20	0,05	-0,010	-0,005	0,005	0,005	0,031
13,97	0,00	0,26	0,04	-0,009	-0,004	0,006	0,006	0,038
15,67	0,00	0,31	0,04	-0,007	-0,005	0,006	0,006	0,044
17,44	0,00	0,36	0,03	-0,005	-0,004	0,008	0,006	0,050
19,88	0,00	0,42	0,02	-0,006	-0,005	0,007	0,006	0,058
21,79	0,00	0,47	0,01	-0,007	-0,005	0,007	0,007	0,064
23,74	0,00	0,52	0,00	-0,006	-0,005	0,007	0,008	0,072
25,53	0,00	0,57	-0,01	-0,002	-0,005	0,010	0,009	0,079
27,66	0,00	0,62	-0,02	-0,003	-0,005	0,009	0,009	0,088
29,96	0,00	0,67	-0,04	-0,005	-0,005	0,008	0,010	0,099
30,85	0,00	0,69	-0,04	-0,004	-0,004	0,009	0,009	0,105
31,80	0,00	0,72	-0,06	-0,003	-0,004	0,010	0,010	0,116
33,49	0,00	0,76	-0,06	-0,005	-0,007	0,010	0,011	0,126
35,60	0,00	0,81	-0,07	0,000	-0,005	0,012	0,010	0,140
40,64	0,01	0,93	-0,08	-0,004	-0,007	0,013	0,012	0,183
51,31	0,01	1,31	0,04	-0,004	-0,006	0,012	0,012	0,348
56,02	0,01	1,42	0,03	0,001	-0,007	0,016	0,012	0,391
60,15	0,01	1,59	0,04	0,000	-0,009	0,019	0,014	0,438
65,90	0,01	1,74	0,03	0,002	-0,005	0,023	0,014	0,481
70,67	0,01	1,91	0,03	0,003	-0,005	0,024	0,015	0,529
70,92	0,01	2,03	0,03	0,006	-0,005	0,031	0,018	0,553
75,54	0,01	2,15	0,03	0,005	-0,008	0,031	0,019	0,583
81,00	0,01	2,48	-0,01	0,000	-0,008	0,041	0,025	0,618
80,50	0,01	2,52	-0,01	0,002	-0,012	0,046	0,031	0,630
85,66	0,01	2,64	-0,01	0,000	-0,011	0,047	0,029	0,660
85,43	0,01	2,65	-0,01	0,002	-0,013	0,050	0,031	0,666

Tabela D.1 – Continuação.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
96,79	0,02	3,05	-0,03	0,011	0,018	0,066	0,037	0,759
95,90	0,02	3,05	-0,03	0,011	0,018	0,067	0,042	0,757
105,89	0,02	3,33	-0,01	0,012	0,005	0,067	0,050	0,827
115,86	0,02	3,64	-0,01	0,010	-0,117	0,072	0,057	0,908
116,09	0,02	3,83	-0,03	0,014	-0,381	0,158	0,060	0,919
125,41	0,02	4,08	-0,05	0,014	-0,401	0,186	0,063	0,985
135,53	0,02	4,42	-0,17	0,012	-0,428	0,257	0,051	1,065
136,33	0,02	4,49	-0,21	0,019	-0,402	0,331	0,043	1,078
146,61	0,02	4,81	-0,03	0,016	-0,358	0,391	0,042	1,146
156,41	0,02	5,13	0,04	0,024	-0,335	0,469	0,047	1,226
164,88	0,02	5,45	0,07	0,305	-0,173	0,569	0,073	1,295
166,77	0,02	5,53	0,07	0,359	-0,140	0,660	0,062	1,310
175,65	0,02	5,75	0,07	0,399	-0,107	0,709	0,057	1,373
186,30	0,02	6,12	0,07	0,473	-0,038	1,478	0,102	1,451
196,02	0,02	6,44	0,05	1,271	-0,070	2,111	0,116	1,520
205,91	0,02	6,70	0,02	1,435	-0,108	2,296	0,146	1,589
216,32	0,02	7,01	-0,01	1,565	-0,139	2,633	0,224	1,666
225,97	0,02	7,29	0,00	1,660	-0,104	2,970	0,288	1,739
236,37	0,02	7,59	-0,02	1,748	-0,090	3,285	0,356	1,810
246,69	0,02	7,87	-0,08	1,831	-0,049	3,603	0,414	1,883
257,26	0,02	8,17	-0,11	1,915	0,086	3,964	0,508	1,955
266,09	0,02	8,42	-0,11	1,988	0,181	4,204	0,570	2,013
276,02	0,02	8,69	-0,16	2,061	0,256	4,403	0,654	2,078
296,79	0,02	9,25	-0,16	2,156	0,221	4,805	0,812	2,207
305,62	0,02	9,49	-0,14	2,208	0,183	4,949	0,889	2,259
316,04	0,02	9,80	-0,15	2,163	0,254	5,110	0,994	2,321
326,17	0,03	10,11	-0,15	2,048	0,652	5,211	1,078	2,379
335,85	0,02	10,56	-0,18	2,078	0,702	5,304	1,164	2,436
346,69	0,03	10,88	-0,19	2,101	0,805	5,345	1,207	2,496
356,10	0,03	11,16	-0,21	2,126	1,028	5,392	1,268	2,547
366,16	0,03	11,47	-0,24	2,164	1,132	5,435	1,323	2,602
375,52	0,03	11,77	-0,22	2,193	1,145	5,464	1,361	2,655
387,08	0,03	12,16	-0,25	2,234	1,320	5,504	1,410	2,682
396,55	0,03	12,59	-0,23	2,271	1,830	5,516	1,451	2,708
407,22	0,03	13,05	-0,22	2,302	2,078	5,508	1,489	2,867

Tabela D.2 – Leituras dos extensômetros colados na superfície do concreto da viga VR1.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,22	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000
2,10	0,001	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000
2,70	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000	0,001
3,48	0,000	0,004	0,001	0,001	-0,001	0,001
4,87	0,000	0,004	0,002	0,001	-0,001	0,002
5,71	0,000	0,004	0,003	0,000	-0,003	0,002
7,49	0,000	0,004	0,004	-0,001	-0,003	0,002
7,66	0,000	0,004	0,002	0,000	-0,002	0,003
9,59	-0,001	0,003	0,005	0,000	-0,006	0,003
11,59	-0,001	0,003	0,006	0,000	-0,007	0,004
13,97	-0,001	0,003	0,006	-0,001	-0,008	0,005
15,67	-0,001	0,003	0,008	-0,001	-0,011	0,006
17,44	-0,001	0,003	0,007	-0,002	-0,010	0,006
19,88	-0,001	0,002	0,009	-0,002	-0,013	0,007
21,79	-0,002	0,002	0,011	-0,002	-0,015	0,008
23,74	-0,002	0,001	0,012	-0,002	-0,017	0,009
25,53	-0,002	0,001	0,010	-0,003	-0,015	0,010
27,66	-0,003	0,001	0,012	-0,003	-0,017	0,010
29,96	-0,003	0,000	0,013	-0,004	-0,020	0,012
30,85	-0,004	0,000	0,013	-0,004	-0,021	0,012
31,80	-0,004	0,000	0,014	-0,005	-0,022	0,013
33,49	-0,004	-0,001	0,014	-0,003	-0,024	0,013
35,60	-0,005	-0,001	0,016	-0,006	-0,024	0,014
40,64	-0,006	-0,002	0,017	-0,004	-0,030	0,016
51,31	-0,010	-0,008	0,023	-0,010	-0,041	0,023
56,02	-0,010	-0,010	0,023	-0,011	-0,043	0,027
60,15	-0,010	-0,011	0,027	-0,010	-0,047	0,032
65,90	-0,012	-0,013	0,028	-0,013	-0,050	0,037
70,67	-0,014	-0,015	0,034	-0,013	-0,055	0,044
70,92	-0,011	-0,003	0,007	-0,013	-0,049	0,055
75,54	-0,011	-0,003	0,005	-0,010	-0,051	0,057
81,00	0,002	0,024	0,004	-0,001	-0,029	0,059
80,50	0,005	0,026	0,003	-0,001	-0,028	0,059
85,66	0,004	0,023	0,004	0,000	-0,030	0,060
85,43	0,005	0,024	0,003	0,001	-0,029	0,061

Tabela D.2 – Continuação.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)
96,79	0,017	0,028	-0,018	0,003	-0,030	0,054
95,90	0,017	0,029	-0,019	0,005	-0,029	0,052
105,89	0,020	0,027	-0,020	0,011	-0,036	0,038
115,86	0,028	0,026	-0,031	0,018	-0,035	0,038
116,09	0,025	0,027	-0,062	0,033	-0,046	-0,050
125,41	0,024	0,019	-0,069	0,036	-0,054	-0,057
135,53	0,017	0,006	-0,079	0,014	-0,069	-0,067
136,33	0,014	0,005	-0,079	0,007	-0,080	-0,093
146,61	0,010	-0,003	-0,086	0,005	-0,094	-0,114
156,41	0,005	-0,006	-0,088	0,014	-0,098	-0,122
164,88	0,276	-0,004	-0,150	-0,028	-0,122	-0,181
166,77	0,339	0,000	-0,157	-0,035	-0,127	-0,198
175,65	0,408	-0,006	-0,166	-0,036	-0,135	-0,208
186,30	0,580	-0,024	-0,177	-0,038	-0,194	-0,200
196,02	–	-0,120	-0,184	-0,045	-0,215	-0,205
205,91	–	-0,131	-0,187	-0,042	-0,224	-0,210
216,32	–	-0,135	-0,190	-0,042	-0,234	-0,216
225,97	–	-0,139	-0,193	-0,042	-0,243	-0,221
236,37	–	-0,144	-0,200	-0,042	-0,253	-0,227
246,69	–	-0,151	-0,204	-0,040	-0,263	-0,232
257,26	–	-0,157	-0,210	-0,043	-0,272	-0,240
266,09	–	-0,166	-0,215	-0,043	-0,281	-0,246
276,02	–	-0,170	-0,219	-0,041	-0,290	-0,253
296,79	–	-0,190	-0,231	-0,043	-0,311	-0,269
305,62	–	-0,197	-0,234	-0,048	-0,320	-0,277
316,04	–	-0,205	-0,267	-0,049	-0,336	-0,285
326,17	–	-0,220	–	-0,049	-0,349	-0,291
335,85	–	-0,227	–	-0,052	-0,362	-0,301
346,69	–	-0,236	–	-0,050	-0,375	-0,309
356,10	–	-0,245	–	-0,054	-0,390	-0,320
366,16	–	-0,256	–	-0,056	-0,404	-0,333
375,52	–	-0,268	–	-0,057	-0,419	-0,347
387,08	–	-0,283	–	-0,059	-0,436	-0,368
396,55	–	-0,298	–	-0,061	-0,451	-0,394
407,22	–	-0,312	–	-0,059	-0,462	-0,418

Tabela D.3 – Leituras dos LVDT e extensômetros colados no aço da viga VI-1.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
0,71	0,00	0,00	0,00	0,014	-0,003	0,009	-0,004	0,001
1,19	0,00	0,00	-0,01	0,014	-0,003	0,008	-0,005	0,002
5,01	0,00	0,02	-0,01	0,014	-0,002	0,008	-0,005	0,010
10,22	0,00	0,08	0,00	0,014	-0,001	0,007	-0,005	0,020
15,00	0,00	0,20	0,00	0,014	0,000	0,007	-0,005	0,031
20,03	0,00	0,28	-0,01	0,014	0,001	0,006	-0,006	0,044
30,29	0,00	0,47	0,10	0,015	0,003	0,005	-0,005	0,067
40,27	0,19	0,68	0,32	0,015	0,005	0,004	-0,006	0,092
50,29	0,54	1,05	0,65	0,021	0,006	0,003	-0,006	0,243
60,45	0,93	1,44	1,01	0,025	0,008	0,002	-0,001	0,370
70,38	1,24	1,77	1,31	0,026	0,009	0,001	-0,002	0,475
80,17	1,62	2,15	1,67	0,052	0,001	0,004	-0,010	0,569
90,06	1,94	2,48	1,98	0,050	0,000	0,017	0,017	0,639
100,11	2,22	2,78	2,25	0,050	-0,001	0,017	0,011	0,706
110,10	2,49	3,06	2,50	0,051	-0,002	0,017	0,009	0,770
120,04	2,76	3,35	2,75	0,054	-0,002	0,021	0,010	0,838
130,06	3,08	3,67	3,03	0,077	-0,010	0,024	0,017	0,904
140,15	3,41	4,02	3,34	0,150	-0,004	0,018	0,038	0,971
149,95	3,73	4,38	3,68	0,172	-0,002	-0,008	0,086	1,035
160,19	4,01	4,68	3,95	0,188	0,000	-0,011	0,116	1,100
165,17	4,18	4,86	4,12	0,199	0,003	-0,011	0,145	1,148
165,41	4,35	5,02	4,26	0,220	0,005	-0,009	0,167	1,166
164,97	4,53	5,23	4,43	0,229	0,007	-0,008	0,192	1,205
160,39	4,75	5,66	4,62	0,239	0,014	-0,005	0,320	1,172
170,27	4,93	5,87	4,82	0,245	0,017	-0,002	0,324	1,229
180,31	5,15	6,11	5,01	0,251	0,022	-0,006	0,329	1,287
190,20	5,38	6,35	5,24	0,257	0,026	-0,009	0,336	1,349
200,70	5,62	6,62	5,45	0,265	0,033	-0,013	0,342	1,413
220,20	6,12	7,14	5,92	0,280	0,088	-0,023	0,363	1,537
240,20	6,63	7,69	6,41	0,301	0,135	-0,028	0,401	1,662
260,07	7,22	8,31	6,95	0,493	0,225	-0,025	0,403	1,793
280,09	7,87	8,95	7,51	1,486	0,485	-0,023	0,420	1,909
300,30	8,45	9,55	8,03	1,762	0,698	-0,019	0,467	2,038
320,57	9,03	10,14	8,56	1,993	0,939	-0,011	0,529	2,164
340,72	9,60	10,73	9,08	2,010	1,212	0,005	0,600	2,285
360,14	10,16	11,33	9,62	2,010	1,564	0,190	0,715	2,404
380,18	10,71	11,95	10,16	2,010	1,874	0,301	0,868	2,526
400,21	11,29	12,57	10,72	2,010	2,239	0,402	1,115	2,650
420,00	11,97	13,33	11,40	2,010	2,728	0,573	1,407	2,783
437,58	12,72	14,22	12,09	2,010	3,297	0,735	1,737	2,918

Tabela D.3 – Continuação.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
440,39	12,72	14,22	12,10	2,010	3,355	0,744	1,746	2,926
460,42	13,02	14,53	12,45	2,010	3,472	0,778	1,824	3,021
461,70	13,14	14,65	12,57	2,010	3,624	0,825	1,906	3,107
470,28	13,33	14,86	12,75	2,010	3,652	0,840	1,957	3,167
475,93	13,48	15,04	12,91	2,010	3,686	0,861	2,024	3,227
480,23	13,63	15,19	13,04	2,010	3,721	0,880	2,087	3,272
489,41	13,95	15,57	13,37	2,010	3,827	0,933	2,246	3,307
490,89	14,01	15,62	13,42	2,010	3,844	0,941	2,269	3,313
497,51	14,25	15,89	13,66	2,010	3,917	0,980	2,378	3,421
500,16	14,35	16,00	13,75	2,010	3,947	0,997	2,424	3,449
503,37	14,48	16,14	13,87	2,010	3,979	1,017	2,488	3,481
505,61	14,57	16,24	13,96	2,010	4,001	1,031	2,532	3,491
510,08	14,73	16,42	14,13	2,010	4,036	1,059	2,612	3,517
516,62	15,00	16,70	14,38	2,010	4,084	1,110	2,703	3,655
517,18	15,01	16,73	14,40	2,010	4,088	1,114	2,710	3,660
520,27	15,14	16,86	14,52	2,010	4,115	1,135	2,756	3,697
518,85	15,21	16,97	14,65	2,010	4,128	1,158	2,923	3,699
520,31	15,27	17,07	14,73	2,010	4,143	1,199	2,992	3,709
522,16	15,34	17,15	14,81	2,010	4,154	1,225	3,026	3,719
523,60	15,40	17,22	14,88	2,010	4,162	1,241	3,052	3,731
525,03	15,47	17,30	14,94	2,010	4,170	1,253	3,074	3,746
525,11	15,48	17,31	14,95	2,010	4,170	1,255	3,076	3,748
530,17	15,68	17,55	15,16	2,010	4,189	1,280	3,131	3,798
531,39	15,73	17,64	15,24	2,010	4,194	1,288	3,148	3,811
532,69	15,80	17,74	15,33	2,010	4,200	1,295	3,171	3,830
533,33	15,84	17,77	15,37	2,010	4,203	1,298	3,184	3,837
535,22	15,93	17,88	15,47	2,010	4,209	1,305	3,211	3,858
540,05	16,16	18,17	15,73	2,010	4,224	1,323	3,270	3,941
540,30	16,17	18,19	15,74	2,010	4,225	1,324	3,273	3,946
541,52	16,24	18,27	15,82	2,010	4,229	1,327	3,290	3,975
541,84	16,26	18,30	15,85	2,010	4,230	1,328	3,296	3,985
543,26	16,33	18,38	15,92	2,010	4,233	1,331	3,311	4,008
545,24	16,41	18,49	16,02	2,010	4,236	1,334	3,332	4,045
545,96	16,46	18,55	16,08	2,010	4,237	1,334	3,346	4,060
546,27	16,48	18,57	16,11	2,010	4,238	1,333	3,352	4,065
547,18	16,53	18,64	16,16	2,010	4,240	1,333	3,365	4,083
547,83	16,61	18,73	16,24	2,010	4,239	1,329	3,382	4,108
548,58	16,66	18,79	16,30	2,010	4,240	1,327	3,394	4,123
550,10	16,75	18,90	16,40	2,010	4,242	1,326	3,418	4,147
550,87	16,79	18,96	16,45	2,010	4,243	1,325	3,431	4,157
551,84	16,87	19,06	16,54	2,010	4,244	1,324	3,455	4,175
552,79	16,95	19,19	16,67	2,010	4,246	1,323	3,487	4,208

Tabela D.4 – Leituras dos extensômetros colados na superfície do concreto e do CFC da viga VI-1.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)	SG12 (‰)	SG13 (‰)	SG14 (‰)	SG15 (‰)
0,71	-0,009	-0,004	-0,005	-0,006	-0,004	-0,008	–	–	–	–
1,19	-0,010	-0,005	-0,006	-0,008	-0,005	-0,009	–	–	–	–
5,01	-0,011	-0,006	-0,006	-0,010	-0,006	-0,009	–	–	–	–
10,22	-0,014	-0,007	-0,007	-0,012	-0,008	-0,009	–	–	–	–
15,00	-0,015	-0,009	-0,007	-0,013	-0,009	-0,009	–	–	–	–
20,03	-0,016	-0,010	-0,008	-0,014	-0,010	-0,010	–	–	–	–
30,29	-0,020	-0,012	-0,009	-0,017	-0,012	-0,010	–	–	–	–
40,27	-0,023	-0,015	-0,010	-0,020	-0,014	-0,010	–	–	–	–
50,29	-0,026	-0,017	-0,012	-0,023	-0,017	-0,010	–	–	–	–
60,45	-0,028	-0,020	-0,013	-0,026	-0,019	-0,011	–	–	–	–
70,38	-0,031	-0,023	-0,015	-0,029	-0,021	-0,012	–	–	–	–
80,17	-0,034	-0,031	-0,026	-0,032	-0,026	-0,017	–	–	–	–
90,06	-0,038	-0,035	-0,030	-0,040	-0,039	-0,034	–	–	–	–
100,11	-0,041	-0,039	-0,035	-0,042	-0,046	-0,044	–	–	–	–
110,10	-0,045	-0,043	-0,040	-0,048	-0,054	-0,053	–	–	–	–
120,04	-0,047	-0,048	-0,046	-0,056	-0,073	-0,083	–	–	–	–
130,06	-0,057	-0,078	-0,098	-0,066	-0,089	-0,101	–	–	–	–
140,15	-0,106	-0,114	-0,097	-0,084	-0,114	-0,126	–	–	–	–
149,95	-0,118	-0,126	-0,107	-0,166	-0,213	-0,240	–	–	–	–
160,19	-0,129	-0,138	-0,127	-0,190	-0,244	-0,270	–	–	–	–
165,17	-0,138	-0,148	-0,146	-0,203	-0,259	-0,285	–	–	–	–
165,41	-0,144	-0,158	-0,168	-0,211	-0,266	-0,290	–	–	–	–
164,97	-0,158	-0,180	-0,196	-0,225	-0,282	-0,306	–	–	–	–
160,39	-0,168	-0,183	-0,200	-0,234	-0,286	-0,305	0,000	-0,018	0,010	0,000
170,27	-0,182	-0,199	-0,215	-0,241	-0,295	-0,315	0,196	-0,017	0,012	0,029
180,31	-0,196	-0,214	-0,228	-0,250	-0,306	-0,325	0,372	-0,018	0,014	0,062
190,20	-0,210	-0,229	-0,242	-0,261	-0,317	-0,337	0,506	-0,017	0,017	0,101
200,70	-0,224	-0,244	-0,255	-0,271	-0,328	-0,349	0,607	-0,016	0,020	0,172
220,20	-0,247	-0,272	-0,280	-0,281	-0,354	-0,377	0,792	-0,014	0,025	0,456
240,20	-0,273	-0,300	-0,310	-0,308	-0,377	-0,407	0,969	-0,073	0,030	1,032
260,07	-0,298	-0,330	-0,341	-0,329	-0,404	-0,437	1,149	-0,070	0,069	1,514
280,09	-0,321	-0,364	-0,382	-0,353	-0,430	-0,467	1,394	0,162	0,105	1,754
300,30	-0,339	-0,390	-0,414	-0,377	-0,457	-0,496	1,535	0,434	0,162	2,092
320,57	-0,353	-0,416	-0,446	-0,401	-0,484	-0,524	1,687	1,263	0,240	2,521
340,72	-0,358	-0,436	-0,479	-0,422	-0,508	-0,551	1,832	2,106	0,529	3,001
360,14	-0,352	-0,449	-0,515	-0,405	-0,511	-0,581	2,030	3,269	1,271	3,470
380,18	-0,352	-0,467	-0,549	-0,395	-0,495	-0,632	2,242	4,095	1,542	3,775
400,21	-0,344	-0,477	-0,581	-0,399	-0,497	-0,679	2,549	4,557	1,898	3,969
420,00	-0,328	-0,456	-0,636	-0,389	-0,498	-0,768	2,945	4,883	2,174	4,112
437,58	-0,315	-0,438	-0,698	-0,425	-0,510	-0,831	3,415	5,340	2,720	4,509

Tabela D.4 – Continuação.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)	SG12 (‰)	SG13 (‰)	SG14 (‰)	SG15 (‰)
440,39	-0,314	-0,440	-0,700	-0,433	-0,508	-0,835	3,426	5,352	2,754	4,507
460,42	-0,317	-0,445	-0,732	-0,473	-0,488	-0,866	3,585	5,599	3,214	4,602
461,70	-0,305	-0,442	-0,750	-0,496	-0,440	-0,874	3,692	5,715	3,452	4,519
470,28	-0,307	-0,445	-0,767	-0,507	-0,422	-0,887	3,775	5,839	3,584	4,614
475,93	-0,306	-0,447	-0,781	-0,516	-0,402	-0,896	3,848	5,946	3,707	4,704
480,23	-0,306	-0,446	-0,792	-0,523	-0,379	-0,903	3,914	6,030	3,816	4,769
489,41	-0,303	-0,445	-0,824	-0,540	-0,317	-0,919	4,104	6,226	4,129	4,914
490,89	-0,304	-0,445	-0,830	-0,542	-0,308	-0,922	4,135	6,268	4,172	4,952
497,51	-0,305	-0,445	-0,858	-0,555	-0,271	-0,935	4,255	6,458	4,371	5,095
500,16	-0,304	-0,444	-0,871	-0,560	-0,254	-0,940	4,300	6,546	4,461	4,982
503,37	-0,304	-0,444	-0,886	-0,565	-0,229	-0,945	4,368	6,569	4,607	4,975
505,61	-0,304	-0,443	-0,898	-0,570	-0,211	-0,950	4,407	6,364	4,674	5,048
510,08	-0,304	-0,443	-0,922	-0,579	-0,180	-0,961	4,476	6,411	4,736	5,277
516,62	-0,298	-0,432	-0,967	-0,592	-0,023	-0,975	4,483	6,539	4,892	5,575
517,18	-0,298	-0,432	-0,969	-0,592	-	-0,975	4,487	6,550	4,897	5,596
520,27	-0,296	-0,424	-0,990	-0,598	-	-0,982	4,502	6,620	4,934	5,732
518,85	-0,292	-0,417	-0,993	-0,598	-	-0,953	4,503	6,624	4,904	2,925
520,31	-0,291	-0,411	-1,000	-0,603	-	-0,961	4,513	6,648	4,911	2,843
522,16	-0,290	-0,403	-1,007	-0,608	-	-0,968	4,520	6,676	4,926	2,828
523,60	-0,287	-0,394	-1,013	-0,613	-	-0,976	4,491	6,704	4,944	2,803
525,03	-0,285	-0,385	-1,018	-0,618	-	-0,984	4,481	6,724	4,963	2,770
525,11	-0,285	-0,384	-1,018	-0,619	-	-0,985	4,480	6,726	4,966	2,768
530,17	-0,280	-0,364	-0,996	-0,635	-	-1,009	4,473	6,797	5,031	2,753
531,39	-0,280	-0,360	-0,990	-0,640	-	-1,016	4,464	6,819	5,053	2,789
532,69	-0,279	-0,356	-0,985	-0,646	-	-1,024	4,451	6,840	5,079	2,839
533,33	-0,279	-0,354	-0,984	-0,650	-	-1,029	4,452	6,850	5,090	2,845
535,22	-0,280	-0,349	-0,981	-0,657	-	-1,037	4,459	6,882	5,112	2,833
540,05	-0,285	-0,336	-0,975	-0,678	-	-1,002	4,512	6,972	5,187	2,789
540,30	-0,285	-0,336	-0,975	-0,679	-	-1,003	4,514	6,975	5,191	2,790
541,52	-0,287	-0,333	-0,974	-0,686	-	-1,009	4,526	6,990	5,213	2,797
541,84	-0,288	-0,332	-0,974	-0,688	-	-1,012	4,530	6,996	5,220	2,804
543,26	-0,290	-0,330	-0,975	-0,694	-	-1,016	4,541	7,015	5,239	2,775
545,24	-0,293	-0,328	-0,976	-0,702	-	-1,024	4,557	7,043	5,264	2,741
545,96	-0,294	-0,327	-0,977	-0,707	-	-1,028	4,565	7,059	5,280	2,750
546,27	-0,294	-0,326	-0,977	-0,709	-	-1,029	4,568	7,065	5,286	2,761
547,18	-0,296	-0,325	-0,977	-0,713	-	-1,034	4,576	7,082	5,298	2,752
547,83	-0,299	-0,317	-0,979	-0,717	-	-1,040	4,551	7,252	5,311	2,701
548,58	-0,300	-0,316	-0,981	-0,721	-	-1,044	4,550	7,293	5,322	2,674
550,10	-0,303	-0,314	-0,984	-0,727	-	-1,052	4,557	7,334	5,345	2,553
550,87	-0,304	-0,313	-0,985	-0,730	-	-1,055	4,561	7,350	5,358	2,512
551,84	-0,306	-0,311	-0,986	-0,736	-	-1,058	4,568	7,372	5,375	2,434
552,79	-0,308	-0,309	-0,987	-0,742	-	-1,063	4,575	7,398	5,387	2,360

Tabela D.5 – Leituras dos LVDT e extensômetros colados no aço da viga VI-2.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
0,00	0,00	0,00	0,00	-0,029	-0,006	0,027	0,084	0,001
0,47	0,00	-0,01	0,01	-0,028	-0,006	0,028	0,082	0,006
5,28	0,02	-0,01	0,05	-0,028	-0,007	0,029	0,082	0,016
10,46	0,03	-0,01	0,11	-0,028	-0,007	0,029	0,081	0,027
15,58	0,04	-0,01	0,18	-0,029	-0,007	0,029	0,082	0,038
20,19	0,16	-0,01	0,26	-0,028	-0,007	0,029	0,082	0,047
30,48	0,34	0,04	0,44	-0,029	-0,019	0,029	0,082	0,071
40,51	0,54	0,25	0,63	-0,030	-0,021	0,028	0,083	0,126
50,29	0,88	0,59	0,94	-0,030	-0,025	0,028	0,084	0,248
60,43	1,16	0,89	1,22	-0,030	-0,023	0,022	0,085	0,357
70,42	1,49	1,20	1,52	-0,034	-0,038	0,028	0,087	0,445
80,35	1,76	1,46	1,78	-0,035	-0,042	0,034	0,089	0,523
90,21	2,06	1,74	2,07	-0,037	-0,118	0,027	0,091	0,597
100,13	2,29	1,99	2,30	-0,055	-0,142	0,015	0,092	0,659
110,12	2,59	2,31	2,58	-0,065	-0,030	-0,004	0,098	0,721
120,29	2,83	2,58	2,82	-0,070	0,048	-0,008	0,099	0,778
130,22	3,07	2,85	3,06	-0,076	0,171	-0,004	0,098	0,837
140,11	3,31	3,14	3,32	-0,079	0,231	0,023	0,096	0,898
150,78	3,80	3,66	3,82	-0,057	0,427	0,883	0,089	0,960
160,24	4,01	3,90	4,04	-0,059	0,403	1,002	0,086	1,013
165,23	4,16	4,07	4,20	-0,065	0,371	1,090	0,086	1,046
165,22	4,23	4,17	4,32	-0,066	0,362	1,131	0,088	1,056
166,97	4,26	4,20	4,38	-0,068	0,319	1,142	0,087	1,063
166,83	4,62	4,53	4,76	-0,412	0,280	1,253	0,084	1,133
160,27	4,53	4,38	4,64	-0,339	0,477	1,081	0,217	1,111
170,28	4,68	4,54	4,79	-0,343	0,459	1,112	0,218	1,154
180,29	4,84	4,72	4,94	-0,348	0,441	1,145	0,218	1,201
190,31	5,00	4,92	5,12	-0,353	0,422	1,179	0,219	1,251
200,25	5,17	5,12	5,31	-0,358	0,403	1,218	0,219	1,304
220,46	5,56	5,59	5,70	-0,375	0,365	1,305	0,221	1,413
240,26	5,95	6,04	6,13	-0,414	0,332	1,407	0,224	1,521
260,59	6,38	6,55	6,58	-0,432	0,295	1,526	0,227	1,631
280,31	6,82	7,07	7,04	-0,152	0,269	1,662	0,231	1,737
303,66	7,34	7,69	7,59	-0,012	0,224	1,837	0,233	1,865
319,82	7,90	8,33	8,15	0,048	0,200	2,031	0,234	1,979
340,41	8,21	8,65	8,44	0,078	0,145	2,160	0,238	2,075
360,08	8,72	9,27	9,01	0,130	0,170	2,416	3,481	2,193
380,32	9,18	9,82	9,48	0,191	0,241	2,587	4,105	2,312
400,29	9,64	10,37	9,98	0,261	0,354	2,783	4,646	2,429

Tabela D.5 – Continuação.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
420,21	10,13	10,95	10,52	0,342	0,382	3,040	5,024	2,552
440,26	10,62	11,56	11,04	0,432	0,350	3,323	5,402	2,688
460,41	11,11	12,13	11,56	0,500	0,225	3,559	5,684	2,824
480,31	11,63	12,74	12,11	0,547	0,288	3,756	5,915	2,992
500,21	12,18	13,40	12,72	0,635	0,543	3,962	6,051	3,155
512,96	12,53	13,82	13,10	0,723	0,842	4,140	6,103	3,275
515,85	12,62	13,93	13,19	0,747	0,905	4,189	6,121	3,309
519,80	12,75	14,08	13,31	0,782	0,983	4,251	6,147	3,350
530,42	13,10	14,48	13,67	0,922	1,166	4,417	6,228	3,458
535,53	13,38	14,70	13,86	1,003	1,258	4,496	6,270	3,515
540,40	13,56	14,91	14,04	1,126	1,355	4,569	6,311	3,584
541,11	13,86	15,16	14,26	2,076	1,507	4,637	6,334	3,645
539,49	14,02	15,26	14,33	2,076	1,505	4,643	6,325	3,645
546,25	14,48	15,58	14,58	2,076	1,527	4,731	6,347	3,701
544,45	14,49	15,58	14,58	2,076	1,534	4,737	6,345	3,702
547,24	14,66	15,73	14,71	2,076	1,559	4,794	6,335	3,738
550,77	14,74	15,81	14,78	2,076	1,551	4,828	6,349	3,761
555,12	14,89	15,99	14,93	2,076	1,535	4,892	6,375	3,823
557,31	14,97	16,09	15,01	2,076	1,524	4,917	6,389	3,855
558,31	15,01	16,14	15,06	2,076	1,518	4,929	6,394	3,872
560,46	15,10	16,25	15,15	2,076	1,504	4,953	6,409	3,914
561,17	15,15	16,29	15,19	2,076	1,498	4,962	6,415	3,935
563,09	15,24	16,39	15,28	2,076	1,480	4,984	6,435	3,989
565,43	15,33	16,49	15,36	2,076	1,461	5,006	6,453	4,029
566,54	15,38	16,56	15,41	2,076	1,452	5,019	6,466	4,050
569,42	15,51	16,70	15,55	2,076	1,438	5,048	6,496	4,106
570,45	15,55	16,76	15,58	2,076	1,439	5,057	6,506	4,129
572,07	15,63	16,84	15,65	2,076	1,446	5,070	6,522	4,163
574,29	15,73	16,96	15,75	2,076	1,464	5,086	6,546	4,216
576,36	15,85	17,10	15,87	2,076	1,491	5,099	6,575	4,278
577,65	15,92	17,19	15,94	2,076	1,508	5,106	6,590	4,310
578,44	15,96	17,22	15,97	2,076	1,518	5,109	6,600	4,332
580,54	16,07	17,35	16,08	2,076	1,560	5,117	6,624	4,381
582,27	16,17	17,47	16,18	2,076	1,636	5,121	6,647	4,429
582,74	16,27	17,56	16,24	2,076	1,787	5,121	6,660	4,456
583,88	16,38	17,67	16,33	2,076	1,965	5,120	6,677	4,495
584,55	16,43	17,72	16,37	2,076	2,075	5,119	6,684	4,512
584,80	16,46	17,76	16,39	2,076	2,127	5,118	6,688	4,522
586,14	16,55	17,85	16,47	2,076	2,307	5,112	6,702	4,556
586,65	16,63	17,91	16,53	2,076	2,398	5,108	6,710	4,581

Tabela D.6 – Leituras dos extensômetros colados na superfície do concreto e do CFC da viga VI-2.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)	SG12 (‰)	SG13 (‰)	SG14 (‰)	SG15 (‰)
0,00	0,001	-0,005	0,000	-0,007	-0,001	-0,005	–	–	–	–
0,47	0,000	-0,005	0,001	-0,009	-0,001	-0,006	–	–	–	–
5,28	-0,002	-0,006	0,000	-0,010	-0,003	-0,007	–	–	–	–
10,46	-0,004	-0,008	-0,001	-0,012	-0,005	-0,008	–	–	–	–
15,58	-0,005	-0,010	-0,002	-0,014	-0,006	-0,008	–	–	–	–
20,19	-0,007	-0,012	-0,004	-0,015	-0,007	-0,009	–	–	–	–
30,48	-0,011	-0,016	-0,006	-0,018	-0,010	-0,010	–	–	–	–
40,51	-0,014	-0,019	-0,008	-0,021	-0,012	-0,011	–	–	–	–
50,29	-0,018	-0,023	-0,011	-0,024	-0,015	-0,012	–	–	–	–
60,43	-0,020	-0,025	-0,012	-0,027	-0,018	-0,015	–	–	–	–
70,42	-0,023	-0,030	-0,016	-0,030	-0,022	-0,017	–	–	–	–
80,35	-0,025	-0,032	-0,019	-0,034	-0,026	-0,020	–	–	–	–
90,21	-0,030	-0,040	-0,027	-0,038	-0,031	-0,024	–	–	–	–
100,13	-0,034	-0,046	-0,033	-0,041	-0,035	-0,029	–	–	–	–
110,12	-0,038	-0,059	-0,052	-0,044	-0,041	-0,036	–	–	–	–
120,29	-0,044	-0,069	-0,063	-0,048	-0,048	-0,044	–	–	–	–
130,22	-0,050	-0,078	-0,073	-0,050	-0,051	-0,049	–	–	–	–
140,11	-0,060	-0,087	-0,079	-0,049	-0,054	-0,058	–	–	–	–
150,78	-0,115	-0,199	-0,248	-0,078	-0,114	-0,144	–	–	–	–
160,24	-0,121	-0,211	-0,263	-0,088	-0,128	-0,159	–	–	–	–
165,23	-0,121	-0,216	-0,271	-0,094	-0,137	-0,171	–	–	–	–
165,22	-0,120	-0,219	-0,273	-0,096	-0,140	-0,175	–	–	–	–
166,97	-0,119	-0,219	-0,274	-0,097	-0,142	-0,177	–	–	–	–
166,83	-0,146	0,064	-0,345	-0,112	-0,160	-0,196	–	–	–	–
160,27	-0,142	0,114	-0,327	-0,111	-0,152	-0,185	0,003	-0,002	-0,007	0,000
170,28	-0,151	0,109	-0,338	-0,113	-0,156	-0,189	0,023	0,022	0,019	0,008
180,29	-0,161	0,105	-0,350	-0,115	-0,160	-0,194	0,029	0,037	0,039	0,016
190,31	-0,169	0,103	-0,368	-0,118	-0,164	-0,199	0,034	0,042	0,069	0,026
200,25	-0,177	0,103	-0,384	-0,123	-0,171	-0,206	0,040	0,048	0,076	0,038
220,46	-0,195	0,112	-0,418	-0,132	-0,184	-0,220	0,052	0,060	0,093	0,067
240,26	-0,215	0,176	-0,457	-0,144	-0,201	-0,238	0,063	0,071	0,107	0,109
260,59	-0,238	0,244	-0,502	-0,154	-0,218	-0,255	0,092	0,085	0,124	0,175
280,31	-0,276	0,303	-0,552	-0,165	-0,233	-0,273	0,105	0,098	0,140	0,276
303,66	-0,310	0,407	-0,590	-0,177	-0,253	-0,295	0,117	0,110	0,163	0,505
319,82	-0,338	0,475	-0,629	-0,188	-0,272	-0,321	0,136	0,129	0,187	0,938
340,41	-0,360	0,519	-0,661	-0,197	-0,289	-0,341	0,146	0,139	0,202	1,144
360,08	-0,390	0,625	-0,700	-0,304	-0,381	-0,393	0,162	0,155	0,223	1,266
380,32	-0,419	0,887	-0,737	-0,327	-0,404	-0,411	0,190	0,183	0,249	1,305
400,29	-0,449	–	-0,713	-0,332	-0,419	-0,425	0,236	0,229	0,302	1,370

Tabela D.6 – Continuação.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)	SG12 (‰)	SG13 (‰)	SG14 (‰)	SG15 (‰)
420,21	-0,480		-0,750	-0,348	-0,438	-0,444	0,346	0,339	0,619	1,431
440,26	-0,516	–	-0,782	-0,361	-0,454	-0,460	0,538	0,668	1,207	1,526
460,41	-0,551	–	-0,820	-0,369	-0,467	-0,474	0,643	0,861	1,468	1,641
480,31	-0,586	–	-0,869	-0,372	-0,474	-0,485	0,763	1,284	1,692	1,770
500,21	-0,632	–	-0,920	-0,367	-0,471	-0,485	0,863	1,607	1,890	1,939
512,96	-0,657	–	-0,946	-0,373	-0,479	-0,493	0,981	1,790	2,016	2,080
515,85	-0,662	–	-0,952	-0,375	-0,482	-0,495	1,207	1,837	2,040	2,123
519,80	-0,669	–	-0,962	-0,379	-0,485	-0,499	1,428	1,902	2,074	2,174
530,42	-0,689	–	-1,001	-0,388	-0,495	-0,507	1,691	2,076	2,187	2,302
535,53	-0,699	–	-1,030	-0,393	-0,500	-0,510	1,825	2,154	2,247	2,354
540,40	-0,708	–	-1,052	-0,403	-0,506	-0,509	2,049	2,230	2,290	2,403
541,11	-0,693	–	-1,166	-0,431	-0,516	-0,497	2,271	2,284	2,331	2,439
539,49	-0,700	–	-1,134	-0,432	-0,515	-0,494	2,412	2,294	2,333	2,435
546,25	-0,700	–	-1,098	-0,444	-0,522	-0,493	2,643	2,381	2,372	2,473
544,45	-0,698	–	-1,095	-0,444	-0,521	-0,491	2,853	2,395	2,376	2,473
547,24	-0,699	–	-1,090	-0,453	-0,525	-0,489	3,037	2,474	2,406	2,497
550,77	-0,702	–	-1,092	-0,456	-0,529	-0,491	3,236	2,499	2,422	2,516
555,12	-0,703	–	-1,088	-0,462	-0,533	-0,493	3,461	2,600	2,457	2,550
557,31	-0,701	–	-1,079	-0,466	-0,536	-0,495	3,664	2,648	2,475	2,567
558,31	-0,702	–	-1,064	-0,467	-0,538	-0,495	3,921	2,672	2,484	2,574
560,46	-0,702	–	-1,059	-0,471	-0,540	-0,496	4,202	2,726	2,504	2,591
561,17	-0,701	–	-1,057	-0,472	-0,541	-0,497	4,366	2,747	2,512	2,598
563,09	-0,699	–	-1,054	-0,476	-0,545	-0,498	4,406	2,807	2,535	2,617
565,43	-0,699	–	-1,052	-0,480	-0,548	-0,499	4,459	2,860	2,555	2,640
566,54	-0,698	–	-1,051	-0,482	-0,550	-0,499	4,623	2,889	2,566	2,655
569,42	-0,696	–	-1,049	-0,488	-0,554	-0,501	4,684	2,970	2,595	2,694
570,45	-0,694	–	-1,048	-0,490	-0,555	-0,502	4,749	2,999	2,604	2,706
572,07	-0,692	–	-1,047	-0,493	-0,557	-0,503	–	3,045	2,617	2,726
574,29	-0,687	–	-1,046	-0,497	-0,561	-0,504	–	3,111	2,638	2,751
576,36	-0,682	–	-1,043	-0,502	-0,565	-0,506	–	3,199	2,661	2,777
577,65	-0,679	–	-1,039	-0,504	-0,568	-0,507	–	3,246	2,672	2,790
578,44	-0,678	–	-1,037	-0,505	-0,569	-0,508	–	3,273	2,679	2,797
580,54	-0,674	–	-1,032	-0,509	-0,572	-0,510	–	3,345	2,697	2,816
582,27	-0,669	–	-1,025	-0,513	-0,576	-0,512	–	3,426	2,712	2,838
582,74	-0,662	–	-1,021	-0,516	-0,578	-0,513	–	3,552	2,721	2,851
583,88	-0,652	–	-1,017	-0,519	-0,581	-0,515	–	3,644	2,733	2,866
584,55	-0,648	–	-1,015	-0,520	-0,582	-0,516	–	3,691	2,737	2,871
584,80	-0,646	–	-1,014	-0,521	-0,583	-0,516	–	3,717	2,740	2,872
586,14	-0,636	–	-1,010	-0,524	-0,585	-0,518	–	3,786	2,750	2,887
586,65	-0,632	–	-1,006	-0,525	-0,586	-0,519	–	3,822	2,755	2,895

Tabela D.7 – Leituras dos LVDT e extensômetros colados no aço da viga VI-3.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
0,35	0,00	0,00	0,00	0,017	0,005	0,002	0,001	0,001
0,29	0,00	0,00	0,00	0,017	0,005	0,003	0,001	0,001
5,14	0,08	0,05	0,03	0,016	0,006	0,002	0,001	0,011
10,61	0,17	0,14	0,09	0,016	0,007	0,002	0,002	0,023
17,75	0,28	0,28	0,18	0,015	0,007	0,002	0,001	0,037
21,17	0,33	0,33	0,22	0,015	0,007	0,001	0,001	0,045
30,26	0,89	1,07	0,77	0,013	0,008	-0,001	0,005	0,172
40,23	0,95	1,16	0,84	0,013	0,009	-0,001	0,005	0,194
50,38	1,07	1,30	0,96	0,012	0,010	-0,002	0,006	0,218
60,21	1,22	1,47	1,11	0,012	0,011	-0,002	0,007	0,252
70,31	1,49	1,79	1,33	0,027	0,013	-0,004	0,008	0,322
80,35	1,75	2,10	1,58	0,010	0,015	-0,004	0,011	0,427
90,50	2,01	2,41	1,82	-0,004	0,021	-0,005	0,015	0,503
100,51	2,32	2,77	2,15	-0,007	0,024	0,009	0,046	0,582
110,24	2,53	3,03	2,35	-0,017	0,028	0,007	0,050	0,635
120,26	2,79	3,33	2,61	-0,030	0,031	0,006	0,055	0,695
130,23	3,09	3,68	2,89	0,150	0,046	0,001	0,061	0,752
140,51	3,37	4,02	3,19	0,875	0,053	0,006	0,080	0,810
150,59	3,66	4,37	3,49	1,887	0,059	-0,028	0,085	0,869
160,52	3,93	4,69	3,75	2,988	0,063	-0,032	0,088	0,927
165,92	4,17	4,94	3,92	2,795	0,026	-0,033	0,091	0,958
168,41	4,52	5,35	4,27	2,522	0,038	-0,036	0,096	1,019
168,55	4,61	5,44	4,33	2,486	0,039	-0,036	0,097	1,034
160,01	4,39	5,12	4,11	2,627	0,125	-0,033	0,117	0,998
170,07	4,53	5,31	4,26	2,595	0,124	-0,032	0,120	1,040
180,10	4,72	5,52	4,45	2,561	0,125	-0,036	0,119	1,085
190,34	4,91	5,76	4,64	2,542	0,123	-0,039	0,119	1,136
200,10	5,12	5,99	4,84	2,519	0,128	-0,038	0,125	1,188
222,44	5,60	6,59	5,33	2,454	0,129	-0,043	0,120	1,315
240,24	5,99	7,07	5,74	2,430	0,132	-0,043	0,120	1,417

Tabela D.7 – Continuação.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
260,33	6,46	7,64	6,22	2,465	0,143	-0,048	0,114	1,531
280,48	7,04	8,24	6,76	2,537	0,902	-0,045	0,113	1,648
300,37	7,50	8,71	7,24	2,649	1,027	-0,045	0,114	1,759
320,40	8,01	9,24	7,76	2,726	1,161	-0,041	0,117	1,878
340,11	8,47	9,72	8,23	2,797	1,288	-0,032	0,120	1,986
360,25	8,95	10,24	8,77	2,965	1,431	0,209	0,125	2,098
383,99	9,55	10,90	9,44	3,120	1,572	1,088	0,138	2,232
400,26	9,93	11,29	9,86	3,213	1,665	1,195	0,144	2,321
420,42	10,41	11,78	10,35	3,276	1,776	1,321	0,152	2,428
440,72	10,92	12,31	10,90	3,401	1,942	1,644	0,157	2,535
460,25	11,40	12,80	11,40	3,533	2,152	1,812	0,167	2,637
480,01	11,94	13,36	11,98	3,739	2,443	1,955	0,186	2,743
500,03	12,47	13,90	12,53	4,017	2,653	2,139	0,215	2,853
510,16	12,76	14,20	12,86	4,172	2,792	2,598	0,231	2,909
520,07	13,05	14,51	13,17	4,349	3,067	2,959	0,246	2,971
530,13	13,35	14,82	13,50	4,551	3,375	3,106	0,258	3,017
540,38	13,60	15,08	13,75	4,686	3,520	3,178	0,265	3,048
550,19	13,88	15,37	14,03	4,850	3,720	3,260	0,274	3,211
560,36	14,21	15,72	14,38	5,099	3,963	3,353	0,293	3,326
565,30	14,41	15,94	14,60	5,260	4,410	3,441	0,484	3,377
570,15	14,58	16,13	14,80	5,418	4,645	3,515	0,671	3,415
575,27	14,82	16,36	15,04	5,670	5,009	3,602	0,827	3,465
580,10	15,03	16,58	15,27	6,042	5,335	3,683	0,930	3,603
583,54	15,22	16,79	15,49	6,432	5,625	3,790	1,064	3,650
586,27	15,36	16,95	15,67	6,802	5,857	3,899	1,175	3,673
587,13	15,41	17,00	15,72	6,924	5,934	3,939	1,210	3,676
587,93	15,45	17,05	15,77	7,022	5,997	3,965	1,236	3,679
588,48	15,48	17,08	15,80	7,093	6,045	3,981	1,252	3,681
589,06	15,51	17,11	15,85	7,165	6,096	3,995	1,268	3,687
589,75	15,55	17,14	15,88	7,243	6,160	4,012	1,283	3,693
590,52	15,59	17,19	15,92	7,340	6,280	4,032	1,303	3,701
590,81	15,64	17,25	16,01	7,440	6,408	4,054	1,325	3,709
590,33	15,66	17,27	16,03	7,453	6,425	4,064	1,333	3,708
590,13	15,66	17,28	16,04	7,458	6,432	4,068	1,338	3,707

Tabela D.8 – Leituras dos extensômetros colados na superfície do concreto e do CFC da viga VI-3.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)	SG12 (‰)	SG13 (‰)	SG14 (‰)	SG15 (‰)
0,35	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	–	–	–	–
0,29	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	–	–	–	–
5,14	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	–	–	–	–
10,61	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	–	–	–	–
17,75	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	–	–	–	–
21,17	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	–	–	–	–
30,26	0,000	0,000	0,003	0,002	0,001	0,003	–	–	–	–
40,23	-0,001	-0,001	0,002	0,003	0,001	0,002	–	–	–	–
50,38	-0,002	-0,002	0,003	0,002	0,000	0,003	–	–	–	–
60,21	-0,003	-0,003	0,003	0,002	0,000	0,004	–	–	–	–
70,31	-0,003	-0,004	0,002	0,002	0,001	0,004	–	–	–	–
80,35	-0,004	-0,006	0,001	0,003	0,000	0,004	–	–	–	–
90,50	-0,006	-0,009	-0,003	0,004	0,000	0,002	–	–	–	–
100,51	-0,006	-0,011	-0,004	0,004	-0,014	-0,024	–	–	–	–
110,24	-0,007	-0,013	-0,007	0,004	-0,015	-0,026	–	–	–	–
120,26	-0,008	-0,016	-0,010	0,005	-0,017	-0,030	–	–	–	–
130,23	-0,005	-0,026	-0,034	0,003	-0,024	-0,044	–	–	–	–
140,51	-0,006	-0,033	-0,045	-0,008	-0,047	-0,076	–	–	–	–
150,59	-0,007	-0,041	-0,059	-0,026	-0,065	-0,095	–	–	–	–
160,52	-0,011	-0,051	-0,071	-0,032	-0,074	-0,106	–	–	–	–
165,92	-0,047	-0,115	-0,163	-0,035	-0,080	-0,115	–	–	–	–
168,41	-0,060	-0,141	-0,193	-0,030	-0,091	-0,134	–	–	–	–
168,55	-0,064	-0,147	-0,201	-0,032	-0,092	-0,137	–	–	–	–
160,01	-0,058	-0,137	-0,187	-0,029	-0,086	-0,125	0,000	0,002	0,005	0,004
170,07	-0,061	-0,141	-0,189	-0,031	-0,088	-0,128	0,033	0,025	0,015	0,037
180,10	-0,063	-0,144	-0,193	-0,034	-0,094	-0,133	0,070	0,044	0,016	0,072
190,34	-0,068	-0,149	-0,199	-0,039	-0,100	-0,140	0,120	0,057	0,018	0,121
200,10	-0,068	-0,153	-0,203	-0,043	-0,106	-0,146	0,176	0,064	0,021	0,194
222,44	-0,077	-0,167	-0,217	-0,044	-0,121	-0,163	0,322	0,077	0,055	0,473
240,24	-0,084	-0,178	-0,228	-0,058	-0,137	-0,180	0,460	0,091	0,075	0,774

Tabela D.8 – Continuação.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)	SG12 (‰)	SG13 (‰)	SG14 (‰)	SG15 (‰)
260,33	-0,074	-0,180	-0,234	-0,078	-0,161	-0,205	0,659	0,105	0,083	1,229
280,48	–	-0,075	-0,370	-0,094	-0,182	-0,227	1,043	0,124	0,095	1,522
300,37	–	–	-0,385	-0,103	-0,196	-0,245	1,129	0,142	0,112	1,713
320,40	–	–	-0,414	-0,117	-0,215	-0,265	1,224	0,160	0,138	1,899
340,11	–	–	-0,440	-0,126	-0,229	-0,279	1,326	0,174	0,154	2,266
360,25	–	–	-0,466	-0,149	-0,254	-0,296	1,436	0,194	0,170	2,535
383,99	–	–	-0,435	-0,239	-0,369	-0,419	1,593	0,233	0,191	2,732
400,26	–	–	-0,456	-0,256	-0,390	-0,433	1,720	0,265	0,206	2,815
420,42	–	–	-0,482	-0,277	-0,413	-0,450	1,884	0,318	0,229	2,931
440,72	–	–	-0,515	-0,310	-0,449	-0,479	2,080	0,360	0,250	3,147
460,25	–	–	-0,548	-0,332	-0,474	-0,496	2,227	0,389	0,284	3,297
480,01	–	–	-0,585	-0,354	-0,501	-0,524	2,308	0,420	0,338	3,481
500,03	–	–	-0,611	-0,368	-0,537	-0,577	2,427	0,470	0,361	3,480
510,16	–	–	-0,620	-0,255	-0,774	-0,799	2,476	0,494	0,366	3,392
520,07	–	–	-0,615	–	-0,752	-0,687	2,541	0,521	0,376	3,388
530,13	–	–	-0,604	–	-0,783	-0,692	2,616	0,540	0,385	3,419
540,38	–	–	-0,609	–	-0,808	-0,702	2,688	0,556	0,393	3,450
550,19	–	–	-0,618	–	-0,842	-0,714	2,779	0,575	0,410	3,494
560,36	–	–	-0,619	–	-0,879	-0,728	2,879	0,601	0,435	3,538
565,30	–	–	-0,630	–	-0,919	-0,740	2,941	0,615	0,441	3,509
570,15	–	–	-0,638	–	-0,955	-0,759	2,994	0,624	0,458	3,521
575,27	–	–	-0,653	–	-1,010	-0,797	3,084	0,633	0,483	3,547
580,10	–	–	-0,665	–	-1,081	-0,859	3,148	0,644	0,511	3,564
583,54	–	–	-0,676	–	-1,159	-0,897	3,225	0,640	0,535	3,788
586,27	–	–	-0,684	–	-1,229	-0,927	3,275	0,631	0,555	3,865
587,13	–	–	-0,686	–	-1,259	-0,941	3,288	0,629	0,561	3,872
587,93	–	–	-0,688	–	-1,277	-0,950	3,298	0,628	0,565	3,888
588,48	–	–	-0,689	–	-1,288	-0,955	3,306	0,627	0,570	3,899
589,06	–	–	-0,691	–	-1,298	-0,960	3,314	0,627	0,573	3,912
589,75	–	–	-0,693	–	-1,307	-0,965	3,319	0,626	0,577	3,929
590,52	–	–	-0,696	–	-1,320	-0,971	3,327	0,624	0,582	3,953
590,81	–	–	-0,698	–	-1,351	-0,991	3,336	0,622	0,584	4,078
590,33	–	–	-0,699	–	-1,374	-1,004	3,337	0,622	0,584	4,165
590,13	–	–	-0,698	–	-1,386	-1,011	3,338	0,621	0,584	4,533

Tabela D.9 – Leituras dos LVDT e extensômetros colados no aço da viga VR2.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,004	0,005	0,005	0,001	0,001
0,03	0,00	0,00	0,00	-0,005	0,005	0,005	0,001	0,000
3,24	0,00	0,01	-0,01	-0,005	0,005	0,004	0,001	0,011
8,03	0,00	0,15	-0,01	-0,006	0,005	0,003	0,000	0,025
12,99	0,00	0,29	0,00	-0,002	0,003	0,002	0,002	0,040
18,20	0,01	0,43	0,01	-0,004	0,003	0,001	0,001	0,058
28,22	0,02	0,67	0,02	-0,005	0,000	-0,002	0,001	0,092
38,20	0,04	0,95	0,03	-0,003	-0,003	-0,003	-0,001	0,138
48,07	0,06	1,38	0,05	-0,005	0,010	0,000	-0,003	0,319
58,31	0,07	1,74	0,05	-0,004	0,009	0,007	-0,003	0,416
63,21	0,08	2,01	0,05	-0,005	-0,018	0,018	-0,001	0,489
68,14	0,09	2,14	0,05	-0,004	-0,026	0,020	-0,001	0,520
78,15	0,09	2,47	0,06	-0,001	-0,047	0,027	-0,001	0,603
88,13	0,11	2,81	0,06	-0,004	-0,065	0,030	0,003	0,688
98,16	0,11	3,14	0,06	0,000	-0,072	0,038	0,013	0,774
107,94	0,96	3,47	0,05	0,003	-0,062	0,037	0,017	0,855
118,22	1,05	3,85	0,04	0,022	-0,039	0,043	0,024	0,933
128,16	1,05	4,44	0,05	0,024	-0,022	0,044	0,001	1,014
138,75	2,36	4,82	0,05	0,003	-0,022	0,046	0,021	1,097
139,16	2,74	4,86	0,05	0,004	-0,021	0,045	0,032	1,102
148,78	2,43	5,19	0,04	-0,007	-0,021	0,048	0,092	1,173
158,18	2,69	5,55	0,04	-0,005	-0,016	0,054	0,202	1,244
168,05	2,94	5,95	0,04	-0,003	-0,008	0,058	0,290	1,319
177,86	3,09	6,31	0,03	0,000	0,002	0,061	0,358	1,391
188,27	3,34	6,80	0,04	0,005	0,026	0,063	0,449	1,470
181,76	3,35	6,81	0,03	0,008	0,037	0,063	0,508	1,447
198,83	3,55	7,22	0,03	0,010	0,046	0,068	0,528	1,542
208,65	3,61	7,64	0,03	0,015	0,062	0,072	0,632	1,615
218,09	3,66	8,13	0,03	0,024	0,074	0,080	0,683	1,683
229,26	3,67	8,62	0,04	0,031	0,083	0,089	0,725	1,757
232,41	3,69	8,87	0,04	0,046	0,089	0,104	0,759	1,774
238,66	3,70	9,12	0,04	0,060	0,093	0,111	0,763	1,823
249,85	3,73	9,59	0,04	0,180	0,102	0,119	0,783	1,898
257,98	5,00	10,01	0,04	0,416	0,115	0,124	0,806	1,958
269,79	5,14	10,52	0,04	0,540	0,125	0,130	0,824	2,018
273,38	5,20	10,91	0,05	0,617	0,139	0,136	0,841	2,052
276,87	5,20	10,96	0,05	0,624	0,141	0,138	0,842	2,068
280,69	5,23	11,10	0,05	0,638	0,145	0,139	0,845	2,084
284,89	5,23	11,18	0,06	0,641	0,146	0,138	0,847	2,086
286,33	5,24	11,25	0,06	0,646	0,148	0,140	0,848	2,110
288,07	5,24	11,34	0,06	0,648	0,151	0,141	0,848	2,123
289,45	5,24	11,43	0,06	0,656	0,151	0,142	0,850	2,132
292,70	5,24	11,62	0,06	0,662	0,155	0,142	0,851	2,155
293,56	5,23	11,71	0,06	0,672	0,156	0,143	0,852	2,162
294,54	5,23	11,80	0,06	0,682	0,157	0,143	0,853	2,170
296,98	5,23	11,98	0,06	0,690	0,160	0,144	0,855	2,178
298,80	5,24	12,08	0,06	0,704	0,163	0,146	0,856	2,197
300,61	5,24	12,26	0,06	0,719	0,168	0,148	0,857	2,213
302,51	6,71	12,52	0,06	0,740	0,174	0,149	0,862	2,228
302,50	6,93	12,89	0,06	0,753	0,179	0,151	0,862	2,238

Tabela D.10 – Leituras dos extensômetros colados na superfície do concreto da viga VR2.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)
0,00	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	–
0,03	0,001	0,001	-0,001	0,001	0,001	–
3,24	0,002	-0,002	0,001	0,004	-0,001	–
8,03	0,003	-0,004	0,002	0,005	-0,004	–
12,99	0,003	-0,005	0,003	0,005	-0,006	–
18,20	0,004	-0,007	0,005	0,006	-0,010	–
28,22	0,003	-0,011	0,008	0,005	-0,017	–
38,20	0,003	-0,014	0,009	0,005	-0,022	–
48,07	0,003	-0,019	0,011	0,006	-0,028	–
58,31	0,002	-0,021	0,016	0,005	-0,033	–
63,21	0,004	-0,022	0,018	0,011	-0,036	–
68,14	0,004	-0,024	0,018	0,012	-0,039	–
78,15	0,006	-0,027	0,020	0,013	-0,042	–
88,13	0,008	-0,031	0,022	0,020	-0,048	–
98,16	0,011	-0,032	0,025	0,029	-0,053	–
107,94	0,017	-0,036	0,013	0,039	-0,060	–
118,22	0,032	-0,041	-0,032	0,037	-0,066	–
128,16	0,023	-0,088	-0,067	0,027	-0,183	–
138,75	0,010	-0,105	-0,091	0,034	-0,203	–
139,16	0,008	-0,106	-0,102	0,033	-0,206	–
148,78	0,004	-0,120	-0,132	0,037	-0,221	–
158,18	0,006	-0,132	-0,152	0,042	-0,233	–
168,05	0,008	-0,154	-0,252	0,047	-0,248	–
177,86	0,009	-0,168	-0,300	0,047	-0,260	–
188,27	0,011	-0,188	-0,323	0,050	-0,278	–
181,76	0,014	-0,189	-0,332	0,052	-0,274	–
198,83	0,014	-0,204	-0,350	0,052	-0,293	–
208,65	0,018	-0,217	-0,374	0,053	-0,310	–
218,09	0,022	-0,232	-0,393	0,055	-0,325	–
229,26	0,022	-0,245	-0,422	0,057	-0,342	–
232,41	0,022	-0,251	-0,436	0,059	-0,349	–
238,66	0,024	-0,262	-0,453	0,059	-0,359	–
249,85	0,029	-0,279	-0,480	0,060	-0,377	–
257,98	0,048	-0,299	-0,551	0,062	-0,389	–
269,79	0,053	-0,318	-0,602	0,064	-0,402	–
273,38	0,063	-0,315	-0,629	0,069	-0,395	–
276,87	0,064	-0,318	-0,637	0,069	-0,397	–
280,69	0,065	-0,321	-0,645	0,070	-0,399	–
284,89	0,065	-0,322	-0,650	0,070	-0,403	–
286,33	0,066	-0,327	-0,655	0,070	-0,404	–
288,07	0,067	-0,332	-0,655	0,072	-0,407	–
289,45	0,066	-0,336	-0,659	0,072	-0,408	–
292,70	0,066	-0,343	-0,669	0,073	-0,413	–
293,56	0,066	-0,344	-0,674	0,072	-0,416	–
294,54	0,068	-0,345	-0,680	0,073	-0,417	–
296,98	0,069	-0,349	-0,686	0,074	-0,419	–
298,80	0,069	-0,355	-0,695	0,074	-0,423	–
300,61	0,070	-0,362	-0,704	0,075	-0,427	–
302,51	0,070	-0,370	-0,710	0,077	-0,429	–
302,50	0,071	-0,375	-0,715	0,078	-0,432	–

Tabela D.11 – Leituras dos LVDT e extensômetros colados no aço da viga VII-1.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
5,06	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	-0,050	-0,011	0,052
10,13	-0,01	0,07	-0,01	-0,001	0,000	-0,050	-0,012	0,061
15,12	0,00	0,15	-0,01	-0,001	0,000	-0,050	-0,013	0,071
19,99	-0,01	0,23	-0,02	-0,001	0,000	-0,050	-0,013	0,081
24,91	0,00	0,29	2,05	-0,002	0,000	-0,049	-0,014	0,092
29,98	0,00	0,41	2,05	-0,002	0,000	-0,048	-0,016	0,102
34,92	0,00	0,49	2,06	-0,003	-0,001	-0,048	-0,016	0,114
40,15	0,00	0,61	2,06	-0,007	-0,002	-0,049	-0,017	0,128
44,93	-0,01	0,73	2,06	-0,009	-0,002	-0,049	-0,018	0,140
50,00	0,00	0,87	2,06	-0,007	-0,003	-0,050	-0,020	0,155
55,00	-0,01	1,06	2,05	-0,007	-0,004	-0,050	-0,022	0,331
60,04	0,00	1,29	2,06	-0,006	-0,005	-0,048	-0,011	0,380
65,02	0,01	1,42	2,06	-0,005	-0,004	-0,047	-0,008	0,413
70,05	-0,02	1,62	2,05	-0,005	-0,005	-0,048	-0,022	0,447
75,01	0,00	1,71	2,05	-0,009	-0,005	-0,048	-0,022	0,481
80,03	-0,02	1,88	2,05	0,016	-0,005	-0,048	-0,019	0,516
85,02	-0,01	2,01	2,06	0,020	-0,005	-0,047	-0,016	0,553
90,04	-0,02	1,88	2,05	0,018	-0,006	-0,047	-0,015	0,590
95,05	-0,01	1,99	2,05	0,015	-0,006	-0,046	-0,012	0,630
100,06	-0,01	2,13	2,05	0,013	-0,006	-0,045	-0,010	0,669
105,03	0,00	2,24	2,05	0,011	-0,006	-0,045	-0,009	0,702
110,01	-0,01	2,41	2,04	0,012	-0,005	-0,044	-0,007	0,736
109,37	0,00	2,41	2,05	0,012	-0,005	-0,044	-0,004	0,740
110,09	-0,01	2,48	2,04	0,011	-0,004	-0,043	-0,003	0,751
111,68	0,00	2,75	2,04	0,012	0,007	-0,040	-0,001	0,806
111,46	0,01	2,74	2,05	0,012	0,008	-0,040	0,000	0,807
110,08	3,89	2,61	3,30	0,007	0,010	-0,036	0,003	0,922
120,05	3,67	2,76	3,30	0,004	0,011	-0,036	0,002	0,980
130,28	3,38	2,95	3,30	0,007	0,013	-0,033	0,003	1,037
140,12	3,09	3,16	3,30	0,007	0,012	-0,033	0,001	1,094
150,37	2,73	3,41	3,31	0,009	0,011	-0,031	0,001	1,158
169,82	1,88	4,01	3,31	0,016	-0,030	-0,039	0,006	1,278

Tabela D.11 – Continuação.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
190,02	1,19	4,60	3,31	0,085	-0,031	-0,037	0,012	1,406
209,88	0,79	5,13	3,31	0,092	-0,032	-0,028	0,010	1,534
230,07	0,31	5,74	3,31	0,098	-0,034	-0,030	0,005	1,663
229,10	0,09	5,87	3,22	0,098	-0,035	-0,019	0,024	1,649
250,11	-0,36	6,34	3,22	0,102	-0,035	0,227	0,048	1,774
270,02	-0,82	6,92	3,11	0,110	-0,034	0,386	0,051	1,912
289,95	-1,25	7,51	3,12	0,119	-0,031	0,560	0,064	2,045
309,96	-1,72	8,10	2,99	0,125	-0,029	0,707	0,084	2,062
329,96	-2,16	8,69	3,00	0,131	-0,027	0,846	0,103	2,062
349,91	-2,68	9,37	2,78	0,134	-0,022	1,007	0,127	2,062
369,91	-3,23	10,07	2,78	0,138	-0,019	1,174	0,147	2,062
368,40	-3,31	10,15	2,60	0,140	-0,016	1,212	0,154	2,062
369,53	-3,33	10,19	2,57	0,142	-0,016	1,224	0,156	2,062
372,48	-3,36	10,25	2,53	0,141	-0,016	1,226	0,156	2,062
380,21	-3,52	10,46	2,38	0,141	-0,015	1,250	0,160	2,062
385,15	-3,63	10,62	2,26	0,143	-0,013	1,275	0,164	2,062
389,79	-3,74	10,81	2,15	0,142	-0,014	1,311	0,168	2,062
391,46	-3,83	10,94	2,12	0,146	-0,011	1,349	0,175	2,062
394,95	-3,92	11,04	2,10	0,146	-0,011	1,361	0,178	2,062
397,21	-3,96	11,10	2,11	0,146	-0,012	1,368	0,179	2,062
400,00	-4,01	11,17	2,11	0,146	-0,012	1,372	0,180	2,062
402,42	-4,10	11,23	2,11	0,146	-0,011	1,380	0,182	2,062
404,31	-4,16	11,30	2,11	0,146	-0,011	1,389	0,185	2,062
406,60	-4,18	11,37	2,11	0,147	-0,010	1,396	0,187	2,062
407,97	-4,25	11,43	2,08	0,147	-0,010	1,402	0,188	2,062
407,38	-4,26	11,43	2,08	0,147	-0,010	1,404	0,188	2,062
408,34	-4,29	11,50	2,08	0,149	-0,010	1,416	0,190	2,062
410,77	-4,34	11,56	2,08	0,150	-0,010	1,420	0,191	2,062
410,01	-4,34	11,56	2,08	0,150	-0,009	1,425	0,192	2,062
411,11	-4,40	11,62	2,08	0,151	-0,010	1,435	0,194	2,062
417,51	-4,66	11,92	2,08	0,154	-0,009	1,490	0,208	2,062
425,13	-4,84	12,12	2,08	0,155	-0,009	1,501	0,214	2,062
428,02	-4,90	12,20	2,09	0,155	-0,010	1,506	0,216	2,062
429,44	-4,96	12,28	2,09	0,156	-0,010	1,514	0,218	2,062
433,34	-5,16	12,52	2,09	0,159	-0,009	1,552	0,225	2,062

Tabela D.12 – Leituras dos extensômetros colados na superfície do concreto e do CFC da viga VII-1.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)	SG12 (‰)	SG13 (‰)	SG14 (‰)	SG15 (‰)
5,06	-0,026	-0,027	-0,063	-0,054	0,124	-0,029	–	–	–	–
10,13	-0,028	-0,028	-0,065	-0,055	0,123	-0,030	–	–	–	–
15,12	-0,030	-0,030	-0,067	-0,056	0,122	-0,031	–	–	–	–
19,99	-0,031	-0,033	-0,068	-0,057	0,121	-0,032	–	–	–	–
24,91	-0,033	-0,034	-0,069	-0,058	0,120	-0,033	–	–	–	–
29,98	-0,034	-0,036	-0,071	-0,060	0,120	-0,034	–	–	–	–
34,92	-0,036	-0,039	-0,072	-0,061	0,119	-0,035	–	–	–	–
40,15	-0,038	-0,041	-0,074	-0,063	0,118	-0,036	–	–	–	–
44,93	-0,040	-0,043	-0,075	-0,064	0,117	-0,037	–	–	–	–
50,00	-0,042	-0,045	-0,077	-0,066	0,116	-0,038	–	–	–	–
55,00	-0,044	-0,047	-0,078	-0,068	0,115	-0,039	–	–	–	–
60,04	-0,046	-0,049	-0,080	-0,068	0,113	-0,040	–	–	–	–
65,02	-0,047	-0,051	-0,081	-0,070	0,112	-0,041	–	–	–	–
70,05	-0,036	-0,048	-0,081	-0,071	0,111	-0,042	–	–	–	–
75,01	-0,038	-0,050	-0,082	-0,072	0,110	-0,043	–	–	–	–
80,03	-0,040	-0,053	-0,084	-0,079	0,109	-0,044	–	–	–	–
85,02	-0,042	-0,055	-0,086	-0,080	0,108	-0,045	–	–	–	–
90,04	-0,044	-0,057	-0,088	-0,082	0,107	-0,046	–	–	–	–
95,05	-0,046	-0,059	-0,089	-0,083	0,106	-0,047	–	–	–	–
100,06	-0,048	-0,061	-0,090	-0,084	0,105	-0,048	–	–	–	–
105,03	-0,050	-0,063	-0,092	-0,086	0,103	-0,049	–	–	–	–
110,01	-0,051	-0,065	-0,093	-0,087	0,102	-0,050	–	–	–	–
109,37	-0,050	-0,064	-0,093	-0,086	0,103	-0,051	–	–	–	–
110,09	-0,049	-0,063	-0,094	-0,086	0,103	-0,052	–	–	–	–
111,68	-0,051	-0,072	-0,109	-0,083	0,101	-0,053	–	–	–	–
111,46	-0,050	-0,072	-0,109	-0,083	0,101	-0,054	–	–	–	–
110,08	-0,052	-0,069	-0,135	-0,087	0,099	-0,080	0,003	0,011	0,006	0,000
120,05	-0,058	-0,074	-0,150	-0,091	0,096	-0,081	0,004	0,014	0,008	-0,002
130,28	-0,057	-0,076	-0,126	-0,092	0,094	-0,082	0,006	0,019	0,012	-0,002
140,12	-0,062	-0,080	-0,162	-0,097	0,090	-0,083	0,008	0,023	0,015	-0,002
150,37	-0,057	-0,082	-0,182	-0,100	0,086	-0,084	-0,017	0,025	0,025	-0,002
169,82	-0,091	-0,144	-0,162	-0,108	0,065	-0,085	1,919	0,035	0,045	0,038

Tabela D.12 – Continuação.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)	SG12 (‰)	SG13 (‰)	SG14 (‰)	SG15 (‰)
190,02	-0,123	-0,175	-0,025	-0,133	0,038	-0,086	2,080	0,040	0,051	0,070
209,88	-0,116	-0,215	0,032	-0,135	0,031	-0,087	2,080	0,044	0,057	0,088
230,07	-0,136	-0,238	-0,019	-0,239	-0,017	-0,088	2,080	0,044	0,069	0,241
229,10	-0,146	-0,237	-0,033	-0,247	-0,019	-0,089	2,080	0,043	0,071	0,246
250,11	-0,152	-0,248	-0,005	-0,294	-0,054	-0,090	2,080	0,046	0,082	0,266
270,02	-0,168	-0,271	-0,037	-0,326	-0,087	-0,091	2,080	0,048	0,089	0,304
289,95	-0,174	-0,290	-0,064	-0,354	-0,113	-0,092	2,080	0,059	0,097	0,362
309,96	-0,187	-0,308	-0,091	-0,381	-0,142	-0,093	2,080	0,069	0,105	0,460
329,96	-0,197	-0,325	-0,118	-0,404	-0,168	-0,094	2,080	0,086	0,117	0,691
349,91	-0,226	-0,343	-0,150	-0,430	-0,198	-0,095	2,080	0,144	0,149	2,065
369,91	-0,219	-0,364	-0,174	-0,455	-0,228	-0,096	2,080	0,277	0,403	2,065
368,40	-0,235	-0,364	-0,180	-0,457	-0,231	-0,097	2,080	0,429	0,472	2,065
369,53	-0,222	-0,366	-0,179	-0,458	-0,233	-0,098	2,080	0,484	0,491	2,065
372,48	-0,221	-0,367	-0,183	-0,461	-0,236	-0,099	2,080	0,500	0,501	2,065
380,21	-0,235	-0,373	-0,191	-0,469	-0,244	-0,100	2,080	0,592	0,555	2,065
385,15	-0,229	-0,377	-0,194	-0,472	-0,250	-0,101	2,080	0,676	0,650	2,065
389,79	-0,240	-0,380	-0,226	-0,476	-0,256	-0,102	2,080	0,797	0,738	2,065
391,46	-0,239	-0,381	-0,204	-0,480	-0,261	-0,103	2,080	0,939	0,817	2,065
394,95	-0,240	-0,384	-0,212	-0,482	-0,266	-0,104	2,080	1,004	0,853	2,065
397,21	-0,243	-0,387	-0,212	-0,486	-0,269	-0,105	2,080	1,046	0,872	2,065
400,00	-0,246	-0,390	-0,216	-0,488	-0,272	-0,106	2,080	1,078	0,886	2,065
402,42	-0,249	-0,392	-0,220	-0,491	-0,274	-0,107	2,080	1,122	0,901	2,065
404,31	-0,249	-0,394	-0,222	-0,493	-0,276	-0,108	2,080	1,175	0,916	2,065
406,60	-0,249	-0,396	-0,224	-0,495	-0,279	-0,109	2,080	1,215	0,930	2,065
407,97	-0,235	-0,390	-0,222	-0,496	-0,281	-0,110	2,080	1,250	0,943	2,065
407,38	-0,235	-0,390	-0,254	-0,496	-0,280	-0,111	2,080	1,253	0,945	2,065
408,34	-0,236	-0,392	-0,216	-0,498	-0,284	-0,112	2,080	1,279	0,963	2,065
410,77	-0,243	-0,394	-0,216	-0,500	-0,286	-0,113	2,080	1,293	0,972	2,065
410,01	-0,241	-0,394	-0,234	-0,500	-0,286	-0,114	2,080	1,301	0,975	2,065
411,11	-0,247	-0,396	-0,269	-0,502	-0,289	-0,115	2,080	1,331	0,987	2,065
417,51	-0,253	-0,407	-0,240	-0,514	-0,307	-0,116	2,080	1,545	1,053	2,065
425,13	-0,258	-0,415	-0,244	-0,522	-0,317	-0,117	2,080	1,614	1,074	2,065
428,02	-0,264	-0,418	-0,248	-0,524	-0,320	-0,118	2,080	1,647	1,080	2,065
429,44	-0,263	-0,420	-0,249	-0,526	-0,321	-0,119	2,080	1,687	1,087	2,065
433,34	-0,276	-0,428	-0,277	-0,534	-0,332	-0,120	2,080	1,925	1,113	2,065

Tabela D.13 – Leituras dos LVDT e extensômetros colados no aço da viga VII-2.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
0,57	0,00	0,00	0,00	0,003	0,000	0,003	0,004	0,001
0,58	0,00	0,00	0,00	0,004	0,001	0,003	0,004	0,002
5,05	0,00	0,00	0,00	0,007	0,002	0,003	0,003	0,011
10,04	0,00	0,05	0,00	0,008	0,000	0,002	0,004	0,022
15,06	0,00	0,13	0,00	0,009	-0,001	0,001	0,002	0,033
20,19	0,00	0,22	0,00	0,009	-0,001	0,001	0,001	0,044
25,11	0,00	0,30	0,00	0,011	-0,002	0,000	0,001	0,055
30,19	0,00	0,38	0,01	0,012	-0,002	-0,001	0,000	0,067
35,16	0,00	0,47	0,00	0,012	-0,003	-0,001	0,001	0,094
40,14	0,00	0,60	0,00	0,013	-0,004	0,000	0,000	0,197
45,11	0,00	0,75	0,01	0,014	-0,004	0,003	-0,001	0,258
50,12	0,00	0,93	0,01	0,014	-0,003	-0,006	-0,001	0,297
55,06	0,00	1,07	0,01	0,015	-0,002	-0,007	-0,001	0,327
60,12	0,00	1,23	0,00	0,015	0,000	-0,006	0,000	0,360
65,20	0,00	1,39	0,01	0,016	0,020	-0,008	-0,001	0,393
70,09	0,09	1,53	0,01	0,017	0,016	-0,011	0,000	0,430
75,08	0,23	1,71	0,00	0,026	0,013	-0,013	0,002	0,472
80,12	0,33	1,84	0,01	0,029	0,010	-0,013	0,000	0,503
85,12	0,43	1,97	0,01	0,031	-0,001	-0,016	0,001	0,535
90,06	0,58	2,13	0,01	0,034	-0,018	-0,019	0,001	0,573
95,06	0,70	2,27	0,01	0,037	-0,034	-0,021	0,002	0,607
100,05	0,80	2,41	0,01	0,038	-0,051	-0,024	0,003	0,637
105,06	0,91	2,56	0,01	0,038	-0,063	-0,025	0,000	0,672
110,15	1,05	2,69	0,01	0,041	-0,065	-0,027	0,000	0,703
115,19	1,18	2,83	0,01	0,043	-0,067	-0,033	-0,003	0,736
120,10	1,29	2,97	0,01	0,046	-0,064	-0,034	-0,001	0,767
125,09	1,44	3,15	0,01	0,053	-0,052	-0,038	0,002	0,802
129,91	1,54	3,29	0,02	0,055	-0,031	-0,044	0,001	0,832
129,90	1,53	3,29	0,02	0,055	-0,030	-0,044	0,002	0,832
135,09	1,57	3,45	0,01	0,057	0,041	-0,045	0,004	0,863
135,37	1,76	3,50	0,01	0,058	0,089	-0,042	0,006	0,871
135,35	1,76	3,50	0,01	0,058	0,089	-0,042	0,006	0,871
135,11	2,11	3,82	-0,15	0,060	0,182	-0,038	-0,029	0,925
130,13	1,68	3,14	-6,39	0,052	0,222	0,008	-0,061	0,890
140,13	1,79	3,25	-6,39	0,052	0,229	0,007	-0,063	0,920
150,07	1,89	3,38	-6,38	0,054	0,237	0,005	-0,064	0,955
150,25	1,90	3,41	-6,38	0,053	0,238	0,005	-0,065	0,959
170,11	2,20	3,74	-6,39	0,058	0,271	0,001	-0,069	1,047
190,26	2,54	4,14	-6,39	0,057	0,325	-0,006	-0,071	1,152
210,33	2,98	4,65	-6,38	0,038	0,333	-0,014	0,005	1,271
230,21	3,42	5,13	-6,37	0,036	0,338	-0,021	0,136	1,386
250,07	3,90	5,65	-6,37	0,040	0,332	-0,028	0,303	1,507
270,43	4,30	6,15	-6,39	0,045	0,345	-0,031	0,397	1,628

Tabela D.13 – Continuação.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
290,36	4,63	6,67	-6,77	0,033	0,343	-0,016	0,496	1,747
310,15	5,19	7,24	-6,72	0,049	0,388	0,029	0,597	1,869
331,85	5,80	7,83	-6,67	0,095	0,454	0,094	0,695	2,003
350,03	6,36	8,39	-6,65	0,156	0,503	0,172	0,823	2,074
370,41	7,12	9,16	-6,66	0,256	0,579	0,287	1,042	2,074
365,62	7,15	9,16	-6,66	0,263	0,574	0,302	1,081	2,074
370,10	7,26	9,26	-6,66	0,267	0,575	0,304	1,104	2,074
375,26	7,83	9,81	-6,61	0,298	0,593	0,336	1,236	2,074
369,54	7,83	9,82	-6,61	0,299	0,592	0,336	1,239	2,074
373,25	7,84	9,82	-6,60	0,304	0,594	0,337	1,244	2,074
382,12	7,86	9,93	-6,60	0,307	0,599	0,345	1,251	2,074
381,64	7,88	9,93	-6,60	0,309	0,599	0,346	1,253	2,074
385,46	7,94	10,01	-6,60	0,315	0,604	0,355	1,270	2,074
390,10	7,99	10,18	-3,35	0,387	0,625	0,350	1,292	2,271
410,21	8,43	10,65	-3,11	0,398	0,653	0,384	1,360	2,385
420,07	8,68	10,93	-2,99	0,414	0,666	0,403	1,410	2,441
430,07	8,88	11,20	-2,84	0,436	0,680	0,427	1,454	2,500
435,05	8,99	11,41	-2,76	0,450	0,686	0,450	1,484	2,530
435,71	9,04	11,45	-2,73	0,453	0,687	0,454	1,489	2,535
436,76	9,11	11,50	-2,69	0,455	0,689	0,457	1,495	2,541
437,84	9,16	11,55	-2,69	0,458	0,690	0,462	1,500	2,548
438,91	9,21	11,58	-2,67	0,461	0,690	0,463	1,505	2,553
440,08	9,26	11,62	-2,65	0,465	0,692	0,466	1,509	2,560
440,80	9,29	11,65	-2,62	0,466	0,693	0,468	1,511	2,565
442,13	9,33	11,69	-2,60	0,469	0,694	0,471	1,514	2,572
443,57	9,39	11,74	-2,58	0,473	0,696	0,474	1,518	2,582
444,08	9,40	11,75	-2,58	0,474	0,698	0,476	1,519	2,584
445,11	9,43	11,79	-2,55	0,476	0,698	0,479	1,522	2,591
445,90	9,48	11,82	-2,55	0,478	0,699	0,481	1,525	2,595
446,21	9,49	11,83	-2,53	0,479	0,699	0,483	1,526	2,598
447,16	9,54	11,87	-2,53	0,482	0,701	0,487	1,529	2,603
448,12	9,58	11,90	-2,51	0,485	0,703	0,491	1,532	2,609
448,67	9,60	11,92	-2,51	0,487	0,703	0,493	1,533	2,612
449,57	9,62	11,95	-2,48	0,489	0,705	0,495	1,536	2,617
450,85	9,68	11,99	-2,46	0,493	0,707	0,499	1,541	2,625
452,36	9,73	12,04	-2,44	0,499	0,709	0,504	1,546	2,633
453,11	9,78	12,08	-2,42	0,502	0,710	0,506	1,552	2,639
454,44	9,82	12,13	-2,39	0,506	0,712	0,508	1,563	2,646
456,23	9,90	12,20	-2,36	0,512	0,714	0,512	1,576	2,657
458,92	10,03	12,31	-2,32	0,523	0,718	0,519	1,593	2,673
460,10	10,05	12,34	-2,30	0,528	0,719	0,521	1,599	2,681
462,40	10,17	12,44	-2,24	0,536	0,723	0,525	1,612	2,695
463,46	10,22	12,48	-2,24	0,540	0,724	0,526	1,617	2,701
465,23	10,29	12,54	-2,20	0,547	0,727	0,529	1,625	2,713
466,57	10,36	12,60	-2,17	0,552	0,728	0,530	1,632	2,721

Tabela D.14 – Leituras dos extensômetros colados na superfície do concreto e do CFC da viga VII-2.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)	SG12 (‰)	SG13 (‰)	SG14 (‰)	SG15 (‰)
0,57	0,001	0,001	0,000	0,002	0,002	-0,001	-	-	-	-
0,58	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	-0,001	-	-	-	-
5,05	-0,001	0,000	0,000	-0,001	-0,002	-0,003	-	-	-	-
10,04	-0,006	-0,005	-0,004	-0,005	-0,006	-0,007	-	-	-	-
15,06	-0,010	-0,009	-0,006	-0,009	-0,009	-0,010	-	-	-	-
20,19	-0,013	-0,012	-0,009	-0,012	-0,013	-0,013	-	-	-	-
25,11	-0,016	-0,015	-0,011	-0,015	-0,016	-0,015	-	-	-	-
30,19	-0,020	-0,019	-0,013	-0,019	-0,020	-0,019	-	-	-	-
35,16	-0,024	-0,022	-0,016	-0,023	-0,023	-0,021	-	-	-	-
40,14	-0,027	-0,026	-0,018	-0,026	-0,027	-0,024	-	-	-	-
45,11	-0,031	-0,029	-0,020	-0,029	-0,030	-0,028	-	-	-	-
50,12	-0,034	-0,033	-0,023	-0,033	-0,033	-0,030	-	-	-	-
55,06	-0,038	-0,036	-0,026	-0,036	-0,037	-0,033	-	-	-	-
60,12	-0,042	-0,040	-0,028	-0,040	-0,042	-0,039	-	-	-	-
65,20	-0,045	-0,043	-0,031	-0,043	-0,046	-0,042	-	-	-	-
70,09	-0,049	-0,046	-0,033	-0,047	-0,049	-0,045	-	-	-	-
75,08	-0,049	-0,052	-0,043	-0,049	-0,051	-0,047	-	-	-	-
80,12	-0,053	-0,058	-0,048	-0,052	-0,055	-0,050	-	-	-	-
85,12	-0,057	-0,063	-0,054	-0,056	-0,059	-0,055	-	-	-	-
90,06	-0,061	-0,067	-0,057	-0,060	-0,064	-0,060	-	-	-	-
95,06	-0,065	-0,071	-0,060	-0,064	-0,068	-0,066	-	-	-	-
100,05	-0,068	-0,074	-0,062	-0,067	-0,072	-0,069	-	-	-	-
105,06	-0,073	-0,080	-0,066	-0,070	-0,076	-0,074	-	-	-	-
110,15	-0,076	-0,083	-0,069	-0,072	-0,079	-0,079	-	-	-	-
115,19	-0,080	-0,088	-0,072	-0,079	-0,088	-0,090	-	-	-	-
120,10	-0,081	-0,089	-0,076	-0,081	-0,092	-0,096	-	-	-	-
125,09	-0,083	-0,098	-0,094	-0,086	-0,098	-0,104	-	-	-	-
129,91	-0,086	-0,103	-0,099	-0,092	-0,109	-0,118	-	-	-	-
129,90	-0,086	-0,103	-0,099	-0,092	-0,109	-0,118	-	-	-	-
135,09	-0,090	-0,108	-0,104	-0,100	-0,120	-0,131	-	-	-	-
135,37	-0,091	-0,102	-0,105	-0,104	-0,126	-0,140	-	-	-	-
135,35	-0,091	-0,102	-0,105	-0,104	-0,126	-0,140	-	-	-	-
135,11	-0,097	-0,112	-0,112	-0,164	-0,183	-0,202	-	-	-	-
130,13	-0,086	-0,098	-0,106	-0,157	-0,176	-0,195	-0,004	0,006	0,018	0,016
140,13	-0,090	-0,103	-0,111	-0,161	-0,181	-0,200	-0,005	0,011	0,031	0,032
150,07	-0,093	-0,106	-0,115	-0,166	-0,185	-0,204	-0,005	0,013	0,035	0,037
150,25	-0,095	-0,106	-0,115	-0,166	-0,187	-0,205	-0,005	0,013	0,037	0,039
170,11	-0,105	-0,117	-0,125	-0,181	-0,203	-0,223	-0,005	0,018	0,049	0,057
190,26	-0,118	-0,127	-0,131	-0,202	-0,226	-0,248	0,043	0,025	0,065	0,079
210,33	-0,145	-0,171	-0,200	-0,229	-0,258	-0,283	0,527	0,031	0,085	0,117
230,21	-0,169	-0,201	-0,232	-0,259	-0,296	-0,325	1,299	0,036	0,105	0,177
250,07	-0,205	-0,225	-0,231	-0,282	-0,332	-0,366	2,068	0,041	0,131	0,330
270,43	-0,247	-0,272	-0,274	-0,300	-0,355	-0,395	2,068	0,047	0,166	0,504

Tabela D.14 – Continuação.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)	SG12 (‰)	SG13 (‰)	SG14 (‰)	SG15 (‰)
290,36	-0,327	-0,396	0,639	-0,314	-0,374	-0,418	2,068	0,053	0,219	0,692
310,15	-0,364	-0,448	0,928	-0,333	-0,399	-0,446	2,068	0,056	0,344	1,106
331,85	-0,398	-0,495	1,167	-0,353	-0,423	-0,472	2,068	0,059	0,659	1,511
350,03	-0,422	-0,535	1,342	-0,373	-0,445	-0,494	2,068	0,062	1,022	2,037
370,41	-0,446	-0,581	1,342	-0,404	-0,469	-0,500	2,068	0,074	1,079	2,037
365,62	-0,443	-0,579	1,342	-0,404	-0,468	-0,498	2,068	0,075	1,069	2,037
370,10	-0,447	-0,584	1,342	-0,409	-0,475	-0,503	2,068	0,076	1,069	2,037
375,26	-0,465	-0,612	1,342	-0,425	-0,496	-0,512	2,068	0,086	1,124	2,037
369,54	-0,462	-0,609	1,342	-0,420	-0,491	-0,507	2,068	0,085	1,122	2,037
373,25	-0,465	-0,613	1,342	-0,421	-0,493	-0,509	2,068	0,086	1,126	2,037
382,12	-0,472	-0,623	1,342	-0,427	-0,500	-0,514	2,068	0,087	1,140	2,037
381,64	-0,472	-0,623	1,342	-0,427	-0,499	-0,514	2,068	0,088	1,140	2,037
385,46	-0,475	-0,628	1,342	-0,430	-0,504	-0,516	2,068	0,089	1,146	2,037
390,10	-0,661	-0,927	1,615	-0,562	-0,665	-0,649	3,545	0,097	1,265	3,146
410,21	-0,681	-0,961	1,800	-0,577	-0,684	-0,664	3,810	0,103	1,338	3,352
420,07	-0,690	-0,980	1,906	-0,586	-0,695	-0,672	3,964	0,105	1,312	3,551
430,07	-0,700	-0,998	2,044	-0,594	-0,708	-0,681	4,137	0,109	1,318	3,700
435,05	-0,704	-1,009	2,125	-0,599	-0,716	-0,686	4,238	0,112	1,213	3,791
435,71	-0,704	-1,010	2,139	-0,600	-0,718	-0,687	4,250	0,112	1,191	3,585
436,76	-0,704	-1,012	2,159	-0,601	-0,721	-0,689	4,269	0,114	1,143	3,263
437,84	-0,704	-1,014	2,178	-0,603	-0,724	-0,691	4,289	0,114	1,116	3,675
438,91	-0,706	-1,016	2,196	-0,605	-0,726	-0,692	4,307	0,115	1,098	4,040
440,08	-0,706	-1,018	2,215	-0,606	-0,729	-0,693	4,329	0,116	1,090	4,436
440,80	-0,707	-1,020	2,228	-0,607	-0,729	-0,694	4,342	0,117	1,085	4,489
442,13	-0,708	-1,022	2,252	-0,608	-0,731	-0,696	4,366	0,118	1,080	4,585
443,57	-0,709	-1,025	2,280	-0,610	-0,734	-0,696	4,393	0,119	1,075	4,703
444,08	-0,709	-1,026	2,291	-0,610	-0,734	-0,696	4,403	0,120	1,067	4,732
445,11	-0,710	-1,028	2,312	-0,611	-0,736	-0,696	4,423	0,121	1,054	4,956
445,90	-0,711	-1,030	2,329	-0,612	-0,737	-0,697	4,439	0,122	1,043	4,991
446,21	-0,711	-1,030	2,336	-0,612	-0,737	-0,698	4,445	0,123	1,032	5,003
447,16	-0,712	-1,032	2,356	-0,613	-0,739	-0,698	4,464	0,124	1,016	5,035
448,12	-0,712	-1,034	2,377	-0,614	-0,741	-0,699	4,485	0,125	1,007	5,064
448,67	-0,713	-1,034	2,386	-0,615	-0,741	-0,699	4,496	0,126	1,004	5,078
449,57	-0,714	-1,036	2,404	-0,616	-0,743	-0,699	4,516	0,127	1,000	5,098
450,85	-0,714	-1,038	2,432	-0,617	-0,744	-0,699	4,543	0,129	0,997	5,129
452,36	-0,715	-1,042	2,464	-0,619	-0,746	-0,700	4,578	0,132	0,994	5,150
453,11	-0,715	-1,043	2,478	-0,616	-0,742	-0,690	4,597	0,134	0,992	5,055
454,44	-0,716	-1,047	2,508	-0,618	-0,744	-0,689	4,629	0,137	0,989	5,106
456,23	-0,718	-1,050	2,548	-0,619	-0,746	-0,689	4,669	0,141	0,980	5,158
458,92	-0,719	-1,057	2,616	-0,621	-0,749	-0,689	4,737	0,146	0,948	5,244
460,10	-0,720	-1,059	2,658	-0,621	-0,750	-0,690	4,765	0,150	0,945	5,278
462,40	-0,722	-1,065	2,731	-0,622	-0,751	-0,690	4,824	0,155	0,937	5,345
463,46	-0,723	-1,067	2,768	-0,623	-0,753	-0,691	4,851	0,157	0,935	5,373
465,23	-0,724	-1,071	2,830	-0,624	-0,755	-0,692	4,898	0,161	0,923	5,422
466,57	-0,725	-1,076	2,884	-0,625	-0,756	-0,692	4,936	0,164	0,917	5,463

Tabela D.15 – Leituras dos LVDT e extensômetros colados no aço da viga VII-3.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,019	0,005	0,003	0,002	0,001
5,49	0,14	0,02	0,01	0,018	0,006	0,003	-0,001	0,020
10,84	0,24	0,12	0,04	0,018	0,006	0,002	-0,001	0,032
14,98	0,37	0,32	0,27	0,017	0,006	0,003	-0,002	0,044
20,19	0,44	0,33	0,28	0,016	0,007	0,002	-0,004	0,055
25,51	0,52	0,40	0,36	0,016	0,007	0,002	-0,004	0,068
30,37	0,59	0,50	0,44	0,014	0,008	0,001	-0,005	0,081
35,38	0,69	0,60	0,53	0,013	0,008	0,001	-0,007	0,099
40,05	0,81	0,69	0,66	0,013	0,009	0,000	-0,006	0,143
45,27	0,94	0,72	0,79	0,012	0,009	0,000	-0,005	0,174
50,42	1,09	0,78	0,93	0,015	0,010	0,000	-0,005	0,204
55,33	1,26	0,89	1,08	0,042	0,011	0,000	0,000	0,243
60,21	1,42	1,09	1,25	0,051	0,011	-0,001	0,017	0,285
65,25	1,57	1,27	1,42	0,041	0,012	0,001	0,145	0,323
69,68	1,69	1,41	1,54	0,041	0,013	0,001	0,194	0,356
75,29	1,93	1,66	1,76	0,024	0,013	0,000	0,205	0,458
80,01	2,01	1,76	1,85	0,026	0,014	0,000	0,208	0,481
85,07	2,18	1,95	2,01	0,033	0,015	0,002	0,203	0,527
90,03	2,33	2,11	2,15	0,042	0,020	0,005	0,206	0,561
95,07	2,46	2,25	2,28	0,064	0,023	0,006	0,207	0,596
100,05	2,58	2,39	2,40	0,076	0,025	0,008	0,210	0,631
105,06	2,71	2,53	2,52	0,088	0,026	0,009	0,213	0,665
110,88	2,84	2,68	2,66	0,099	0,028	0,010	0,222	0,700
115,33	2,97	2,81	2,79	0,110	0,030	0,012	0,225	0,734
120,20	3,06	2,92	2,88	0,116	0,032	0,012	0,236	0,760
125,66	3,29	3,14	3,08	0,127	0,019	0,013	0,248	0,809
130,41	3,39	3,27	3,18	0,134	0,002	0,013	0,272	0,835
135,12	3,60	3,50	3,44	0,142	-0,004	-0,024	0,287	0,870
140,34	4,55	4,46	4,16	0,162	-0,010	-0,022	0,319	0,974
130,03	4,32	4,21	3,85	0,168	0,017	-0,004	0,359	0,876
140,15	4,46	4,37	4,00	0,171	0,017	-0,005	0,368	0,918
150,21	4,60	4,53	4,16	0,174	0,018	-0,006	0,380	0,964
160,18	4,75	4,70	4,32	0,179	0,018	-0,009	0,391	1,012
170,24	4,91	4,89	4,50	0,185	0,019	-0,009	0,403	1,066
180,17	5,10	5,11	4,70	0,190	0,020	-0,011	0,416	1,126
200,16	5,49	5,59	5,14	0,208	0,023	-0,012	0,442	1,257
220,22	5,91	6,08	5,59	0,225	0,023	-0,011	0,464	1,382
240,11	6,36	6,61	6,07	0,259	0,024	-0,006	0,475	1,511
260,13	6,86	7,17	6,59	0,283	0,025	-0,002	0,492	1,641
280,34	7,48	7,85	7,19	0,290	0,029	0,023	0,513	1,764
300,27	7,96	8,40	7,71	0,324	0,035	0,027	0,521	1,884
320,29	8,57	9,15	8,41	0,327	0,042	0,039	0,534	2,036
340,40	8,90	9,49	8,74	0,311	0,045	0,043	0,538	2,135

Tabela D.15 – Continuação.

Força (kN)	LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 3 (mm)	SG1 (‰)	SG2 (‰)	SG3 (‰)	SG4 (‰)	SG5 (‰)
360,76	9,40	10,08	9,30	0,306	0,051	0,060	0,545	2,261
380,63	9,93	10,72	9,92	0,429	0,059	0,122	0,548	2,385
399,96	10,65	11,71	10,91	0,600	0,068	0,438	0,548	2,509
392,00	10,81	11,91	11,30	0,608	0,067	0,471	0,535	2,486
391,95	10,81	11,91	11,31	0,608	0,068	0,465	0,535	2,485
390,18	10,84	11,96	11,40	0,606	0,068	0,428	0,532	2,479
390,04	10,85	11,97	11,41	0,605	0,068	0,422	0,532	2,478
389,93	10,86	11,98	11,43	0,605	0,068	0,414	0,530	2,478
389,93	10,86	11,99	11,44	0,605	0,068	0,408	0,529	2,478
390,11	10,87	12,01	11,46	0,605	0,068	0,399	0,528	2,478
390,07	10,88	12,02	11,47	0,605	0,068	0,393	0,526	2,479
390,31	10,88	12,02	11,48	0,605	0,069	0,388	0,526	2,479
390,54	10,90	12,04	11,51	0,604	0,069	0,377	0,525	2,480
390,37	10,90	12,05	11,52	0,604	0,069	0,372	0,524	2,479
390,06	10,90	12,05	11,53	0,603	0,069	0,369	0,524	2,479
389,91	10,90	12,05	11,53	0,603	0,069	0,367	0,524	2,478
389,72	10,90	12,05	11,53	0,603	0,069	0,365	0,524	2,477
389,63	10,90	12,05	11,53	0,603	0,069	0,363	0,524	2,477
385,56	10,88	12,05	11,53	0,599	0,069	0,348	0,522	2,463
384,88	10,87	12,05	11,53	0,599	0,069	0,347	0,522	2,461
383,20	10,85	12,05	11,53	0,598	0,069	0,343	0,522	2,455
382,55	10,85	12,05	11,53	0,597	0,069	0,340	0,521	2,452
382,56	10,85	12,05	11,53	0,597	0,069	0,336	0,521	2,452
382,77	10,85	12,05	11,53	0,597	0,069	0,334	0,521	2,452
387,67	10,89	12,05	11,53	0,600	0,070	0,330	0,520	2,468
393,08	10,95	12,12	11,61	0,607	0,070	0,328	0,520	2,487
397,26	11,01	12,21	11,70	0,614	0,071	0,327	0,521	2,503
400,10	11,06	12,27	11,76	0,621	0,071	0,325	0,521	2,513
401,66	11,09	12,31	11,80	0,625	0,071	0,325	0,522	2,520
403,56	11,13	12,36	11,85	0,631	0,072	0,324	0,522	2,528
405,06	11,16	12,40	11,90	0,637	0,072	0,324	0,523	2,536
406,09	11,19	12,44	11,94	0,642	0,072	0,324	0,523	2,541
408,41	11,24	12,51	12,02	0,653	0,073	0,323	0,524	2,552
410,01	11,29	12,57	12,08	0,663	0,073	0,324	0,524	2,561
411,64	11,33	12,63	12,14	0,673	0,073	0,325	0,524	2,569
413,12	11,37	12,68	12,21	0,684	0,074	0,326	0,525	2,578
415,87	11,46	12,80	12,33	0,704	0,074	0,329	0,526	2,593
416,76	11,49	12,85	12,39	0,714	0,075	0,330	0,526	2,598
415,42	11,53	12,92	12,49	0,721	0,075	0,330	0,526	2,595
414,59	11,56	12,97	12,56	0,722	0,075	0,330	0,523	2,593
414,39	11,58	13,01	12,61	0,724	0,076	0,331	0,521	2,593
414,55	11,60	13,05	12,67	0,726	0,076	0,332	0,518	2,594
415,22	11,64	13,12	12,74	0,731	0,076	0,326	0,516	2,597
415,66	11,69	13,18	12,81	0,736	0,076	0,311	0,515	2,599
416,00	11,73	13,24	12,90	0,741	0,077	0,291	0,513	2,602
416,30	11,76	13,31	12,97	0,745	0,077	0,276	0,512	2,603

Tabela D.16 – Leituras dos extensômetros colados na superfície do concreto e do CFC da viga VII-3.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)	SG12 (‰)	SG13 (‰)	SG14 (‰)	SG15 (‰)
0,00	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	–	–	–	–
5,49	0,000	-0,001	0,000	-0,001	-0,001	0,000	–	–	–	–
10,84	-0,001	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	-0,001	–	–	–	–
14,98	-0,001	-0,002	-0,001	-0,003	-0,003	-0,001	–	–	–	–
20,19	-0,003	-0,003	-0,001	-0,005	-0,005	-0,001	–	–	–	–
25,51	-0,004	-0,004	-0,002	-0,006	-0,006	-0,002	–	–	–	–
30,37	-0,004	-0,005	-0,002	-0,007	-0,007	-0,002	–	–	–	–
35,38	-0,005	-0,005	-0,002	-0,008	-0,008	-0,003	–	–	–	–
40,05	-0,005	-0,006	-0,002	-0,009	-0,008	-0,003	–	–	–	–
45,27	-0,006	-0,007	-0,002	-0,011	-0,010	-0,003	–	–	–	–
50,42	-0,007	-0,007	-0,003	-0,012	-0,011	-0,004	–	–	–	–
55,33	-0,007	-0,008	-0,003	-0,013	-0,012	-0,004	–	–	–	–
60,21	-0,008	-0,009	-0,003	-0,014	-0,013	-0,004	–	–	–	–
65,25	-0,008	-0,009	-0,003	-0,015	-0,015	-0,006	–	–	–	–
69,68	-0,009	-0,010	-0,004	-0,016	-0,016	-0,007	–	–	–	–
75,29	-0,009	-0,010	-0,006	-0,018	-0,018	-0,008	–	–	–	–
80,01	-0,009	-0,011	-0,007	-0,019	-0,019	-0,009	–	–	–	–
85,07	-0,008	-0,011	-0,009	-0,020	-0,021	-0,011	–	–	–	–
90,03	-0,004	-0,014	-0,023	-0,021	-0,024	-0,015	–	–	–	–
95,07	-0,004	-0,015	-0,026	-0,022	-0,026	-0,018	–	–	–	–
100,05	-0,005	-0,016	-0,028	-0,023	-0,028	-0,020	–	–	–	–
105,06	-0,005	-0,017	-0,031	-0,024	-0,030	-0,022	–	–	–	–
110,88	-0,006	-0,019	-0,033	-0,024	-0,033	-0,027	–	–	–	–
115,33	-0,006	-0,020	-0,035	-0,024	-0,035	-0,029	–	–	–	–
120,20	-0,005	-0,021	-0,037	-0,025	-0,036	-0,031	–	–	–	–
125,66	-0,003	-0,012	-0,021	-0,023	-0,036	-0,035	–	–	–	–
130,41	-0,004	-0,016	-0,035	-0,024	-0,037	-0,038	–	–	–	–
135,12	-0,007	-0,023	-0,047	-0,054	-0,088	-0,116	–	–	–	–
140,34	-0,091	-0,129	-0,167	-0,090	-0,155	-0,206	–	–	–	–
130,03	-0,085	-0,118	-0,148	-0,094	-0,151	-0,193	0,020	0,000	0,015	0,012
140,15	-0,088	-0,123	-0,152	-0,098	-0,157	-0,199	0,074	0,000	0,040	0,055
150,21	-0,093	-0,128	-0,158	-0,103	-0,163	-0,206	0,165	0,001	0,078	0,109
160,18	-0,097	-0,132	-0,163	-0,108	-0,170	-0,213	0,250	0,001	0,105	0,181
170,24	-0,102	-0,138	-0,169	-0,114	-0,177	-0,221	0,340	0,002	0,118	0,262
180,17	-0,107	-0,145	-0,176	-0,119	-0,184	-0,230	0,454	0,003	0,132	0,355
200,16	-0,118	-0,160	-0,193	-0,132	-0,202	-0,249	0,700	0,008	0,167	0,608
220,22	-0,133	-0,179	-0,214	-0,146	-0,221	-0,271	0,972	0,014	0,217	0,940
240,11	-0,150	-0,199	-0,236	-0,163	-0,243	-0,294	1,252	0,015	0,291	1,364
260,13	-0,175	-0,225	-0,266	-0,188	-0,274	-0,325	1,515	0,012	0,407	1,802
280,34	-0,186	-0,240	-0,284	-0,262	-0,350	-0,393	1,822	0,031	0,650	2,356
300,27	-0,196	-0,256	-0,302	-0,285	-0,378	-0,423	2,123	0,244	1,017	2,605
320,29	-0,206	-0,271	-0,313	-0,312	-0,411	-0,457	2,384	1,224	1,776	2,902
340,40	-0,215	-0,283	-0,325	-0,329	-0,433	-0,480	2,571	1,485	2,061	3,011

Tabela D.16 – Continuação.

Força (kN)	SG6 (‰)	SG7 (‰)	SG8 (‰)	SG9 (‰)	SG10 (‰)	SG11 (‰)	SG12 (‰)	SG13 (‰)	SG14 (‰)	SG15 (‰)
360,76	-0,225	-0,296	-0,338	-0,351	-0,461	-0,510	2,871	1,933	2,453	3,103
380,63	-0,231	-0,306	-0,349	-0,362	-0,481	-0,538	3,218	2,206	2,696	2,875
399,96	-0,232	-0,309	-0,356	-0,349	-0,455	-0,589	3,698	2,388	2,459	0,033
392,00	-0,230	-0,307	-0,354	-0,367	-0,486	-0,601	3,705	2,393	1,606	0,057
391,95	-0,230	-0,306	-0,354	-0,368	-0,487	-0,602	3,704	2,393	1,567	0,058
390,18	-0,229	-0,305	-0,352	-0,373	-0,498	-0,610	3,694	2,389	1,275	0,065
390,04	-0,229	-0,305	-0,352	-0,374	-0,500	-0,612	3,692	2,389	1,271	0,065
389,93	-0,229	-0,305	-0,352	-0,375	-0,502	-0,614	3,691	2,389	1,266	0,065
389,93	-0,229	-0,305	-0,352	-0,375	-0,502	-0,615	4,180	2,388	1,258	0,065
390,11	-0,229	-0,305	-0,352	-0,377	-0,504	-0,616	4,179	2,388	1,253	0,064
390,07	-0,229	-0,305	-0,352	-0,377	-0,505	-0,617	4,178	2,388	1,250	0,062
390,31	-0,229	-0,305	-0,351	-0,377	-0,506	-0,618	4,177	2,388	1,222	0,061
390,54	-0,228	-0,305	-0,351	-0,378	-0,508	-0,619	4,176	2,388	1,214	0,058
390,37	-0,228	-0,305	-0,351	-0,379	-0,508	-0,620	4,175	2,388	1,211	0,057
390,06	-0,228	-0,305	-0,351	-0,379	-0,508	-0,620	4,174	2,387	1,204	0,056
389,91	-0,228	-0,305	-0,351	-0,379	-0,509	-0,620	4,172	2,386	1,197	0,056
389,72	-0,228	-0,304	-0,351	-0,379	-0,509	-0,620	4,171	2,386	1,188	0,055
389,63	-0,228	-0,304	-0,351	-0,379	-0,509	-0,620	4,170	2,386	1,183	0,055
385,56	-0,226	-0,302	-0,348	-0,376	-0,507	-0,616	4,153	2,378	1,166	0,049
384,88	-0,225	-0,301	-0,348	-0,376	-0,507	-0,615	4,149	2,377	1,165	0,048
383,20	-0,225	-0,300	-0,347	-0,375	-0,505	-0,614	4,142	2,374	1,162	0,047
382,55	-0,224	-0,300	-0,346	-0,375	-0,505	-0,613	4,138	2,372	1,161	0,046
382,56	-0,224	-0,299	-0,346	-0,375	-0,505	-0,613	4,137	2,371	1,159	0,045
382,77	-0,224	-0,300	-0,347	-0,375	-0,505	-0,613	4,136	2,372	1,159	0,045
387,67	-0,226	-0,303	-0,349	-0,379	-0,510	-0,619	4,151	2,378	1,159	0,046
393,08	-0,229	-0,305	-0,352	-0,383	-0,516	-0,625	4,172	2,388	1,163	0,049
397,26	-0,231	-0,308	-0,355	-0,387	-0,521	-0,631	4,197	2,398	1,167	0,053
400,10	-0,232	-0,310	-0,356	-0,389	-0,524	-0,635	4,218	2,408	1,168	0,056
401,66	-0,232	-0,310	-0,357	-0,391	-0,526	-0,638	4,232	2,413	1,166	0,059
403,56	-0,233	-0,311	-0,359	-0,393	-0,529	-0,641	4,251	2,422	1,165	0,063
405,06	-0,234	-0,312	-0,359	-0,394	-0,531	-0,643	4,267	2,429	1,163	0,066
406,09	-0,234	-0,313	-0,360	-0,395	-0,532	-0,644	4,279	2,433	1,162	0,067
408,41	-0,235	-0,314	-0,361	-0,397	-0,534	-0,647	4,304	2,444	1,160	0,072
410,01	-0,235	-0,314	-0,362	-0,398	-0,536	-0,649	4,326	2,453	1,159	0,076
411,64	-0,236	-0,315	-0,363	-0,400	-0,538	-0,651	4,346	2,461	1,158	0,078
413,12	-0,236	-0,316	-0,364	-0,401	-0,540	-0,652	4,369	2,469	1,157	0,081
415,87	-0,237	-0,317	-0,366	-0,403	-0,544	-0,655	4,407	2,482	1,154	0,088
416,76	-0,237	-0,318	-0,366	-0,404	-0,545	-0,656	4,422	2,488	1,147	0,087
415,42	-0,235	-0,316	-0,365	-0,402	-0,546	-0,656	4,422	2,488	0,880	0,049
414,59	-0,234	-0,315	-0,364	-0,400	-0,545	-0,653	4,417	2,485	0,875	0,037
414,39	-0,234	-0,314	-0,363	-0,400	-0,546	-0,652	4,414	2,485	0,872	0,031
414,55	-0,233	-0,314	-0,363	-0,401	-0,547	-0,653	4,414	2,485	0,869	0,023
415,22	-0,233	-0,314	-0,363	-0,401	-0,549	-0,653	4,417	2,486	0,860	0,018
415,66	-0,233	-0,314	-0,363	-0,402	-0,551	-0,653	4,420	2,487	0,841	0,014
416,00	-0,233	-0,313	-0,362	-0,402	-0,553	-0,651	4,425	2,488	0,828	0,000
416,30	-0,233	-0,313	-0,362	-0,403	-0,556	-0,651	4,428	2,489	0,822	0,037

Anexo E

Gráficos dos Resultados dos Ensaios das Vigas

E.1.

Viga de Referência VR1

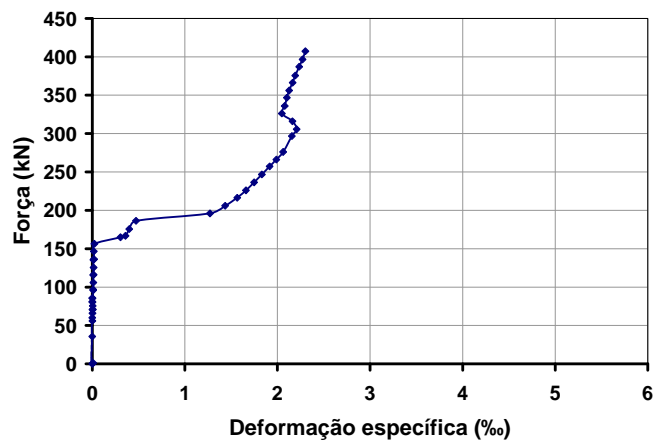


Figura E.1 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG1 colado num estribo da viga VR1.

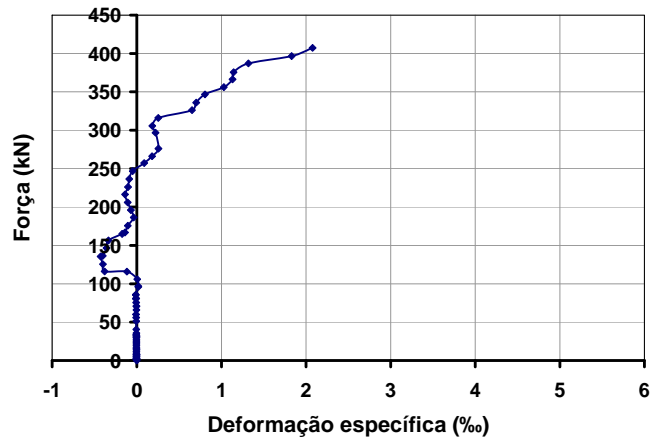


Figura E.2 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG2 colado num estribo da viga VR1.

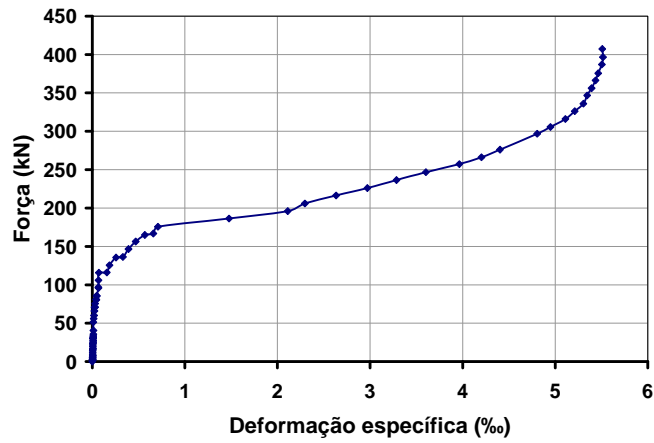


Figura E.3 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG3 colado num estribo da viga VR1.



Figura E.4 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG4 colado num estribo da viga VR1.



Figura E.5 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG5 colado na armadura de flexão da viga VR1.

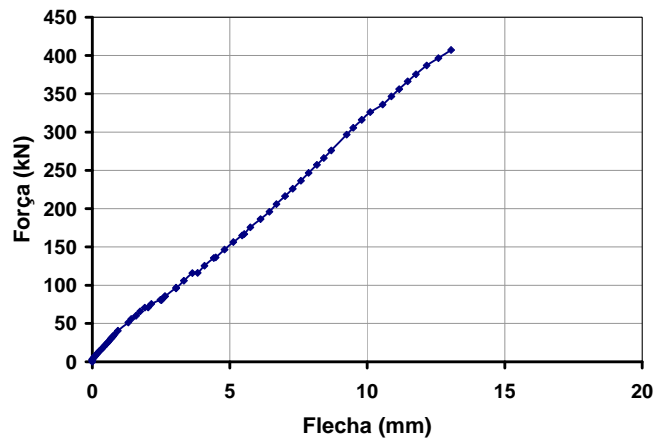


Figura E.6 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 2 da viga VR1.

E.2.

Viga VI-1

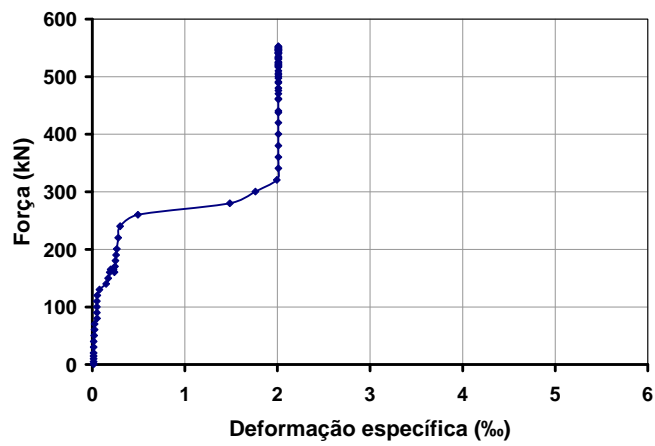


Figura E.7 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG1 colado num estribo da viga VI-1.

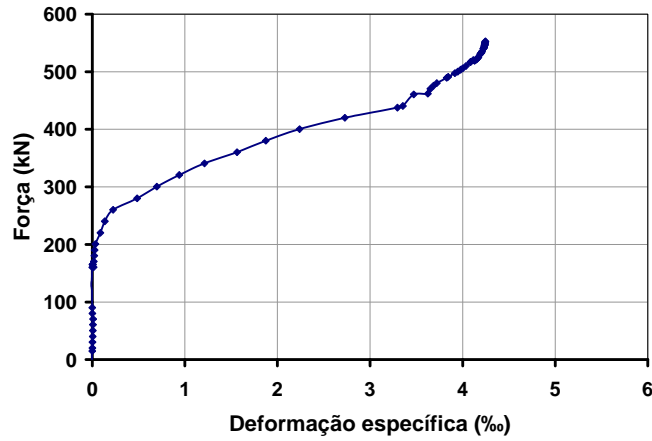


Figura E.8 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG2 colado num estribo da viga VI-1.



Figura E.9 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG3 colado num estribo da viga VI-1.

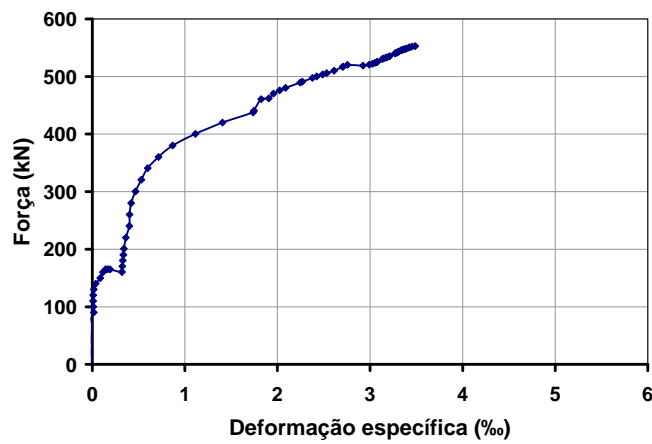


Figura E.10 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG4 colado num estribo da viga VI-1.

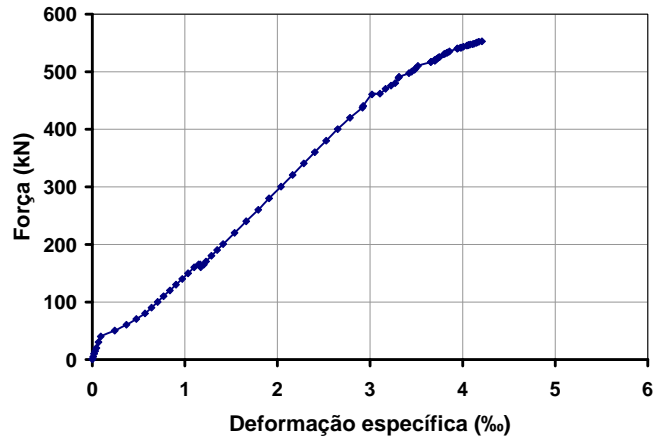


Figura E.11 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG5 colado na armadura de flexão da viga VI-1.

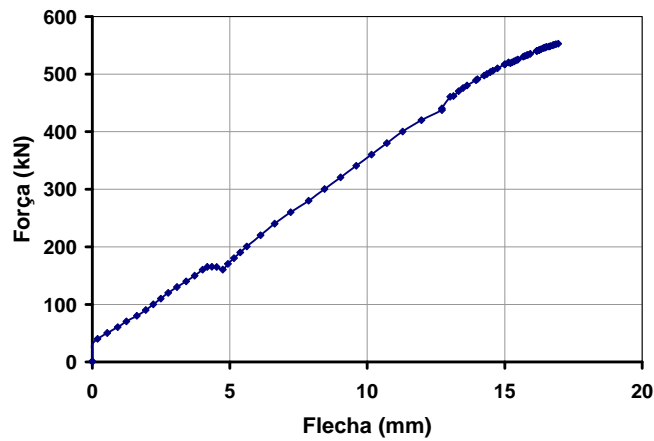


Figura E.12 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 1 da viga VI-1.

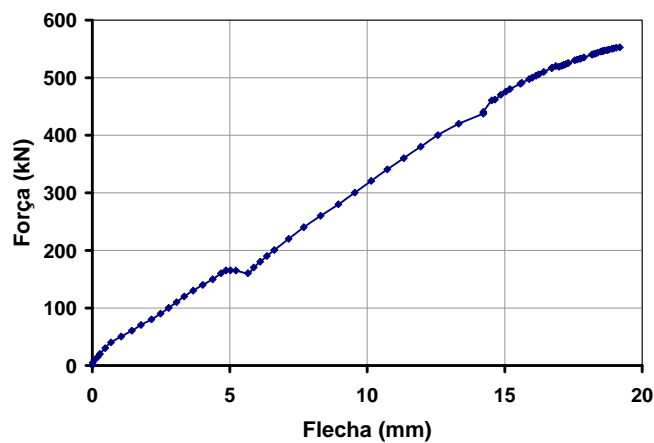


Figura E.13 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 2 da viga VI-1.

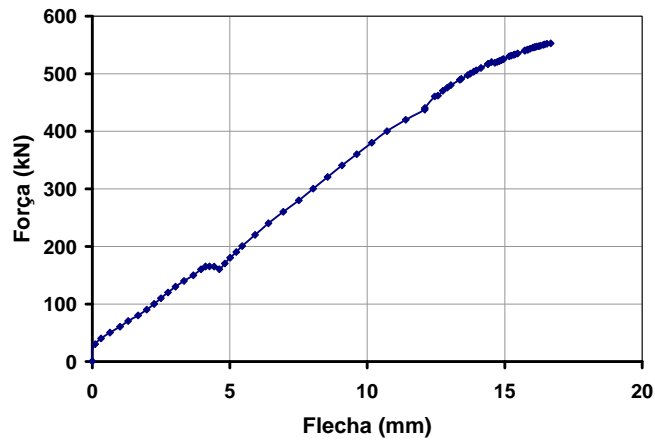


Figura E.14 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 3 da viga VI-1.

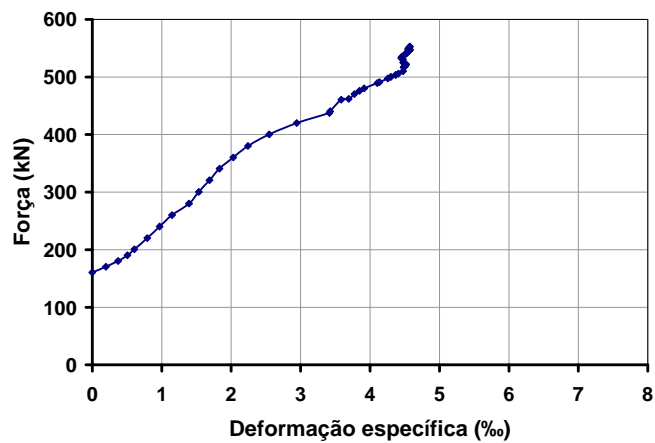


Figura E.15 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG12 colado numa tira de CFC da viga VI-1.

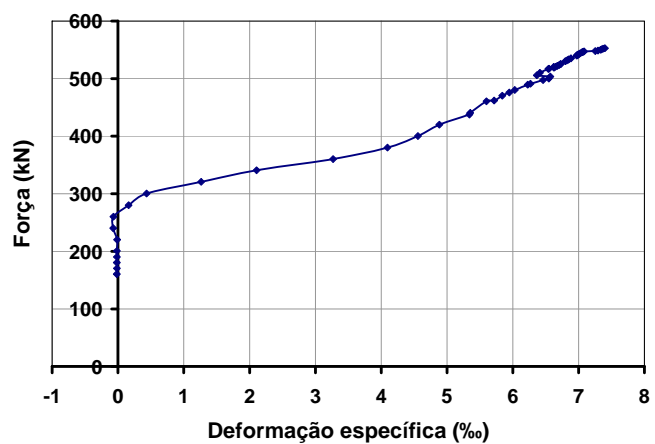


Figura E.16 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG13 colado numa tira de CFC da viga VI-1.

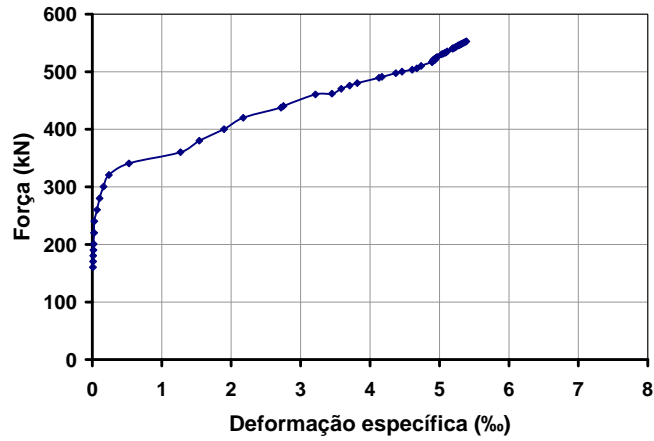


Figura E.17 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG14 colado numa tira de CFC da viga VI-1.

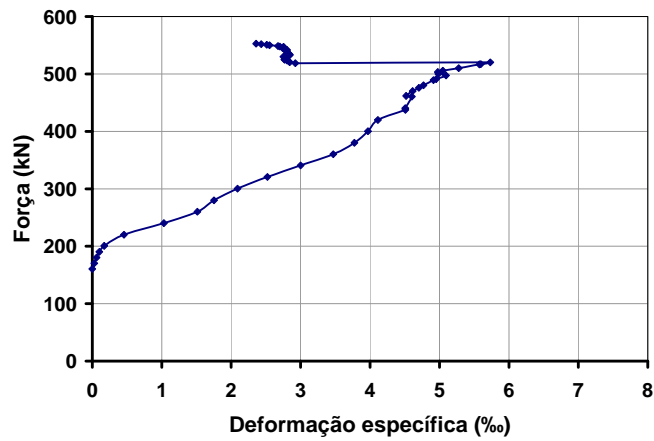


Figura E.18 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG15 colado numa tira de CFC da viga VI-1.

E.3.

Viga VI-2

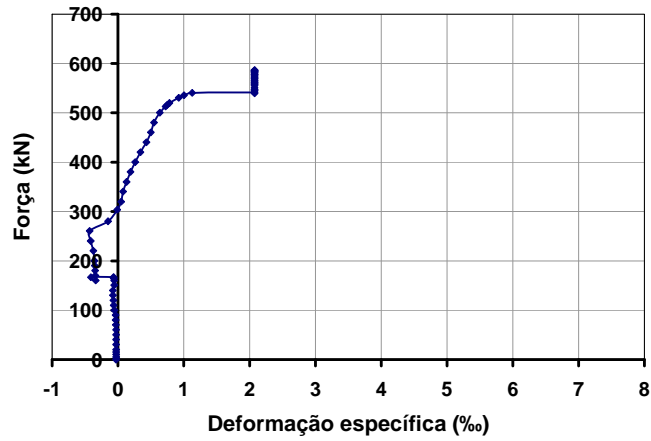


Figura E.19 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG1 colado num estribo da viga VI-2.

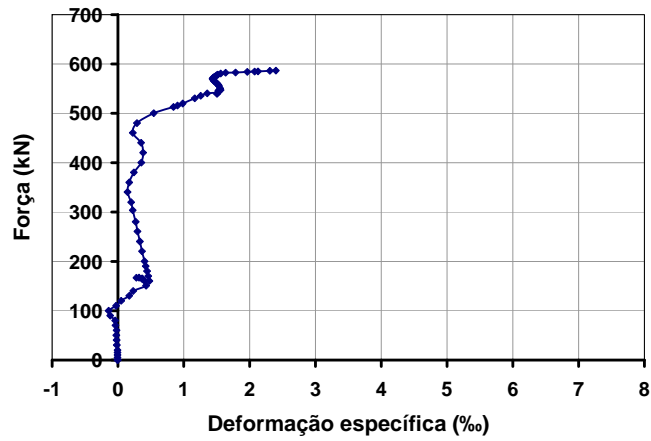


Figura E.20 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG2 colado num estribo da viga VI-2.

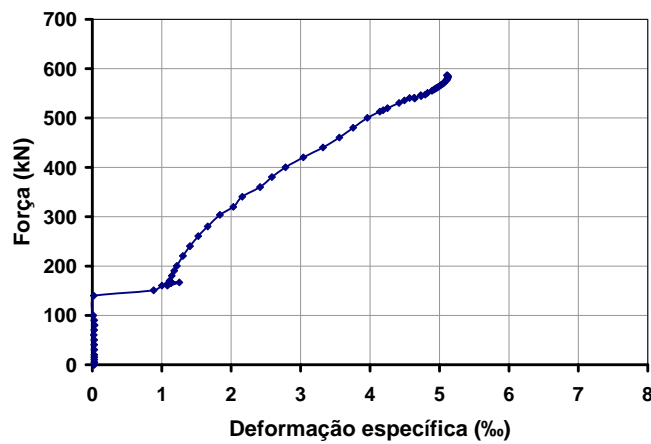


Figura E.21 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG3 colado num estribo da viga VI-2.

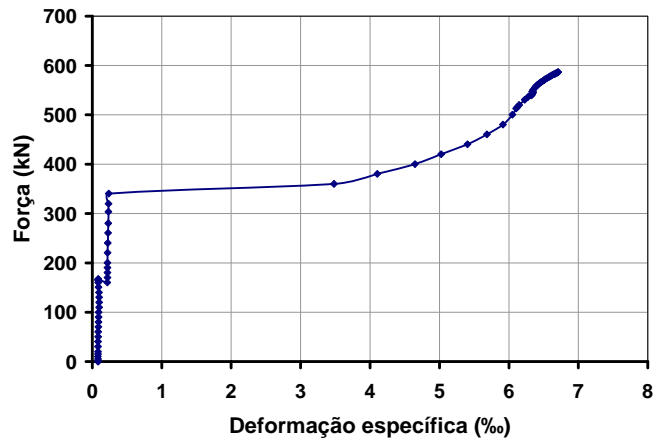


Figura E.22 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG4 colado num estribo da viga VI-2.

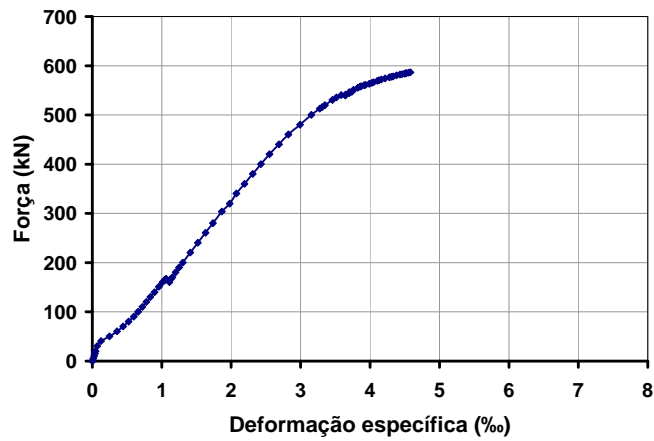


Figura E.23 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG5 colado na armadura de flexão da viga VI-2.

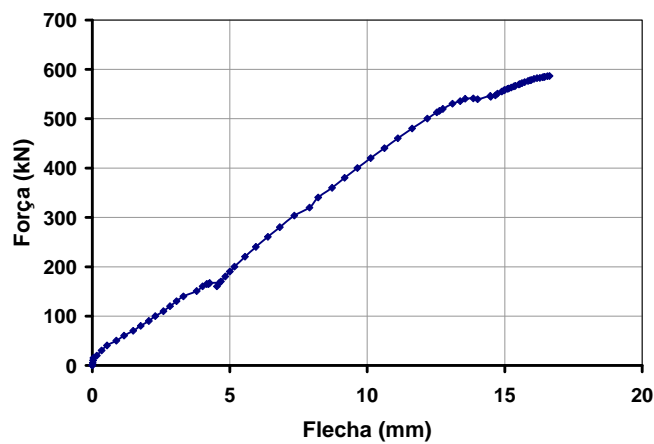


Figura E.24 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 1 da viga VI-2.

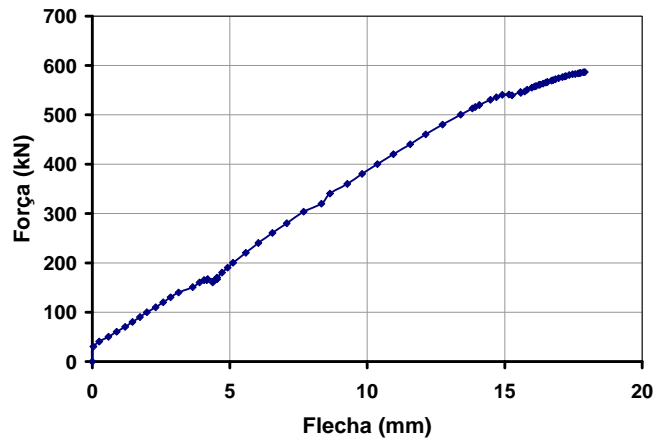


Figura E.25 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 2 da viga VI-2.

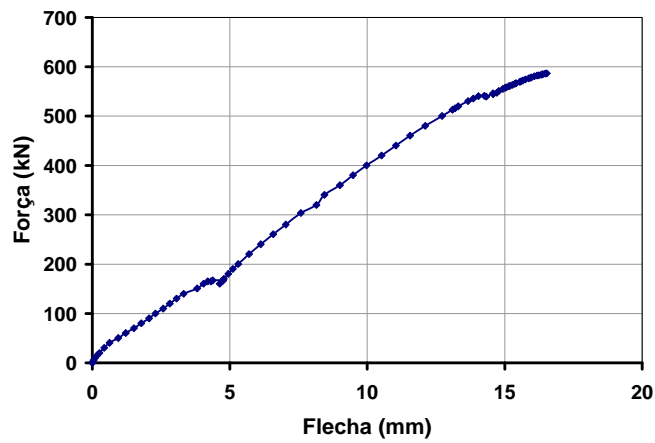


Figura E.26 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 3 da viga VI-2.

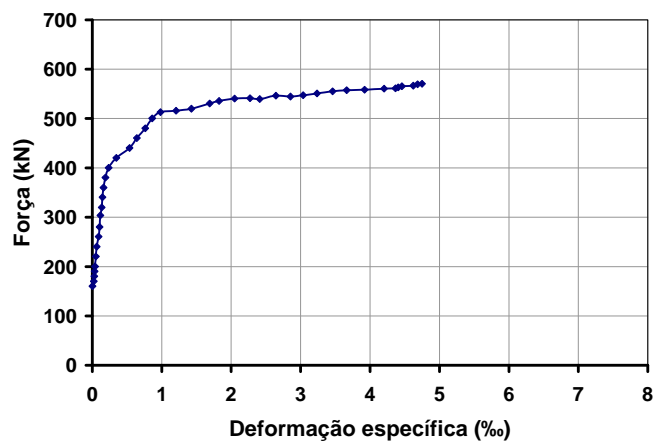


Figura E.27 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG12 colado numa tira de CFC da viga VI-2.

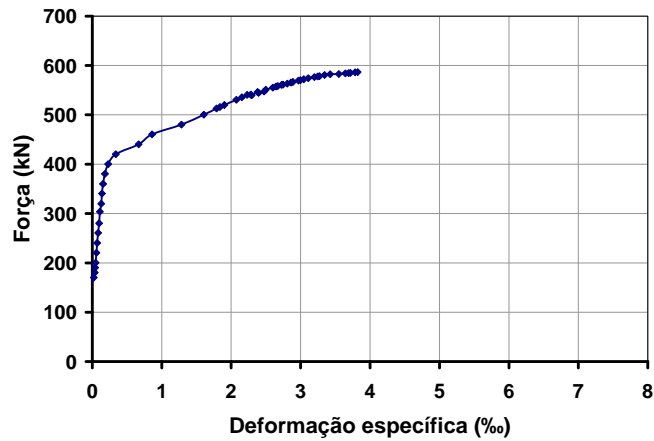


Figura E.28 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG13 colado numa tira de CFC da viga VI-2.

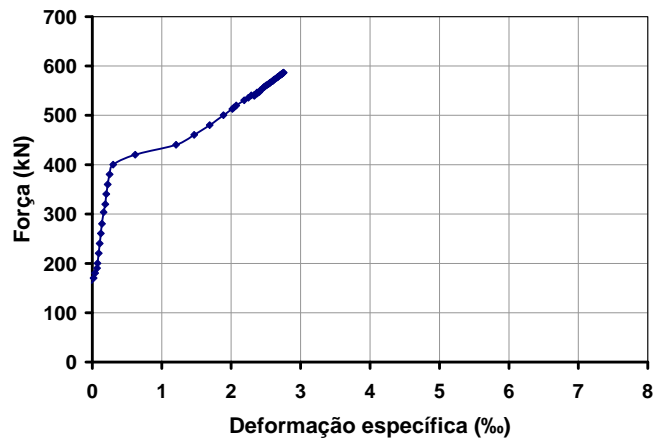


Figura E.29 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG14 colado numa tira de CFC da viga VI-2.

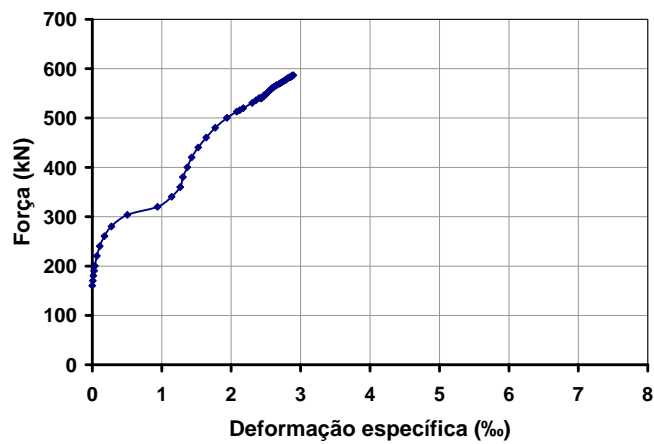


Figura E.30 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG15 colado numa tira de CFC da viga VI-2.

E.4.

Viga VI-3

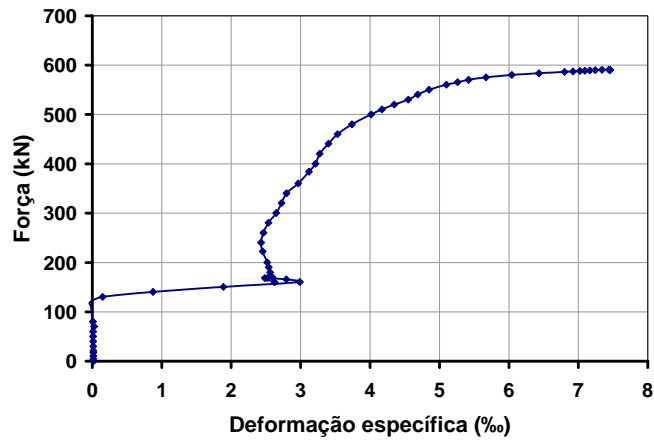


Figura E.31 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG1 colado num estribo da viga VI-3.

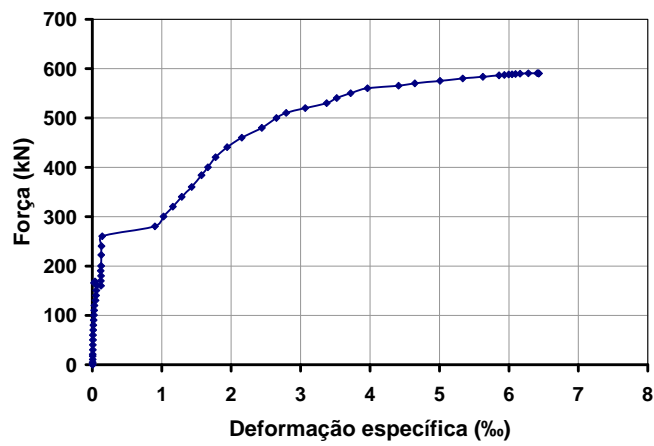


Figura E.32 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG2 colado num estribo da viga VI-3.

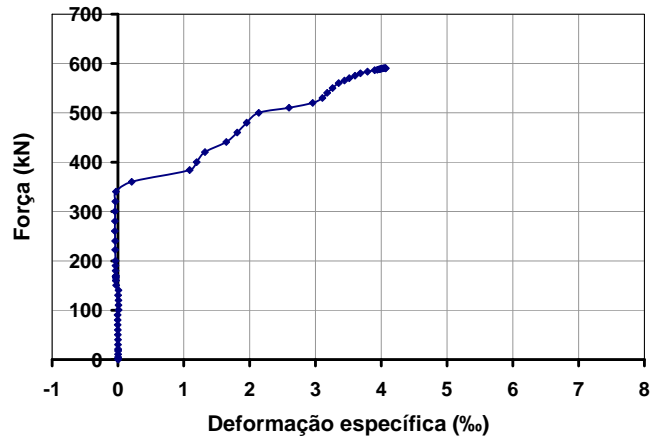


Figura E.33 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG3 colado num estribo da viga VI-3.

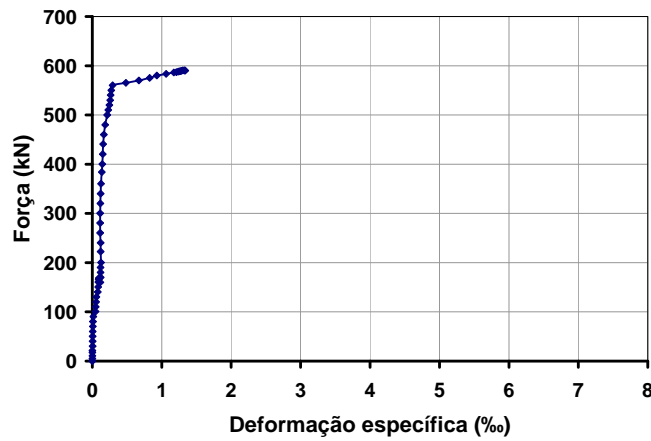


Figura E.34 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG4 colado num estribo da viga VI-3.

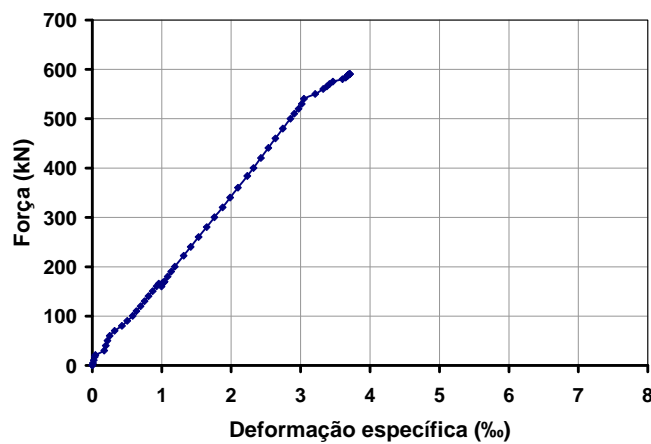


Figura E.35 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG5 colado na armadura de flexão da viga VI-3.

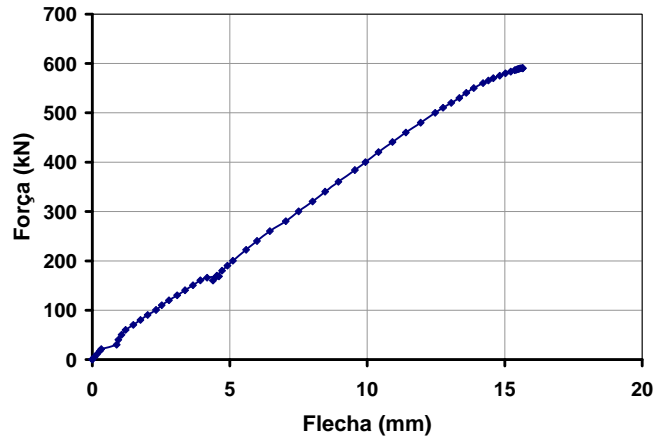


Figura E.36 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 1 da viga VI-3.

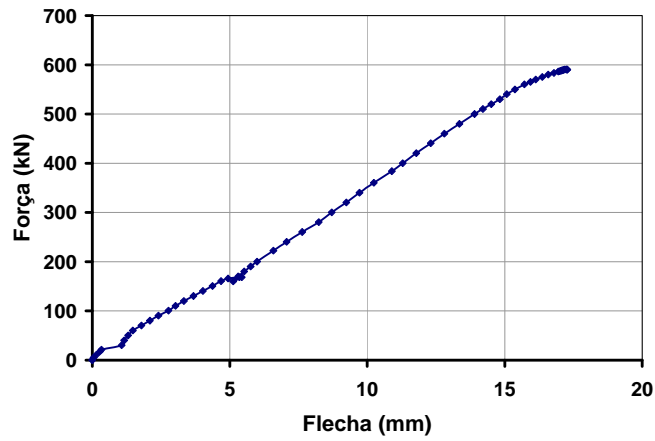


Figura E.37 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 2 da viga VI-3.

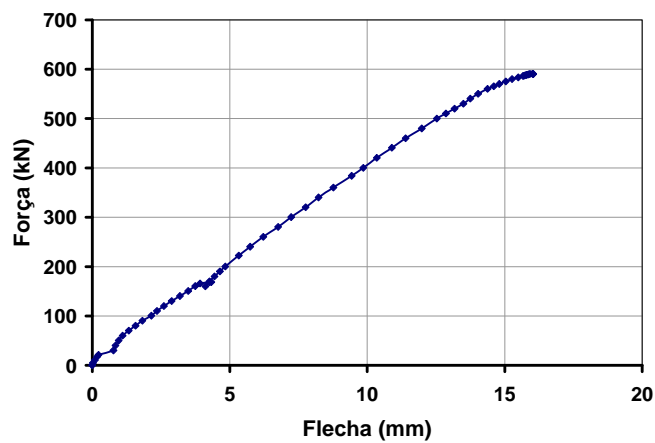


Figura E.38 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 3 da viga VI-3.

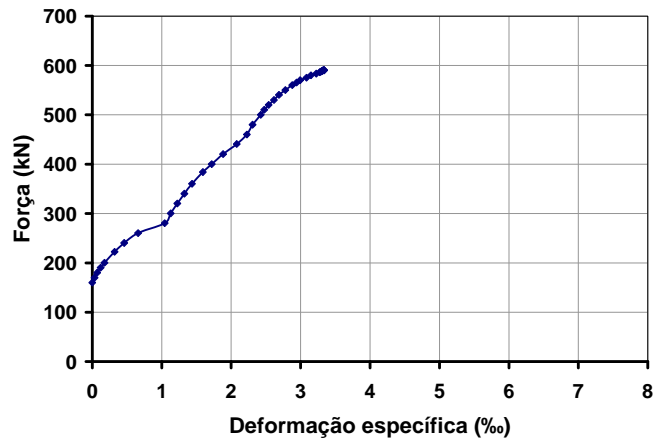


Figura E.39 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG12 colado numa tira de CFC da viga VI-3.

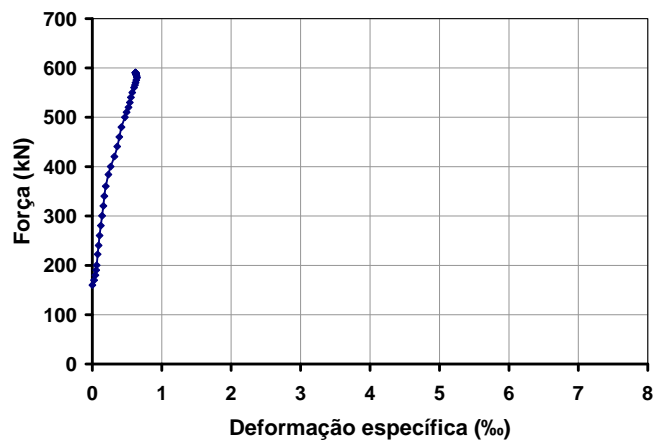


Figura E.40 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG13 colado numa tira de CFC da viga VI-3.

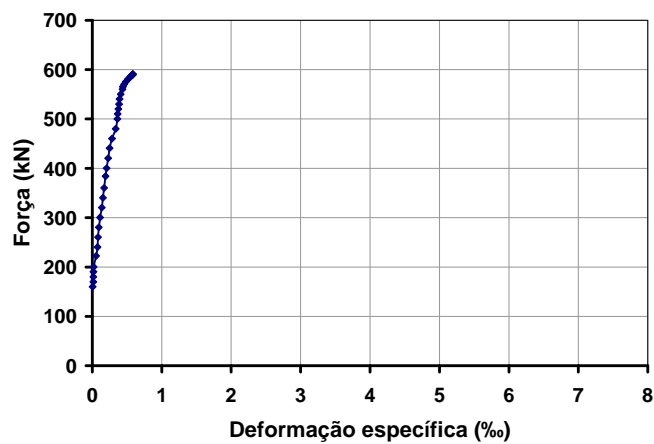


Figura E.41 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG14 colado numa tira de CFC da viga VI-3.

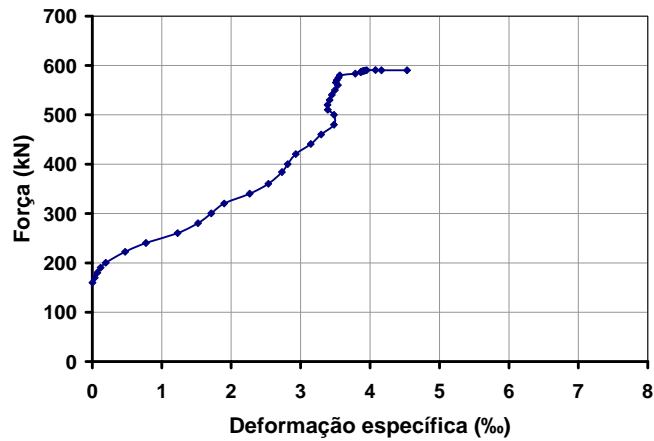


Figura E.42 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG15 colado numa tira de CFC da viga VI-3.

E.5.

Viga de Referência VR2

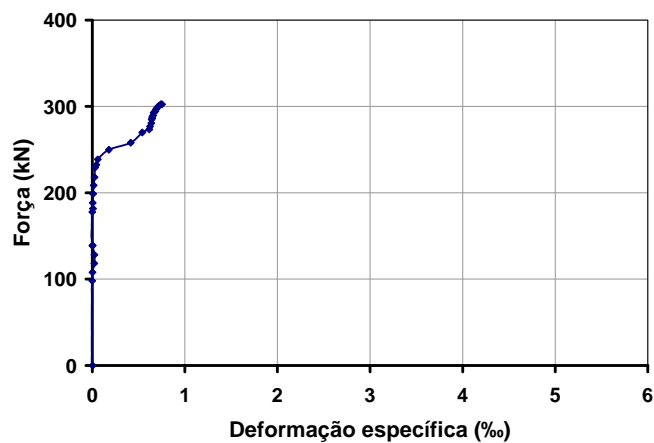


Figura E.43 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG1 colado num estribo da viga VR2.

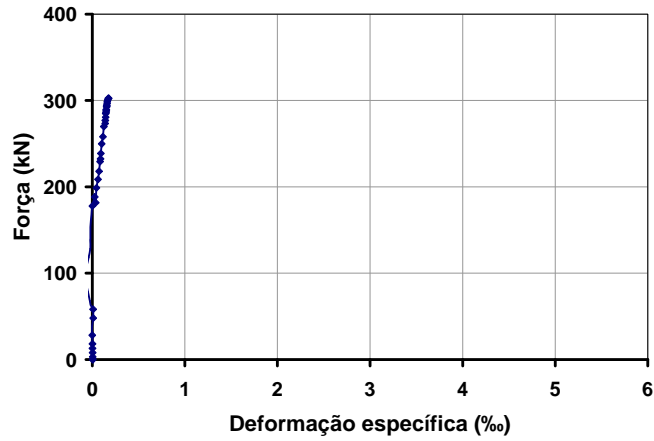


Figura E.44 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG2 colado num estribo da viga VR2.

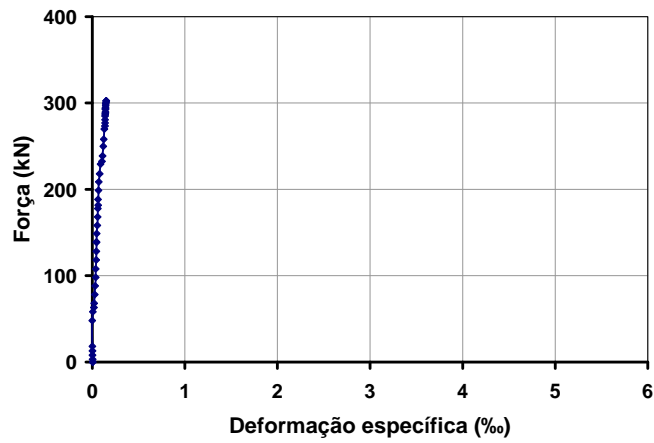


Figura E.45 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG3 colado num estribo da viga VR2.

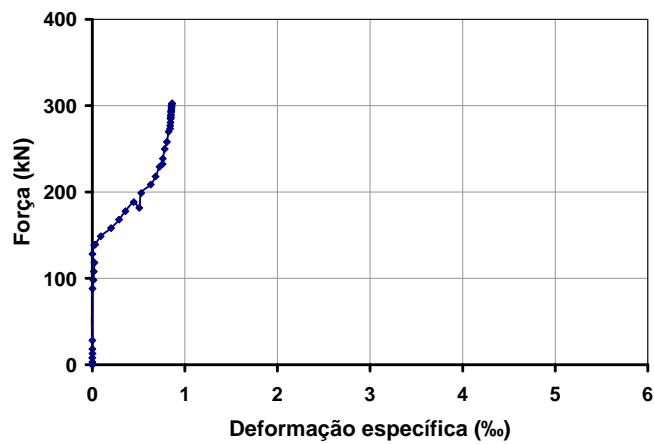


Figura E.46 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG4 colado num estribo da viga VR2.



Figura E.47 – Diagrama força x deformação específica do aço referido ao extensômetro SG5 colado na armadura de flexão da viga VR2.

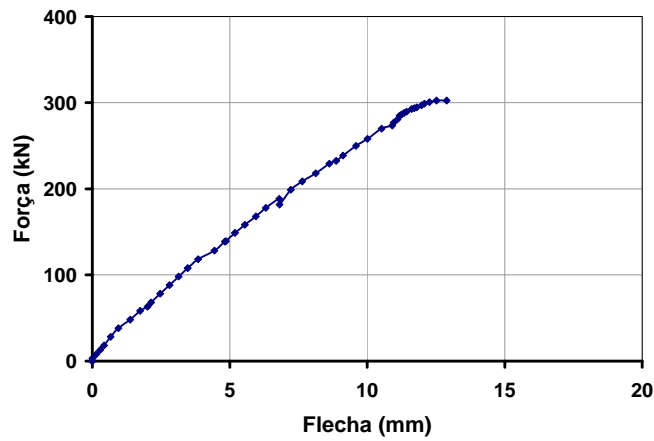


Figura E.48 – Diagrama força x flecha referido ao LVDT 1 da viga VR2.

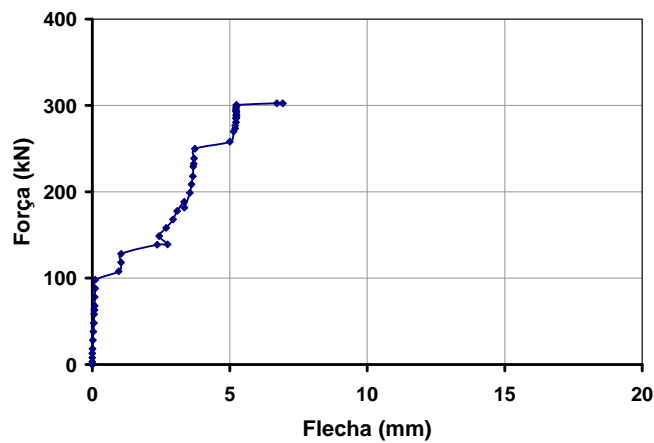


Figura E.49 – Diagrama força x flecha referido ao LVDT 2 da viga VR2.

E.6.

Viga VII-1

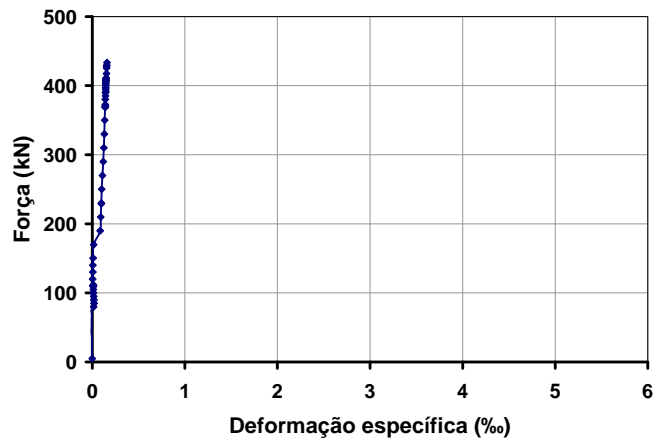


Figura E.50 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG1 colado num estribo da viga VII-1.

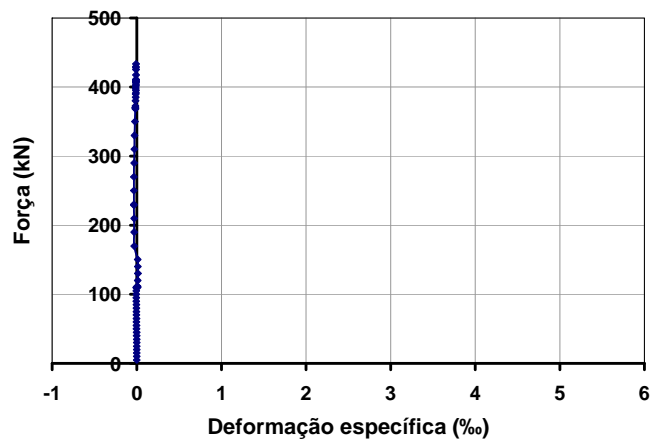


Figura E.51 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG2 colado num estribo da viga VII-1.

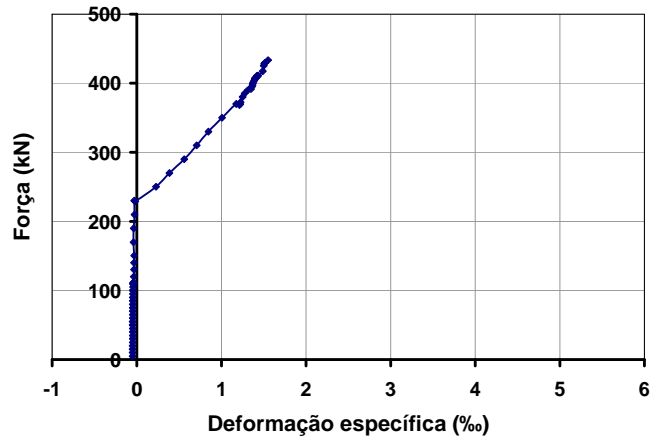


Figura E.52 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG3 colado num estribo da viga VII-1.

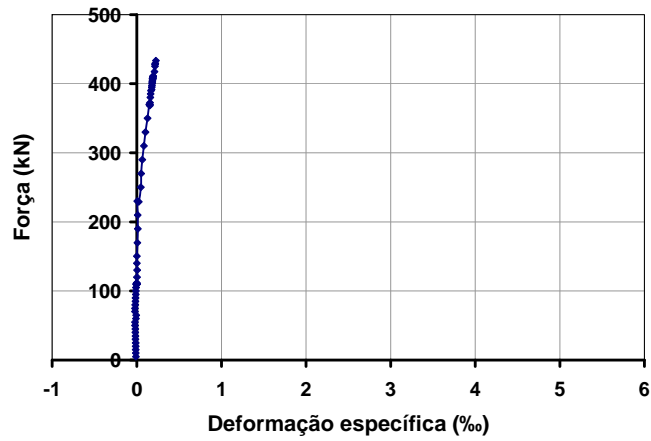


Figura E.53 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG4 colado num estribo da viga VII-1.

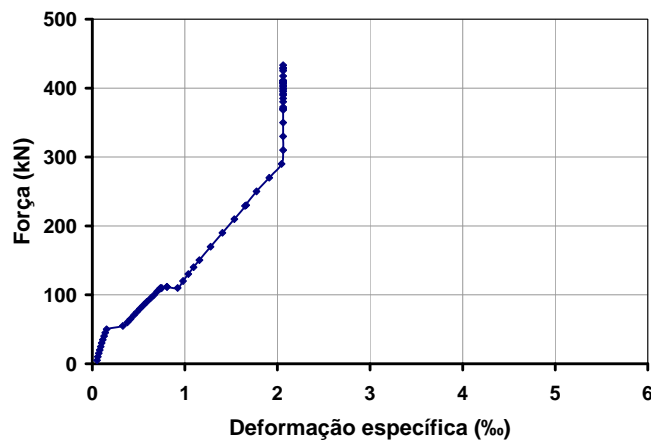


Figura E.54 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG5 colado na armadura de flexão da viga VII-1.

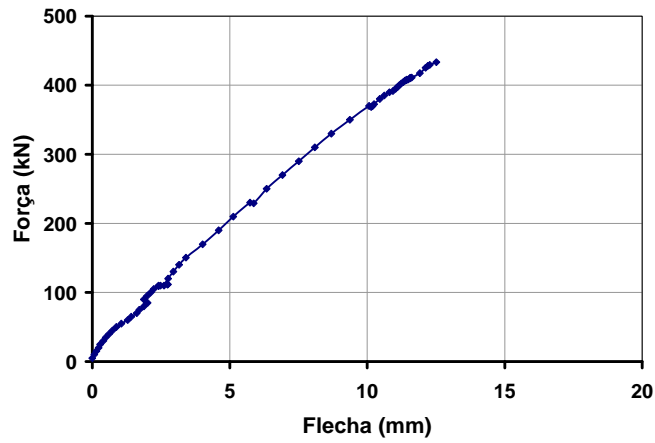


Figura E.55 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 2 da viga VII-1.

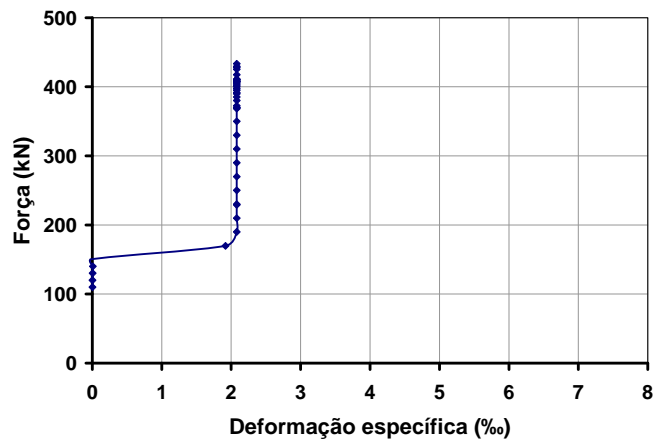


Figura E.56 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG12 colado numa tira de CFC da viga VII-1.

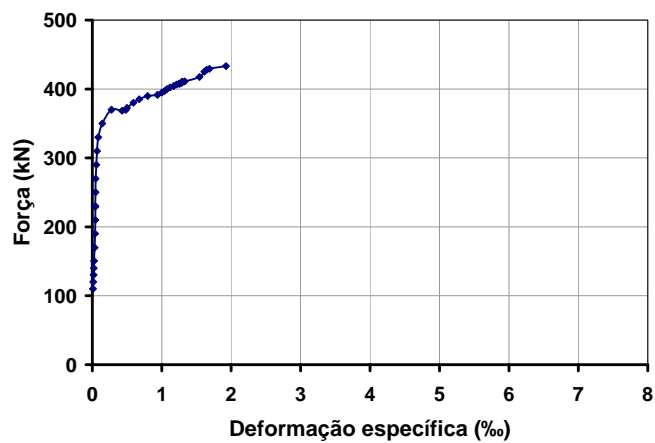


Figura E.57 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG13 colado numa tira de CFC da viga VII-1.

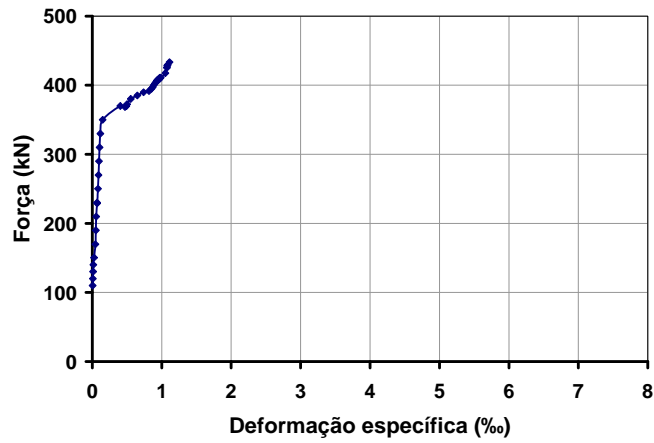


Figura E.58 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG14 colado numa tira de CFC da viga VII-1.

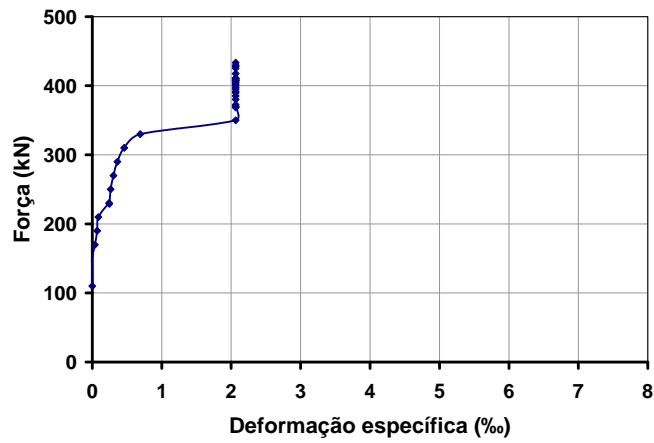


Figura E.59 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG15 colado numa tira de CFC da viga VII-1.

E.7.

Viga VII-2

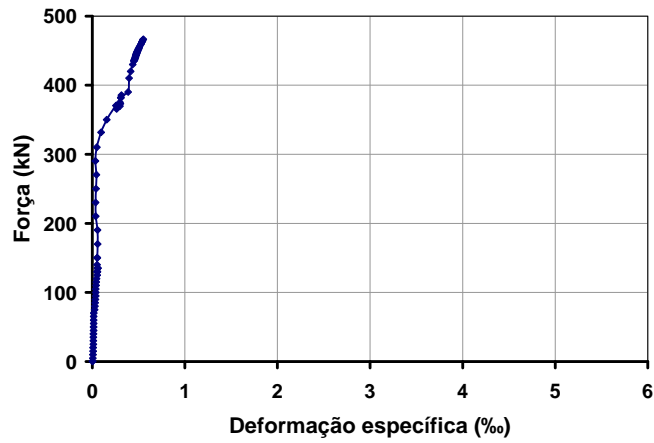


Figura E.60 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG1 colado num estribo da viga VII-2.

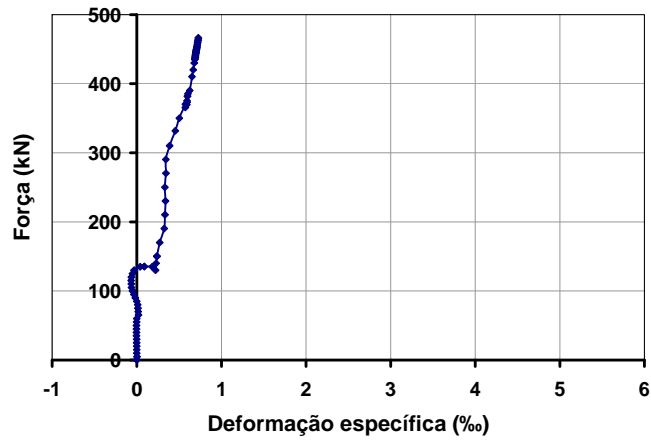


Figura E.61 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG2 colado num estribo da viga VII-2.

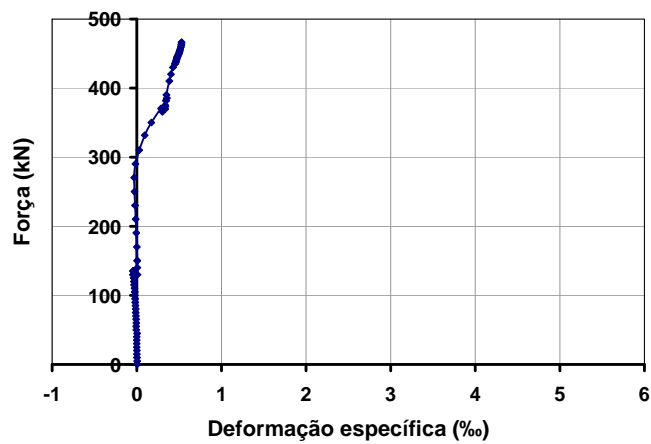


Figura E.62 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG3 colado num estribo da viga VII-2.

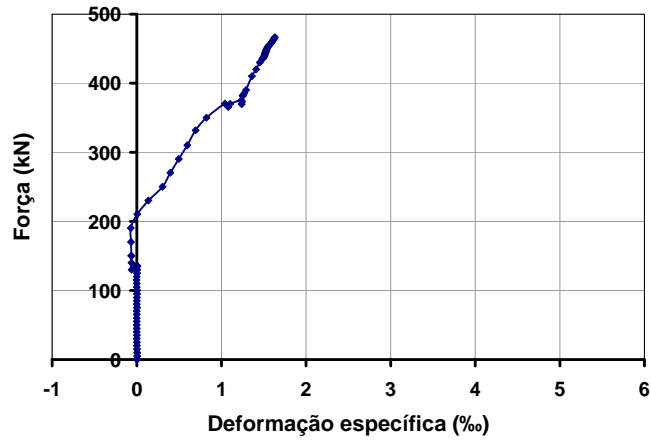


Figura E.63 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG4 colado num estribo da viga VII-2.

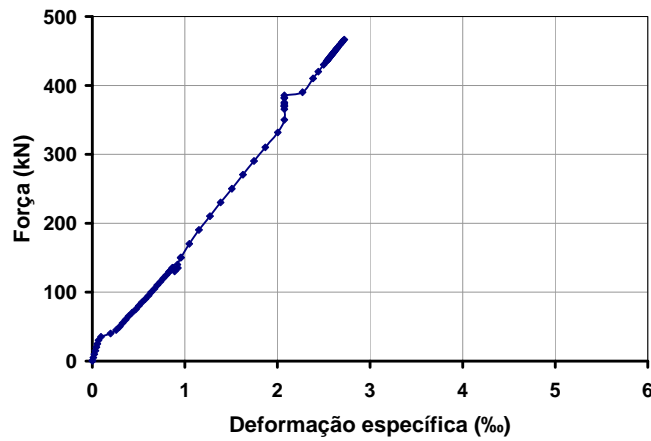


Figura E.64 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG5 colado na armadura de flexão da viga VII-2.

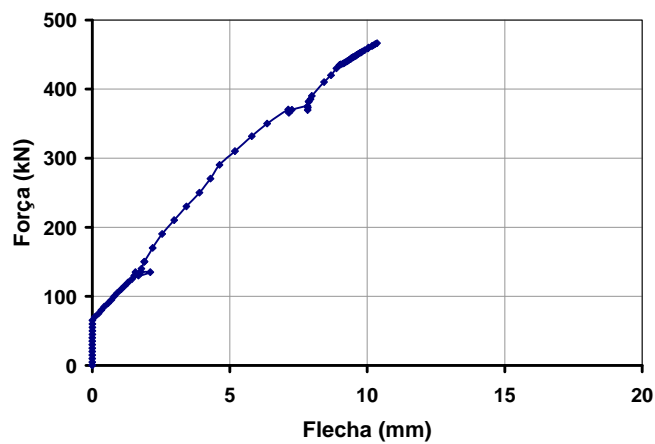


Figura E.65 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 1 da viga VII-2.

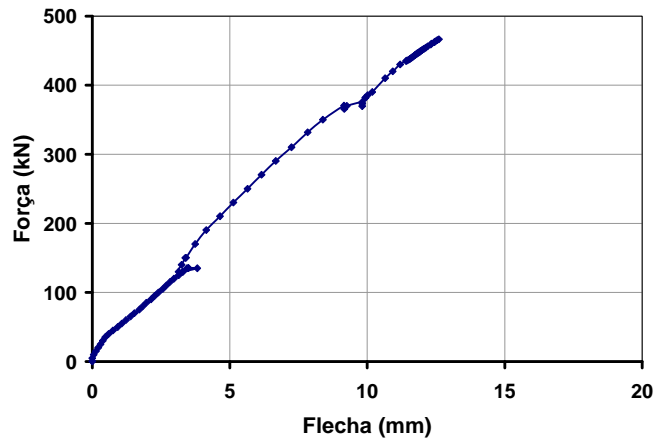


Figura E.66 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 2 da viga VII-2.

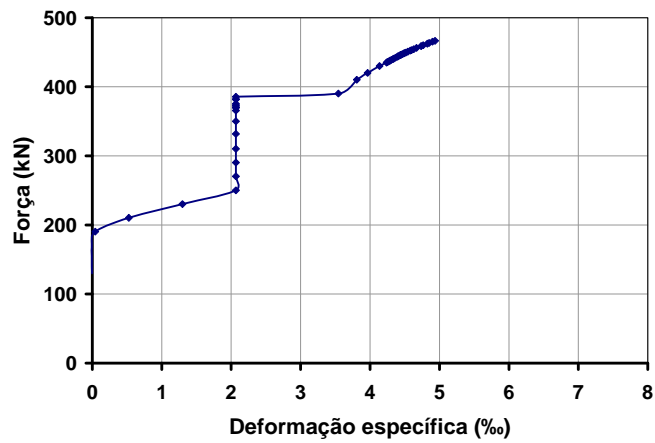


Figura E.67 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG12 colado numa tira de CFC da viga VII-2.

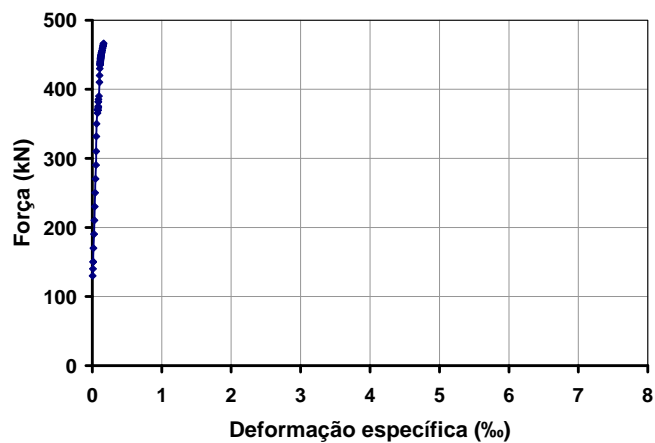


Figura E.68 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG13 colado numa tira de CFC da viga VII-2.

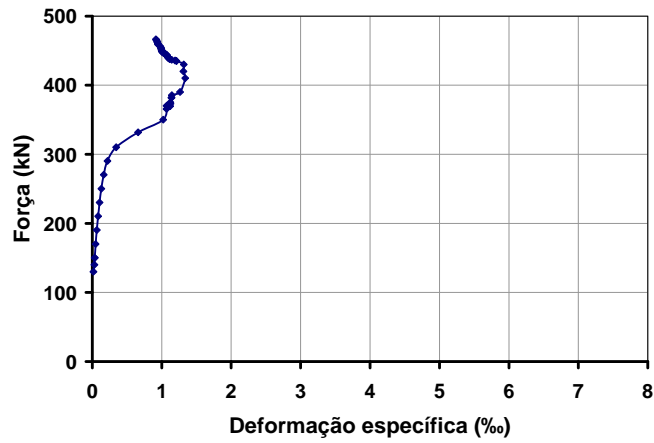


Figura E.69 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG14 colado numa tira de CFC da viga VII-2.

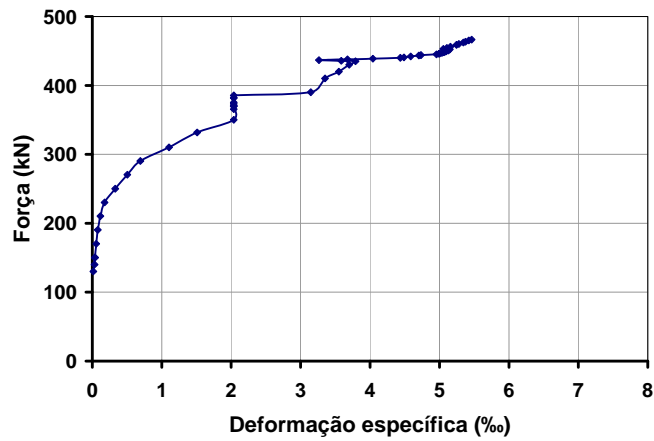


Figura E.70 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG15 colado numa tira de CFC da viga VII-2.

E.8.

Viga VII-3

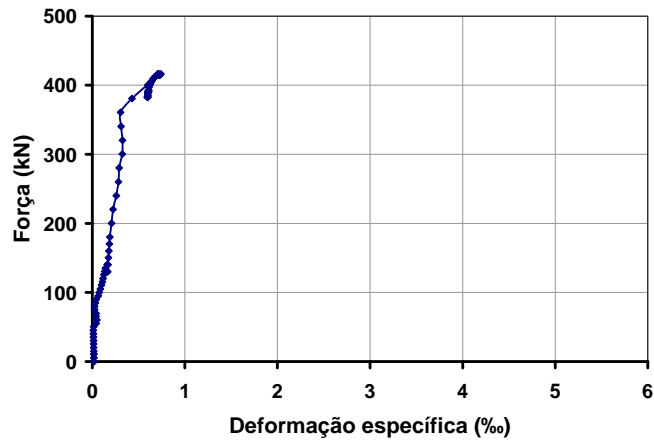


Figura E.71 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG1 colado num estribo da viga VII-3.

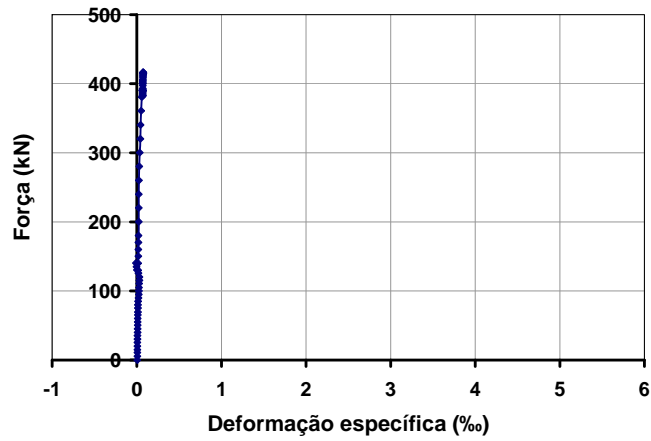


Figura E.72 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG2 colado num estribo da viga VII-3.

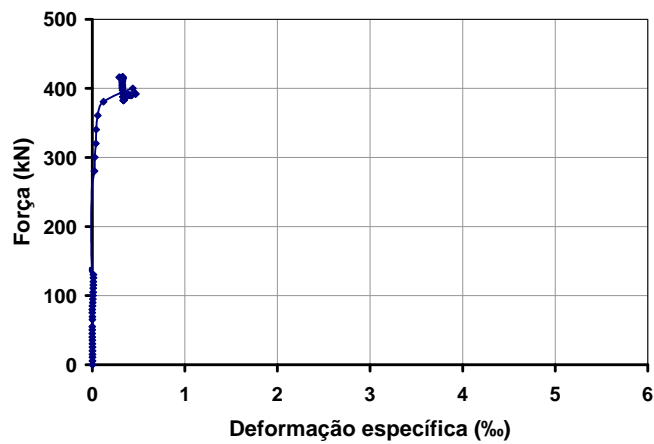


Figura E.73 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG3 colado num estribo da viga VII-3.

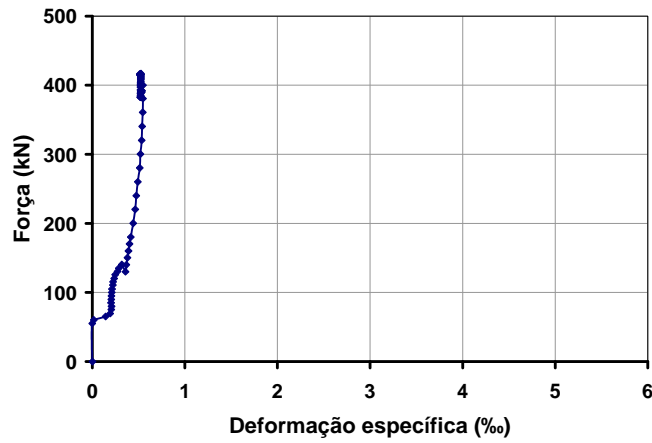


Figura E.74 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG4 colado num estribo da viga VII-3.



Figura E.75 – Diagrama força x deformação específica do aço referente ao extensômetro SG5 colado na armadura de flexão da viga VII-3.

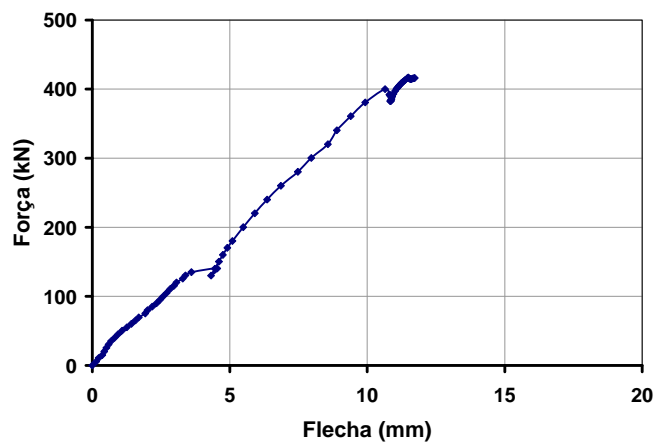


Figura E.76 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 1 da viga VII-3.

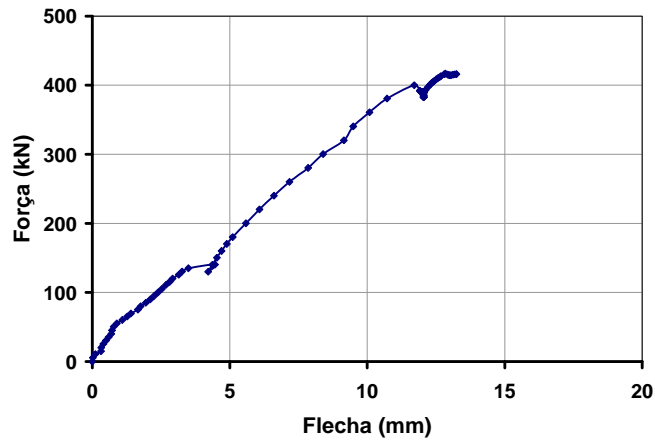


Figura E.77 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 2 da viga VII-3.

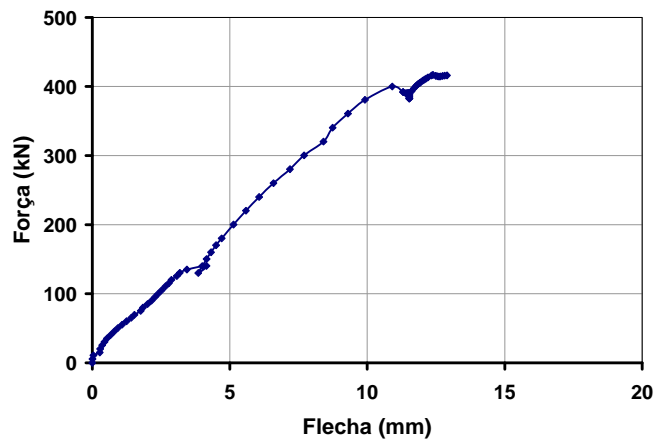


Figura E.78 – Diagrama força x flecha referente ao LVDT 3 da viga VII-3.

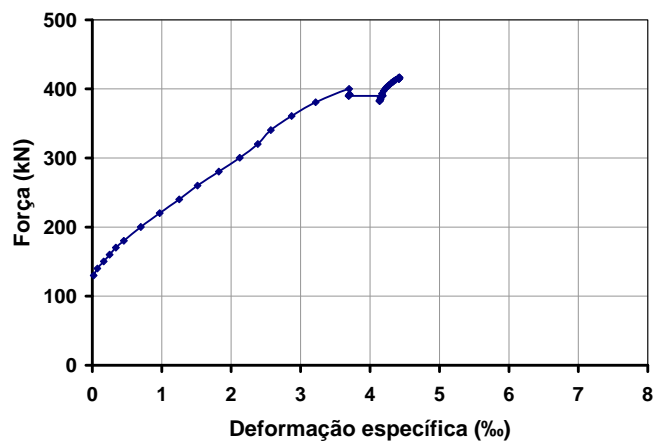


Figura E.79 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG12 colado numa tira de CFC da viga VII-3.

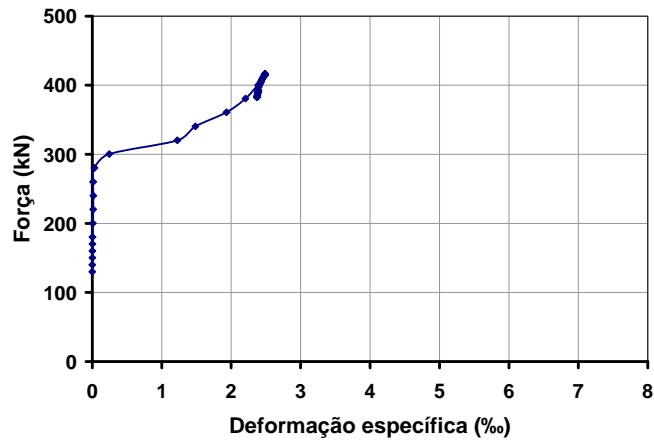


Figura E.80 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG13 colado numa tira de CFC da viga VII-3.

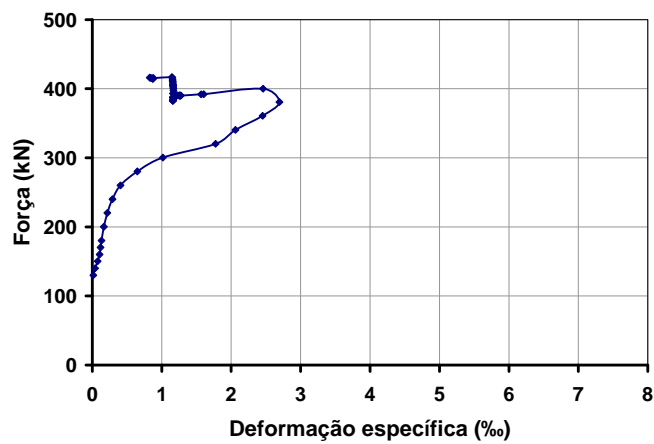


Figura E.81 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG14 colado numa tira de CFC da viga VII-3.

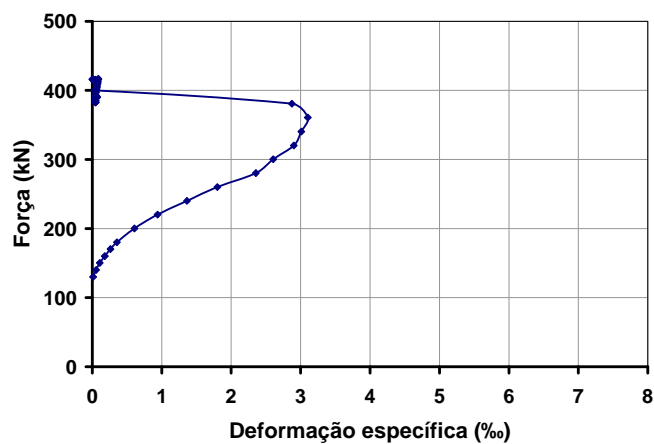


Figura E.82 – Diagrama força x deformação específica do CFC referente ao extensômetro SG15 colado numa tira de CFC da viga VII-3.

Anexo F

Rotinas de Cálculo das Forças Teóricas

F.1.

Viga VR1

Dados de Entrada:

$$b_w = 15 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 40 - 1,5 - 0,5 - 1,0 = 35,4 \text{ cm}$$

$$a = 87,5 \text{ cm}$$

$$A_{sl} = 12,06 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \phi 16,0 \text{ mm}$$

$$\rho_{sl} = \frac{A_{sl}}{b_w d} = 0,02272$$

$$A_{sw} = 0,3927 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{estribo de } \phi 5,0 \text{ mm}$$

$$s = 10,0 \text{ cm}$$

$$f_c = 48,44 \text{ MPa}$$

$$f_y = 595,5 \text{ MPa}$$

Força cortante última teórica segundo a norma ACI-318 (1999):

a) Parcela referente ao concreto V_c :

$$\frac{V_c}{b_w d} = \left(0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{sl} \frac{a}{d} \right) \leq 0,29\sqrt{f_c}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(1) = 0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{sl} \frac{a}{d} = 2,068 \text{ MPa}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(1) = 0,2068 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow V_c(1) = 109,81 \text{ kN}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(2) = 0,29\sqrt{f_c} = 2,018 \text{ MPa} = 0,2018 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_c(2) = 107,18 \text{ kN}$$

$$\text{Adotar } V_c = 107,18 \text{ kN}$$

b) Parcela referente ao aço V_{sw} :

$$V_{sw} = \frac{A_{sw} f_y d}{s} \leq 0,68 \sqrt{f_c} b_w d$$

$$V_{sw} = 82,78 \text{ kN} \leq 251,31 \text{ kN} \rightarrow \text{OK!}$$

$$V_{u,teor} = V_{c,teor} + V_{sw,teor} = 107,18 + 82,78 = 189,96 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo cinemático:

$$v_0 = \frac{0,88}{\sqrt{f_c}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{h}} \right) (1 + 26 \rho_{sl}) = 0,519$$

$$\omega_{sw} = \frac{A_{sw} f_y}{b_w s f_c} = 0,032$$

$$\tau_c = 0,059 v_0 f_c = 1,48 \text{ MPa}$$

$$\frac{\omega_{sw}}{v_0} = 0,062 \leq 0,21$$

$$\tau_u = \tau_c \left(11,64 \sqrt{\frac{\omega_{sw}}{v_0}} - \frac{16,95}{v_0 h} \omega_{sw} s \right) = 3,91 \text{ MPa}$$

$$V_u = \tau_u b_w d = 207,64 \text{ kN}$$

Ângulo teórico θ_{CIN} :

$$x = h \sqrt{\frac{2\tau_c}{\omega_{sw} f_c}} = 55,18 \text{ cm}$$

$$\text{tg } \theta_{CIN} = \frac{h}{x} = 0,725$$

$$\theta_{CIN} = 35,94^\circ$$

F.2.

Viga VI-1

Dados de Entrada:

$$b_w = 15 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 40 - 1,5 - 0,5 - 1,0 = 35,4 \text{ cm}$$

$$a = 87,5 \text{ cm}$$

$$A_{sl} = 12,06 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \phi 16,0 \text{ mm}$$

$$\rho_{sl} = \frac{A_{sl}}{b_w d} = 0,02272$$

$$A_{sw} = 0,3927 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{estribo de } \phi 5,0 \text{ mm}$$

$$s = 10,0 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,0122 \text{ cm}$$

$$w_f = 10,0 \text{ cm}$$

$$A_f = 2t_f w_f = 0,244 \text{ cm}^2$$

$$s_f = 22,5 \text{ cm}$$

$$d_f = d - 8 \text{ cm} = 27,4 \text{ cm}$$

$$\rho_f = \frac{2t_f w_f}{b_w s_f} = 0,00072$$

$$E_f = 255180 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{f,u} = 0,011636 = 11,636 \text{ ‰}$$

$$f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

$$f_c = 51,73 \text{ MPa}$$

$$f_y = 595,5 \text{ MPa}$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ$$

Força cortante última teórica segundo o modelo do ACI-318 (1999) e o ACI-440 (2001):

a) Parcela referente ao concreto V_c :

$$\frac{V_c}{b_w d} = \left(0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{sl} \frac{a}{d} \right) \leq 0,29\sqrt{f_c}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(1) = 0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{st} \frac{a}{d} = 2,105 \text{ MPa}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(1) = 0,2105 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow V_c(1) = 111,77 \text{ kN}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(2) = 0,29\sqrt{f_c} = 2,086 \text{ MPa} = 0,2086 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_c(2) = 110,76 \text{ kN}$$

$$\text{Adotar } V_c = 110,76 \text{ kN}$$

b) Parcela referente ao aço V_{sw} :

$$V_{sw} = \frac{A_{sw} f_y d}{s} \leq 0,68\sqrt{f_c} b_w d$$

$$V_{sw} = 82,78 \text{ kN} \leq 259,70 \text{ kN} \rightarrow \text{OK!}$$

c) Parcela referente ao CFC V_f :

$$L_e = \frac{23300}{(t_f E_f)^{0,58}} = \frac{23300}{(0,122\text{mm} \times 255180\text{MPa})^{0,58}} = 57,72 \text{ mm}$$

$$k_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{f_c}{27}\right)^2} = 1,543$$

$$k_2 = \frac{d_f - L_e}{d_f} = 0,789 \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{f,u}} = 0,508 \leq 0,75$$

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,004 \leq 0,75 \varepsilon_{f,u} \rightarrow \text{envolvimento completo}$$

$$0,75 \varepsilon_{f,u} = 0,008727$$

$$\text{Adotar } \varepsilon_{f,e}(1) = 0,004$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = k_v \varepsilon_{f,u} \leq 0,004 \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$k_v \varepsilon_{f,u} = 0,005911$$

$$\text{Adotar } \varepsilon_{f,e}(2) = 0,004$$

$$\text{Logo: } \varepsilon_{f,e} = 0,004$$

$$V_f = \frac{A_f f_{f,e} (\text{sen } \alpha + \text{cos } \alpha) d_f}{s_f} = \frac{A_f E_f \varepsilon_{f,e} (\text{sen } \alpha + \text{cos } \alpha) d_f}{s_f} = 30,33 \text{ kN}$$

$$V_{u,teor} = V_{c,teor} + V_{sw,teor} + V_{f,teor} = 110,76 + 82,78 + 30,33 = 223,87 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo cinemático:

$$v_0 = \frac{0,88}{\sqrt{f_c}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{h}} \right) (1 + 26\rho_{sl}) = 0,502$$

$$\omega_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w s} \frac{f_y}{f_c} = 0,030$$

$$Adota-se f_{f,e} = 1546,49 \text{ MPa} \rightarrow \text{Chen e Teng (2002)}$$

$$\omega_{fw} = \frac{2t_f w_f \text{sen } \beta}{b_w s_f} \frac{f_{f,e}}{f_c} = 0,022$$

$$\tau_c = 0,059 v_0 f_c = 1,53 \text{ MPa}$$

$$\frac{(\omega_{sw} + \omega_{fw})}{v_0} = 0,103 \leq 0,21$$

$$\tau_u = \tau_c \left[11,64 \sqrt{\frac{(\omega_{sw} + \omega_{fw})}{v_0}} - \frac{16,95}{v_0 h} (\omega_{sw} s + \omega_{fw} s_f) \right] = 4,71 \text{ MPa}$$

$$V_u(1) = V_{c,teor} + V_{sw,teor} + V_{f,teor} = \tau_u b_w d = 250,07 \text{ kN}$$

Ângulo teórico θ_{CIN} :

$$x = h \sqrt{\frac{2\tau_c}{(\omega_{sw} + \omega_{fw}) f_c}} = 42,81 \text{ cm}$$

$$tg \theta_{CIN} = \frac{h}{x} = 0,934$$

$$\theta_{CIN} = 43,06^\circ$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo da FIB-Bulletin 14 (2001):

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,17 \left(\frac{f_c^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0,3} \varepsilon_{f,u} \rightarrow \text{envolvimento completo}$$

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,00723$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = 0,65 \left(\frac{f_c^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0,56} 10^{-3} \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = 0,00731$$

Logo:

$$\varepsilon_{f,e} = k \times 0,00723 = 0,8 \times 0,00723 = 0,00578$$

Para $\theta_{CR} = 39^\circ$:

$$V_f = 0,9 \varepsilon_{f,e} E_f \rho_f b_w d (\cot g \theta_{CR} + \cot g \alpha) \text{sen} \alpha = 62,98 \text{ kN}$$

Para $\theta_\varepsilon = 33,63^\circ$:

$$V_f = 0,9 \varepsilon_{f,e} E_f \rho_f b_w d (\cot g \theta_\varepsilon + \cot g \alpha) \text{sen} \alpha = 76,68 \text{ kN}$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo de Chen e Teng (2002):

$$z_t = d_{ft} = 8 \text{ cm}$$

$$z_b = 0,9d - h + d_{fb} = 0,9 \times 35,4 - 40 + 40 = 31,86 \text{ cm}$$

$$h_{fe} = z_b - z_t = 23,86 \text{ cm}$$

$$s_{fe} = s_f = 22,5 \text{ cm}$$

Ruptura por aderência:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f t_f}{\sqrt{f_c}}} = \sqrt{\frac{255180 \text{ MPa} \times 0,122 \text{ mm}}{\sqrt{51,73 \text{ MPa}}}} = 65,80 \text{ mm} = 6,58 \text{ cm}$$

$$L_{m\acute{a}x} = h_{f,e} = 23,86 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_{m\acute{a}x}}{L_e} = 3,627 \geq 1,0$$

Então $\beta_L = 1,0$

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{w_f}{s_{fe}}}{1 + \frac{w_f}{s_{fe}}}} = 1,038$$

$$D_f = 1 - \frac{\pi - 2}{\pi \lambda} = 0,900 \quad \rightarrow \quad \lambda > 1,0$$

$$\sigma_{f,máx}(1) = 0,427 \beta_w \beta_L \sqrt{\frac{E_f \sqrt{f_c}}{t_f}}$$

$$\sigma_{f,máx}(1) = 0,427 \times 1,038 \times 1,0 \times \sqrt{\frac{255180 MPa \times \sqrt{51,73 MPa}}{0,122 mm}} = 1718,70 MPa$$

$$\sigma_{f,máx}(2) = f_{f,u} = 2969,16 MPa$$

Adota – se $\sigma_{f,máx} = 1718,70 MPa$

$$f_{f,e}(1) = D_f \sigma_{f,máx} = 1546,49 MPa$$

Ruptura do CFC:

$$\zeta = \frac{z_t}{z_b} = 0,251$$

$$D_f = \frac{1 + \zeta}{2} = 0,626$$

Sendo $\frac{f_{f,u}}{E_f} = \varepsilon_{f,u}$

$$\sigma_{f,máx} = f_{f,u} = 2969,16 MPa$$

$$f_{f,e}(2) = D_f \sigma_{f,máx} = 1857,36 MPa$$

Adota – se $f_{f,e} = 1546,49 MPa$

Para $\theta_{CR} = 39^\circ$:

$$V_f = 2 f_{f,e} t_f w_f \frac{h_{fe} (\cot g \theta_{CR} + \cot g \beta) \text{sen} \beta}{s_f} = 49,41 kN$$

Para $\theta_\varepsilon = 33,63^\circ$:

$$V_f = 2 f_{f,e} t_f w_f \frac{h_{fe} (\cot g \theta_\varepsilon + \cot g \beta) \text{sen} \beta}{s_f} = 60,16 kN$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo de Khalifa e Nanni (2002):

Ruptura por aderência:

$$L_e = 75 \text{ mm}$$

$$w_{f,e} = d_f - L_e = 19,90 \text{ cm} \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$t_f E_f = 31,13 \text{ mmGPa} \rightarrow 20 \text{ mmGPa} \leq t_f E_f \leq 90 \text{ mmGPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$R(1) = \frac{\sqrt[3]{f_c^2 w_{f,e}}}{\varepsilon_{f,u} d_f} [738,93 - 4,06(t_f E_f)] 10^{-6} = 0,531$$

Ruptura do CFC:

$$\rho_f E_f = 0,184 \leq 0,7 \rightarrow \text{OK!}$$

$$R(2) = 0,56(\rho_f E_f)^2 - 1,22(\rho_f E_f) + 0,78 = 0,572$$

O limite superior do coeficiente de redução é:

$$R(3) = \frac{0,006}{\varepsilon_{f,u}} = 0,516$$

$$\text{Adota-se } R = 0,516$$

$$f_{f,e} = R f_{f,u} = 1531,02 \text{ MPa}$$

$$V_f = \frac{A_f f_{f,e} (\sin \beta + \cos \beta) d_f}{s_f} = 45,49 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo de Colloti et al. (2004):

$$\psi_i = \frac{A_{sw} f_s}{b_w s f_c} = 0,0302$$

$$v_c = 0,7$$

$$\tau_u = 2,77 + 0,06(f'_c - 20) = 2,77 + 0,06(v_c f'_c - 20) = 3,74$$

$$h_f = 40 - 8 \text{ cm} = 32 \text{ cm}$$

$$\psi_e(1) = \frac{P_b}{b_w f_c} = \frac{w_f h_f \tau_u}{b_w f_c s_f} = 0,0686$$

$$v_f = 1,0$$

$$\psi_e(2) = \frac{P_f}{b_w f_c} = \frac{A_f f_{f,e}}{b_w f_c s_f} = \frac{2t_f w_f v_f f_{f,u}}{b_w f_c s_f} = 0,0415$$

$$\text{Adota-se } \psi_e = 0,0415$$

$$\psi = \psi_i + \psi_e = 0,0302 + 0,0415 = 0,0717$$

a) esmagamento da biela de concreto e/ou do escoamento dos estribos:

$$\alpha = \frac{a}{d_v} = \frac{a}{0,9d} = 2,746$$

$$f_{sl} = 599,65 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{A_{sl} f_{sl}}{b d_v f_c} = 0,293$$

$$\psi_0 = \frac{\sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha}{2\sqrt{1 + \alpha^2}} = 0,0302$$

$$\psi_0 \leq \psi \leq 0,5$$

$$\text{Então } \frac{\tau}{f_c} = \sqrt{\psi(1 - \psi)}$$

$$\tau = 13,34 \text{ MPa}$$

$$V_u(1) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 637,62 \text{ kN}$$

b) modo de ruptura relacionado ao esmagamento da biela de concreto e/ou do escoamento da armadura longitudinal:

$$\psi > \psi_0$$

$$\text{Então } \frac{\tau}{f_c} = \psi \left(\sqrt{\frac{2\eta}{\psi} + \alpha^2} - \alpha \right)$$

$$\tau = 4,51 \text{ MPa}$$

$$V_u(2) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 215,62 \text{ kN}$$

c) modo de ruptura relacionado à resistência das barras longitudinais e/ou ao esmagamento da seção de concreto (ruptura à flexão):

$$M_u = 21570 \text{ kNcm}$$

$$\frac{\tau}{f_c} = \frac{M_u}{abd_v f_c}$$

$$\tau = 5,16 \text{ MPa}$$

$$V_u(3) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 246,51 \text{ kN}$$

$$V_u = 215,62 \text{ kN}$$

F.3.

Viga VI-2

Dados de Entrada:

$$b_w = 15 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 40 - 1,5 - 0,5 - 1,0 = 35,4 \text{ cm}$$

$$a = 87,5 \text{ cm}$$

$$A_{sl} = 12,06 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \phi 16,0 \text{ mm}$$

$$\rho_{sl} = \frac{A_{sl}}{b_w d} = 0,02272$$

$$A_{sw} = 0,3927 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{estribo de } \phi 5,0 \text{ mm}$$

$$s = 10,0 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,0244 \text{ cm}$$

$$w_f = 10,0 \text{ cm}$$

$$A_f = 2t_f w_f = 0,488 \text{ cm}^2$$

$$s_f = 22,5 \text{ cm}$$

$$d_f = d - 8 \text{ cm} = 27,4 \text{ cm}$$

$$\rho_f = \frac{2t_f w_f}{b_w s_f} = 0,00145$$

$$E_f = 255180 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{f,u} = 0,011636 = 11,636 \text{ ‰}$$

$$f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

$$f_c = 51,73 \text{ MPa}$$

$$f_y = 595,5 \text{ MPa}$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ$$

Força cortante última teórica segundo o modelo do ACI-318 (1999) e o ACI-440

(2001):

a) Parcela referente ao concreto V_c :

$$\frac{V_c}{b_w d} = \left(0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{st} \frac{a}{d} \right) \leq 0,29\sqrt{f_c}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(1) = 0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{st} \frac{a}{d} = 2,105 \text{ MPa}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(1) = 0,2105 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow V_c(1) = 111,77 \text{ kN}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(2) = 0,29\sqrt{f_c} = 2,086 \text{ MPa} = 0,2086 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_c(2) = 110,76 \text{ kN}$$

$$\text{Adotar } V_c = 110,76 \text{ kN}$$

b) Parcela referente ao aço V_{sw} :

$$V_{sw} = \frac{A_{sw} f_y d}{s} \leq 0,68\sqrt{f_c} b_w d$$

$$V_{sw} = 82,78 \text{ kN} \leq 259,70 \text{ kN} \rightarrow \text{OK!}$$

c) Parcela referente ao CFC V_f :

$$L_e = \frac{23300}{(t_f E_f)^{0,58}} = \frac{23300}{(0,244\text{mm} \times 255180\text{MPa})^{0,58}} = 38,61 \text{ mm}$$

$$k_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{f_c}{27}\right)^2} = 1,543$$

$$k_2 = \frac{d_f - L_e}{d_f} = 0,859 \rightarrow \text{envolvimento em } U$$

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{f,u}} = 0,370 \leq 0,75$$

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,004 \leq 0,75 \varepsilon_{f,u} \rightarrow \text{envolvimento completo}$$

$$0,75 \varepsilon_{f,u} = 0,008727$$

$$\text{Adotar } \varepsilon_{f,e}(1) = 0,004$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = k_v \varepsilon_{f,u} \leq 0,004 \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$k_v \varepsilon_{f,u} = 0,004305$$

$$\text{Adotar } \varepsilon_{f,e}(2) = 0,004$$

$$\text{Logo: } \varepsilon_{f,e} = 0,004$$

$$V_f = \frac{A_f f_{f,e} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f}{s_f} = \frac{A_f E_f \varepsilon_{f,e} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f}{s_f} = 60,66 \text{ kN}$$

$$V_{u,teor} = V_{c,teor} + V_{sw,teor} + V_{f,teor} = 110,76 + 82,78 + 60,66 = 254,20 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo cinemático:

$$v_0 = \frac{0,88}{\sqrt{f_c}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{h}} \right) (1 + 26 \rho_{sl}) = 0,502$$

$$\omega_{sw} = \frac{A_{sw} f_y}{b_w s f_c} = 0,030$$

$$\text{Adota-se } f_{f,e} = 1043,09 \text{ MPa} \rightarrow \text{Chen e Teng (2002)}$$

$$\omega_{fw} = \frac{2 t_f w_f \sin \beta f_{f,e}}{b_w s_f f_c} = 0,029$$

$$\tau_c = 0,059 v_0 f_c = 1,53 \text{ MPa}$$

$$\frac{(\omega_{sw} + \omega_{fw})}{v_0} = 0,118 \leq 0,21$$

$$\tau_u = \tau_c \left[11,64 \sqrt{\frac{(\omega_{sw} + \omega_{fw})}{v_0}} - \frac{16,95}{v_0 h} (\omega_{sw} s + \omega_{fw} s_f) \right] = 4,89 \text{ MPa}$$

$$V_u(1) = V_{c,teor} + V_{sw,teor} + V_{f,teor} = \tau_u b_w d = 259,83 \text{ kN}$$

Ângulo teórico θ_{CIN} :

$$x = h \sqrt{\frac{2\tau_c}{(\omega_{sw} + \omega_{fw})f_c}} = 39,99 \text{ cm}$$

$$\text{tg } \theta_{CIN} = \frac{h}{x} = 1,000$$

$$\theta_{CIN} = 45,00^\circ$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo da FIB-Bulletin 14 (2001):

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,17 \left(\frac{f_c^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0,3} \varepsilon_{f,u} \rightarrow \text{envolvimento completo}$$

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,00587$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = 0,65 \left(\frac{f_c^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0,56} 10^{-3} \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = 0,00496$$

Logo:

$$\varepsilon_{f,e} = k \times 0,00496 = 0,8 \times 0,00496 = 0,00397$$

Para $\theta_{CR} = 41^\circ$:

$$V_f = 0,9 \varepsilon_{f,e} E_f \rho_f b_w d (\cot g \theta_{CR} + \cot g \alpha) \text{sen } \alpha = 80,44 \text{ kN}$$

Para $\theta_\varepsilon = 40,04^\circ$:

$$V_f = 0,9 \varepsilon_{f,e} E_f \rho_f b_w d (\cot g \theta_\varepsilon + \cot g \alpha) \text{sen } \alpha = 83,21 \text{ kN}$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo de Chen e Teng (2002):

$$z_t = d_{ft} = 8 \text{ cm}$$

$$z_b = 0,9d - h + d_{fb} = 0,9 \times 35,4 - 40 + 40 = 31,86 \text{ cm}$$

$$h_{fe} = z_b - z_t = 23,86 \text{ cm}$$

$$s_{fe} = s_f = 22,5 \text{ cm}$$

Ruptura por aderência:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f t_f}{\sqrt{f_c}}} = \sqrt{\frac{255180 \text{MPa} \times 0,244 \text{mm}}{\sqrt{51,73 \text{MPa}}}} = 93,00 \text{ mm} = 9,30 \text{ cm}$$

$$L_{m\acute{a}x} = h_{f,e} = 23,86 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_{m\acute{a}x}}{L_e} = 2,564 \geq 1,0$$

Ent\~{a}o $\beta_L = 1,0$

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{w_f}{s_{fe}}}{1 + \frac{w_f}{s_{fe}}}} = 1,038$$

$$D_f = 1 - \frac{\pi - 2}{\pi \lambda} = 0,858 \quad \rightarrow \quad \lambda > 1,0$$

$$\sigma_{f,m\acute{a}x}(1) = 0,427 \beta_w \beta_L \sqrt{\frac{E_f \sqrt{f_c}}{t_f}}$$

$$\sigma_{f,m\acute{a}x}(1) = 0,427 \times 1,038 \times 1,0 \times \sqrt{\frac{255180 \text{MPa} \times \sqrt{51,73 \text{MPa}}}{0,244 \text{mm}}} = 1215,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{f,m\acute{a}x}(2) = f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

Adota-se $\sigma_{f,m\acute{a}x} = 1215,30 \text{ MPa}$

$$f_{f,e}(1) = D_f \sigma_{f,m\acute{a}x} = 1043,09 \text{ MPa}$$

Ruptura do CFC:

$$\zeta = \frac{z_t}{z_b} = 0,251$$

$$D_f = \frac{1 + \zeta}{2} = 0,626$$

Sendo $\frac{f_{f,u}}{E_f} = \varepsilon_{f,u}$

$$\sigma_{f,m\acute{a}x} = f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

$$f_{f,e}(2) = D_f \sigma_{f,m\acute{a}x} = 1857,36 \text{ MPa}$$

Adota-se $f_{f,e} = 1043,09 \text{ MPa}$

Para $\theta_{CR} = 41^\circ$:

$$V_f = 2f_{f,e}t_f w_f \frac{h_{fe}(\cot g\theta_{CR} + \cot g\beta)\text{sen}\beta}{s_f} = 62,10 \text{ kN}$$

Para $\theta_\varepsilon = 40,04^\circ$:

$$V_f = 2f_{f,e}t_f w_f \frac{h_{fe}(\cot g\theta_\varepsilon + \cot g\beta)\text{sen}\beta}{s_f} = 64,24 \text{ kN}$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo de Khalifa e Nanni (2002):

Ruptura por aderência:

$$L_e = 75 \text{ mm}$$

$$w_{f,e} = d_f - L_e = 19,90 \text{ cm} \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$t_f E_f = 62,26 \text{ mmGPa} \rightarrow 20 \text{ mmGPa} \leq t_f E_f \leq 90 \text{ mmGPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$R(1) = \frac{\sqrt[3]{f_c^2 w_{f,e}}}{\varepsilon_{f,u} d_f} [738,93 - 4,06(t_f E_f)] 10^{-6} = 0,421$$

Ruptura do CFC:

$$\rho_f E_f = 0,369 \leq 0,7 \rightarrow \text{OK!}$$

$$R(2) = 0,56(\rho_f E_f)^2 - 1,22(\rho_f E_f) + 0,78 = 0,404$$

O limite superior do coeficiente de redução é:

$$R(3) = \frac{0,006}{\varepsilon_{f,u}} = 0,516$$

Adota-se $R = 0,404$

$$f_{f,e} = Rf_{f,u} = 1199,82 \text{ MPa}$$

$$V_f = \frac{A_f f_{f,e} (\operatorname{sen} \beta + \cos \beta) d_f}{s_f} = 71,30 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo de Colloti *et al.* (2004):

$$\psi_i = \frac{A_{sw} f_s}{b_w s f_c} = 0,0302$$

$$v_c = 0,7$$

$$\tau_u = 2,77 + 0,06(f'_c - 20) = 2,77 + 0,06(v_c f_c - 20) = 3,74$$

$$h_f = 40 - 8 \text{ cm} = 32 \text{ cm}$$

$$\psi_e(1) = \frac{p_b}{b_w f_c} = \frac{w_f h_f \tau_u}{b_w f_c s_f} = 0,0686$$

$$v_f = 1,0$$

$$\psi_e(2) = \frac{p_f}{b_w f_c} = \frac{A_f f_{f,e}}{b_w f_c s_f} = \frac{2 t_f w_f v_f f_{f,u}}{b_w f_c s_f} = 0,0830$$

$$\text{Adota-se } \psi_e = 0,0686$$

$$\psi = \psi_i + \psi_e = 0,0302 + 0,0686 = 0,0988$$

a) esmagamento da biela de concreto e/ou do escoamento dos estribos:

$$\alpha = \frac{a}{d_v} = \frac{a}{0,9d} = 2,746$$

$$f_{sl} = 599,65 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{A_{sl} f_{sl}}{b d_v f_c} = 0,293$$

$$\psi_0 = \frac{\sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha}{2\sqrt{1 + \alpha^2}} = 0,0302$$

$$\psi_0 \leq \psi \leq 0,5$$

$$\text{Então } \frac{\tau}{f_c} = \sqrt{\psi - (1 - \psi)}$$

$$\tau = 15,43 \text{ MPa}$$

$$V_u(1) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 737,54 \text{ kN}$$

b) modo de ruptura relacionado ao esmagamento da biela de concreto e/ou do escoamento da armadura longitudinal:

$$\psi > \psi_0$$

$$\text{Então } \frac{\tau}{f_c} = \psi \left(\sqrt{\frac{2\eta}{\psi} + \alpha^2} - \alpha \right)$$

$$\tau = 4,72 \text{ MPa}$$

$$V_u(2) = \tau b_w d_v = \tau b_w 0,9d = 225,49 \text{ kN}$$

c) modo de ruptura relacionado à resistência das barras longitudinais e/ou ao esmagamento da seção de concreto (ruptura à flexão):

$$M_u = 21570 \text{ kNcm}$$

$$\frac{\tau}{f_c} = \frac{M_u}{abd_v f_c}$$

$$\tau = 5,16 \text{ MPa}$$

$$V_u(3) = \tau b_w d_v = \tau b_w 0,9d = 246,51 \text{ kN}$$

$$V_u = 225,49 \text{ kN}$$

F.4.

Viga VI-3

Dados de Entrada:

$$b_w = 15 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 40 - 1,5 - 0,5 - 1,0 = 35,4 \text{ cm}$$

$$a = 87,5 \text{ cm}$$

$$A_{sl} = 12,06 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \phi 16,0 \text{ mm}$$

$$\rho_{sl} = \frac{A_{sl}}{b_w d} = 0,02272$$

$$A_{sw} = 0,3927 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{estribo de } \phi 5,0 \text{ mm}$$

$$s = 10,0 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,0366 \text{ cm}$$

$$w_f = 10,0 \text{ cm}$$

$$A_f = 2t_f w_f = 0,732 \text{ cm}^2$$

$$s_f = 22,5 \text{ cm}$$

$$d_f = d - 8 \text{ cm} = 27,4 \text{ cm}$$

$$\rho_f = \frac{2t_f w_f}{b_w s_f} = 0,00217$$

$$E_f = 255180 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{f,u} = 0,011636 = 11,636 \text{ ‰}$$

$$f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

$$f_c = 52,30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 595,5 \text{ MPa}$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ$$

Força cortante última teórica segundo o modelo do ACI-318 (1999) e o ACI-440 (2001):

a) Parcela referente ao concreto V_c :

$$\frac{V_c}{b_w d} = \left(0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{se} \frac{a}{d} \right) \leq 0,29\sqrt{f_c}$$

$$\frac{V_c}{b_w d} (1) = 0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{se} \frac{a}{d} = 2,112 \text{ MPa}$$

$$\frac{V_c}{b_w d} (1) = 0,2112 \text{ kN/cm}^2 \quad \rightarrow \quad V_c(1) = 112,15 \text{ kN}$$

$$\frac{V_c}{b_w d} (2) = 0,29\sqrt{f_c} = 2,097 \text{ MPa} = 0,2097 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_c(2) = 111,36 \text{ kN}$$

$$\text{Adotar } V_c = 111,36 \text{ kN}$$

b) Parcela referente ao aço V_{sw} :

$$V_{sw} = \frac{A_{sw} f_y d}{s} \leq 0,68 \sqrt{f_c} b_w d$$

$$V_{sw} = 82,78 \text{ kN} \leq 259,70 \text{ kN} \rightarrow \text{OK!}$$

c) Parcela referente ao CFC V_f :

$$L_e = \frac{23300}{(t_f E_f)^{0,58}} = \frac{23300}{(0,366 \text{ mm} \times 255180 \text{ MPa})^{0,58}} = 30,52 \text{ mm}$$

$$k_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{f_c}{27}\right)^2} = 1,554$$

$$k_2 = \frac{d_f - L_e}{d_f} = 0,889 \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{f,u}} = 0,304 \leq 0,75$$

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,004 \leq 0,75 \varepsilon_{f,u} \rightarrow \text{envolvimento completo}$$

$$0,75 \varepsilon_{f,u} = 0,008727$$

$$\text{Adotar } \varepsilon_{f,e}(1) = 0,004$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = k_v \varepsilon_{f,u} \leq 0,004 \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$k_v \varepsilon_{f,u} = 0,00354$$

$$\text{Adotar } \varepsilon_{f,e}(2) = 0,00354$$

$$\text{Logo: } \varepsilon_{f,e} = 0,00354$$

$$V_f = \frac{A_f f_{f,e} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f}{s_f} = \frac{A_f E_f \varepsilon_{f,e} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f}{s_f} = 80,55 \text{ kN}$$

$$V_{u,teor} = V_{c,teor} + V_{sw,teor} + V_{f,teor} = 111,36 + 82,78 + 80,55 = 274,70 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo cinemático:

$$v_0 = \frac{0,88}{\sqrt{f_c}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{h}}\right) (1 + 26 \rho_{sl}) = 0,500$$

$$\omega_{sw} = \frac{A_{sw} f_y}{b_w s f_c} = 0,030$$

$$\text{Adota-se } f_{f,e} = 822,80 \text{ MPa} \rightarrow \text{Chen e Teng (2002)}$$

$$\omega_{fw} = \frac{2t_f w_f \text{sen } \beta}{b_w s_f} \frac{f_{f,e}}{f_c} = 0,034$$

$$\tau_c = 0,059 v_0 f_c = 1,54 \text{ MPa}$$

$$\frac{(\omega_{sw} + \omega_{fw})}{v_0} = 0,128 \leq 0,21$$

$$\tau_u = \tau_c \left[11,64 \sqrt{\frac{(\omega_{sw} + \omega_{fw})}{v_0}} - \frac{16,95}{v_0 h} (\omega_{sw} s + \omega_{fw} s_f) \right] = 5,03 \text{ MPa}$$

$$V_u(1) = V_{c,teor} + V_{sw,teor} + V_{f,teor} = \tau_u b_w d = 266,85 \text{ kN}$$

Ângulo teórico θ_{CIN} :

$$x = h \sqrt{\frac{2\tau_c}{(\omega_{sw} + \omega_{fw}) f_c}} = 38,41 \text{ cm}$$

$$\text{tg } \theta_{CIN} = \frac{h}{x} = 1,041$$

$$\theta_{CIN} = 46,16^\circ$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo da FIB-Bulletin 14

(2001):

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,17 \left(\frac{f_c^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0,3} \varepsilon_{f,u} \rightarrow \text{envolvimento completo}$$

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,00521$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = 0,65 \left(\frac{f_c^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0,56} 10^{-3} \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = 0,00397$$

Logo:

$$\varepsilon_{f,e} = k \times 0,00397 = 0,8 \times 0,00397 = 0,00317$$

Para $\theta_{CR} = 42^\circ$:

$$V_f = 0,9 \varepsilon_{f,e} E_f \rho_f b_w d (\cot g \theta_{CR} + \cot g \alpha) \text{sen } \alpha = 93,20 \text{ kN}$$

Para $\theta_\varepsilon = 41,38^\circ$:

$$V_f = 0,9\varepsilon_{f,e} E_f \rho_f b_w d (\cot g \theta_\varepsilon + \cot g \alpha) \text{sen} \alpha = 95,26 \text{ kN}$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo de Chen e Teng (2002):

$$z_t = d_{ft} = 8 \text{ cm}$$

$$z_b = 0,9d - h + d_{fb} = 0,9 \times 35,4 - 40 + 40 = 31,86 \text{ cm}$$

$$h_{fe} = z_b - z_t = 23,86 \text{ cm}$$

$$s_{fe} = s_f = 22,5 \text{ cm}$$

Ruptura por aderência:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f t_f}{\sqrt{f_c}}} = \sqrt{\frac{255180 \text{ MPa} \times 0,366 \text{ mm}}{\sqrt{52,30 \text{ MPa}}}} = 113,60 \text{ mm} = 11,36 \text{ cm}$$

$$L_{\text{máx}} = h_{f,e} = 23,86 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_{\text{máx}}}{L_e} = 2,10 \geq 1,0$$

Então $\beta_L = 1,0$

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{w_f}{s_{fe}}}{1 + \frac{w_f}{s_{fe}}}} = 1,038$$

$$D_f = 1 - \frac{\pi - 2}{\pi \lambda} = 0,827 \quad \rightarrow \quad \lambda > 1,0$$

$$\sigma_{f,\text{máx}}(1) = 0,427 \beta_w \beta_L \sqrt{\frac{E_f \sqrt{f_c}}{t_f}}$$

$$\sigma_{f,\text{máx}}(1) = 0,427 \times 1,038 \times 1,0 \times \sqrt{\frac{255180 \text{ MPa} \times \sqrt{52,30 \text{ MPa}}}{0,366 \text{ mm}}} = 995,01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{f,\text{máx}}(2) = f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

Adota-se $\sigma_{f,\text{máx}} = 995,01 \text{ MPa}$

$$f_{f,e}(1) = D_f \sigma_{f,\text{máx}} = 822,80 \text{ MPa}$$

Ruptura do CFC:

$$\zeta = \frac{z_t}{z_b} = 0,251$$

$$D_f = \frac{1 + \zeta}{2} = 0,626$$

Sendo $\frac{f_{f,u}}{E_f} = \varepsilon_{f,u}$

$$\sigma_{f,máx} = f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

$$f_{f,e}(2) = D_f \sigma_{f,máx} = 1857,36 \text{ MPa}$$

Adota-se $f_{f,e} = 822,80 \text{ MPa}$

Para $\theta_{CR} = 42^\circ$:

$$V_f = 2 f_{f,e} t_f w_f \frac{h_{fe} (\cot g \theta_{CR} + \cot g \beta) \text{sen} \beta}{s_f} = 70,93 \text{ kN}$$

Para $\theta_\varepsilon = 41,38^\circ$:

$$V_f = 2 f_{f,e} t_f w_f \frac{h_{fe} (\cot g \theta_\varepsilon + \cot g \beta) \text{sen} \beta}{s_f} = 72,50 \text{ kN}$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo de Khalifa e Nanni (2002):

Ruptura por aderência:

$$L_e = 75 \text{ mm}$$

$$w_{f,e} = d_f - L_e = 19,90 \text{ cm} \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$t_f E_f \cong 90 \text{ mmGPa} \rightarrow 20 \text{ mmGPa} \leq t_f E_f \leq 90 \text{ mmGPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$R(1) = \frac{\sqrt[3]{f_c^2 w_{f,e}}}{\varepsilon_{f,u} d_f} [738,93 - 4,06(t_f E_f)] 10^{-6} = 0,314$$

Ruptura do CFC:

$$\rho_f E_f = 0,553 \leq 0,7 \rightarrow OK!$$

$$R(2) = 0,56(\rho_f E_f)^2 - 1,22(\rho_f E_f) + 0,78 = 0,274$$

O limite superior do coeficiente de redução é:

$$R(3) = \frac{0,006}{\varepsilon_{f,u}} = 0,516$$

Adota-se $R = 0,274$

$$f_{f,e} = R f_{f,u} = 814,50 \text{ MPa}$$

$$V_f = \frac{A_f f_{f,e} (\sin \beta + \cos \beta) d_f}{s_f} = 72,61 \text{ kN}$$

Força cortante teórica última segundo o modelo de Colloti *et al.* (2004):

$$\psi_i = \frac{A_{sw} f_s}{b_w s f_c} = 0,0298$$

$$v_c = 0,7$$

$$\tau_u = 2,77 + 0,06(f'_c - 20) = 2,77 + 0,06(v_c f_c - 20) = 3,77$$

$$h_f = 40 - 8 \text{ cm} = 32 \text{ cm}$$

$$\psi_e(1) = \frac{p_b}{b_w f_c} = \frac{w_f h_f \tau_u}{b_w f_c s_f} = 0,0683$$

$$v_f = 1,0$$

$$\psi_e(2) = \frac{p_f}{b_w f_c} = \frac{A_f f_{f,e}}{b_w f_c s_f} = \frac{2 t_f w_f v_f f_{f,u}}{b_w f_c s_f} = 0,1231$$

Adota-se $\psi_e = 0,0683$

$$\psi = \psi_i + \psi_e = 0,0298 + 0,0683 = 0,0981$$

a) esmagamento da biela de concreto e/ou do escoamento dos estribos:

$$\alpha = \frac{a}{d_v} = \frac{a}{0,9d} = 2,746$$

$$f_{sl} = 599,65 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{A_{sl} f_{sl}}{b d_v f_c} = 0,289$$

$$\psi_0 = \frac{\sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha}{2\sqrt{1 + \alpha^2}} = 0,0302$$

$$\psi_0 \leq \psi \leq 0,5$$

$$\text{Então } \frac{\tau}{f_c} = \sqrt{\psi - (1 - \psi)}$$

$$\tau = 15,56 \text{ MPa}$$

$$V_u(1) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 743,51 \text{ kN}$$

b) modo de ruptura relacionado ao esmagamento da biela de concreto e/ou do escoamento da armadura longitudinal:

$$\psi > \psi_0$$

$$\text{Então } \frac{\tau}{f_c} = \psi \left(\sqrt{\frac{2\eta}{\psi} + \alpha^2} - \alpha \right)$$

$$\tau = 4,72 \text{ MPa}$$

$$V_u(2) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 225,62 \text{ kN}$$

c) modo de ruptura relacionado à resistência das barras longitudinais e/ou ao esmagamento da seção de concreto (ruptura à flexão):

$$M_u = 21613 \text{ kNcm}$$

$$\frac{\tau}{f_c} = \frac{M_u}{a b d_v f_c}$$

$$\tau = 5,17 \text{ MPa}$$

$$V_u(3) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 247,01 \text{ kN}$$

$$V_u = 225,49 \text{ kN}$$

F.5.

Viga VR2

Dados de Entrada:

$$b_w = 15 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 40 - 1,5 - 0,5 - 1,0 = 35,4 \text{ cm}$$

$$a = 87,5 \text{ cm}$$

$$A_{sl} = 12,06 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \phi 16,0 \text{ mm}$$

$$\rho_{sl} = \frac{A_{sl}}{b_w d} = 0,02272$$

$$A_{sw} = 0,3927 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{estribo de } \phi 5,0 \text{ mm}$$

$$s = 20,0 \text{ cm}$$

$$f_c = 50,94 \text{ MPa}$$

$$f_y = 595,5 \text{ MPa}$$

Força cortante última teórica segundo a norma ACI-318 (1999):

a) Parcela referente ao concreto V_c :

$$\frac{V_c}{b_w d} = \left(0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{sl} \frac{a}{d} \right) \leq 0,29\sqrt{f_c}$$

$$\frac{V_c}{b_w d} (1) = 0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{sl} \frac{a}{d} = 2,0851 \text{ MPa}$$

$$\frac{V_c}{b_w d} (1) = 0,2085 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow V_c(1) = 110,71 \text{ kN}$$

$$\frac{V_c}{b_w d} (2) = 0,29\sqrt{f_c} = 2,049 \text{ MPa} = 0,2049 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_c(2) = 108,80 \text{ kN}$$

$$\text{Adotar } V_c = 108,80 \text{ kN}$$

b) Parcela referente ao aço V_{sw} :

$$V_{sw} = \frac{A_{sw} f_y d}{s} \leq 0,68\sqrt{f_c} b_w d$$

$$V_{sw} = 41,39 \text{ kN} \leq 251,31 \text{ kN} \rightarrow \text{OK!}$$

$$V_{u,teor} = V_{c,teor} + V_{sw,teor} = 108,80 + 41,39 = 150,19 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo cinemático:

$$v_0 = \frac{0,88}{\sqrt{f_c}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{h}} \right) (1 + 26\rho_{sl}) = 0,511$$

$$\omega_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w s} \frac{f_y}{f_c} = 0,016$$

$$\tau_c = 0,059 v_0 f_c = 1,51 \text{ MPa}$$

$$\frac{\omega_{sw}}{v_0} = 0,031 \leq 0,21$$

$$\tau_u = \tau_c \left(11,64 \sqrt{\frac{\omega_{sw}}{v_0}} - \frac{16,95}{v_0 h} \omega_{sw} s \right) = 2,67 \text{ MPa}$$

$$V_u = \tau_u b_w d = 141,98 \text{ kN}$$

Ângulo teórico θ_{CIN} :

$$x = h \sqrt{\frac{2\tau_c}{\omega_{sw} f_c}} = 78,63 \text{ cm}$$

$$\text{tg } \theta_{CIN} = \frac{h}{x} = 0,509$$

$$\theta_{CIN} = 26,96^\circ$$

F.6.

Viga VII-1

Dados de Entrada:

$$b_w = 15 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 40 - 1,5 - 0,5 - 1,0 = 35,4 \text{ cm}$$

$$a = 87,5 \text{ cm}$$

$$A_{sl} = 12,06 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \phi 16,0 \text{ mm}$$

$$\rho_{sl} = \frac{A_{sl}}{b_w d} = 0,02272$$

$$A_{sw} = 0,3927 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{estribo de } \phi 5,0 \text{ mm}$$

$$s = 20,0 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,0122 \text{ cm}$$

$$w_f = 10,0 \text{ cm}$$

$$A_f = 2t_f w_f = 0,244 \text{ cm}^2$$

$$s_f = 22,5 \text{ cm}$$

$$d_f = d - 8 \text{ cm} = 27,4 \text{ cm}$$

$$\rho_f = \frac{2t_f w_f}{b_w s_f} = 0,00072$$

$$E_f = 255180 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{f,u} = 0,011636 = 11,636 \text{ ‰}$$

$$f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

$$f_c = 50,94 \text{ MPa}$$

$$f_y = 595,5 \text{ MPa}$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ$$

Força cortante última teórica segundo o modelo do ACI-318 (1999) e o ACI-440 (2001):

a) Parcela referente ao concreto V_c :

$$\frac{V_c}{b_w d} = \left(0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{st} \frac{a}{d} \right) \leq 0,29\sqrt{f_c}$$

$$\frac{V_c}{b_w d} (1) = 0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{st} \frac{a}{d} = 2,097 \text{ MPa}$$

$$\frac{V_c}{b_w d} (1) = 0,2097 \text{ kN/cm}^2 \quad \rightarrow \quad V_c (1) = 111,3 \text{ kN}$$

$$\frac{V_c}{b_w d} (2) = 0,29\sqrt{f_c} = 2,070 \text{ MPa} = 0,2070 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_c (2) = 109,91 \text{ kN}$$

$$\text{Adotar } V_c = 109,91 \text{ kN}$$

b) Parcela referente ao aço V_{sw} :

$$V_{sw} = \frac{A_{sw} f_y d}{s} \leq 0,68 \sqrt{f_c} b_w d$$

$$V_{sw} = 41,39 \text{ kN} \leq 259,70 \text{ kN} \rightarrow \text{OK!}$$

c) Parcela referente ao CFC V_f :

$$L_e = \frac{23300}{(t_f E_f)^{0,58}} = \frac{23300}{(0,122 \text{ mm} \times 255180 \text{ MPa})^{0,58}} = 57,72 \text{ mm}$$

$$k_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{f_c}{27}\right)^2} = 1,527$$

$$k_2 = \frac{d_f - L_e}{d_f} = 0,789 \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{f,u}} = 0,502 \leq 0,75$$

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,004 \leq 0,75 \varepsilon_{f,u} \rightarrow \text{envolvimento completo}$$

$$0,75 \varepsilon_{f,u} = 0,008727$$

$$\text{Adotar } \varepsilon_{f,e}(1) = 0,004$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = k_v \varepsilon_{f,u} \leq 0,004 \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$k_v \varepsilon_{f,u} = 0,00584$$

$$\text{Adotar } \varepsilon_{f,e}(2) = 0,004$$

$$\text{Logo: } \varepsilon_{f,e} = 0,004$$

$$V_f = \frac{A_f f_{f,e} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f}{s_f} = \frac{A_f E_f \varepsilon_{f,e} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f}{s_f} = 30,33 \text{ kN}$$

$$V_{u,teor} = V_{c,teor} + V_{sw,teor} + V_{f,teor} = 109,91 + 41,39 + 30,33 = 181,63 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo cinemático:

$$v_0 = \frac{0,88}{\sqrt{f_c}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{h}}\right) (1 + 26 \rho_{sl}) = 0,506$$

$$\omega_{sw} = \frac{A_{sw} f_y}{b_w s f_c} = 0,015$$

$$\text{Adota-se } f_{f,e} = 1546,49 \text{ MPa} \rightarrow \text{Chen e Teng (2002)}$$

$$\omega_{fw} = \frac{2t_f w_f \text{sen } \beta}{b_w s_f} \frac{f_{f,e}}{f_c} = 0,022$$

$$\tau_c = 0,059 v_0 f_c = 1,52 \text{ MPa}$$

$$\frac{(\omega_{sw} + \omega_{fw})}{v_0} = 0,074 \leq 0,21$$

$$\tau_u = \tau_c \left[11,64 \sqrt{\frac{(\omega_{sw} + \omega_{fw})}{v_0}} - \frac{16,95}{v_0 h} (\omega_{sw} s + \omega_{fw} s_f) \right] = 3,79 \text{ MPa}$$

$$V_u(1) = V_{c,teor} + V_{sw,teor} + V_{f,teor} = \tau_u b_w d = 201,00 \text{ kN}$$

Ângulo teórico θ_{CIN} :

$$x = h \sqrt{\frac{2\tau_c}{(\omega_{sw} + \omega_{fw}) f_c}} = 50,65 \text{ cm}$$

$$\text{tg } \theta_{CIN} = \frac{h}{x} = 0,790$$

$$\theta_{CIN} = 38,30^\circ$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo da FIB-Bulletin 14

(2001):

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,17 \left(\frac{f_c^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0,3} \varepsilon_{f,u} \rightarrow \text{envolvimento completo}$$

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,00721$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = 0,65 \left(\frac{f_c^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0,56} 10^{-3} \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = 0,00727$$

Logo:

$$\varepsilon_{f,e} = k \times 0,00721 = 0,8 \times 0,00721 = 0,00577$$

Para $\theta_{CR} = 38^\circ$:

$$V_f = 0,9 \varepsilon_{f,e} E_f \rho_f b_w d (\cot g \theta_{CR} + \cot g \alpha) \text{sen } \alpha = 65,08 \text{ kN}$$

Para $\theta_\varepsilon = 44,97^\circ$:

$$V_f = 0,9\varepsilon_{f,e} E_f \rho_f b_w d (\cot g \theta_\varepsilon + \cot g \alpha) \text{sen} \alpha = 50,90 \text{ kN}$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo de Chen e Teng (2002):

$$z_t = d_{ft} = 8 \text{ cm}$$

$$z_b = 0,9d - h + d_{fb} = 0,9 \times 35,4 - 40 + 40 = 31,86 \text{ cm}$$

$$h_{fe} = z_b - z_t = 23,86 \text{ cm}$$

$$s_{fe} = s_f = 22,5 \text{ cm}$$

Ruptura por aderência:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f t_f}{\sqrt{f_c}}} = \sqrt{\frac{255180 \text{ MPa} \times 0,122 \text{ mm}}{\sqrt{50,94 \text{ MPa}}}} = 66,0 \text{ mm} = 6,60 \text{ cm}$$

$$L_{\text{máx}} = h_{f,e} = 23,86 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_{\text{máx}}}{L_e} = 3,613 \geq 1,0$$

Então $\beta_L = 1,0$

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{w_f}{s_{fe}}}{1 + \frac{w_f}{s_{fe}}}} = 1,038$$

$$D_f = 1 - \frac{\pi - 2}{\pi \lambda} = 0,899 \quad \rightarrow \quad \lambda > 1,0$$

$$\sigma_{f,\text{máx}}(1) = 0,427 \beta_w \beta_L \sqrt{\frac{E_f \sqrt{f_c}}{t_f}}$$

$$\sigma_{f,\text{máx}}(1) = 0,427 \times 1,038 \times 1,0 \times \sqrt{\frac{255180 \text{ MPa} \times \sqrt{50,94 \text{ MPa}}}{0,122 \text{ mm}}} = 1712,10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{f,\text{máx}}(2) = f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

Adota-se $\sigma_{f,\text{máx}} = 1712,10 \text{ MPa}$

$$f_{f,e}(1) = D_f \sigma_{f,\text{máx}} = 1539,89 \text{ MPa}$$

Ruptura do CFC:

$$\zeta = \frac{z_t}{z_b} = 0,251$$

$$D_f = \frac{1 + \zeta}{2} = 0,626$$

Sendo $\frac{f_{f,u}}{E_f} = \varepsilon_{f,u}$

$$\sigma_{f,máx} = f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

$$f_{f,e}(2) = D_f \sigma_{f,máx} = 1857,36 \text{ MPa}$$

Adota-se $f_{f,e} = 1539,89 \text{ MPa}$

Para $\theta_{CR} = 38^\circ$:

$$V_f = 2 f_{f,e} t_f w_f \frac{h_{fe} (\cot g \theta_{CR} + \cot g \beta) \text{sen} \beta}{s_f} = 51,00 \text{ kN}$$

Para $\theta_\varepsilon = 44,97^\circ$:

$$V_f = 2 f_{f,e} t_f w_f \frac{h_{fe} (\cot g \theta_\varepsilon + \cot g \beta) \text{sen} \beta}{s_f} = 39,89 \text{ kN}$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo de Khalifa e Nanni (2002):

Ruptura por aderência:

$$L_e = 75 \text{ mm}$$

$$w_{f,e} = d_f - L_e = 19,90 \text{ cm} \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$t_f E_f = 31,13 \text{ mmGPa} \rightarrow 20 \text{ mmGPa} \leq t_f E_f \leq 90 \text{ mmGPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$R(1) = \frac{\sqrt[3]{f_c^2 w_{f,e}}}{\varepsilon_{f,u} d_f} [738,93 - 4,06(t_f E_f)] 10^{-6} = 0,525$$

Ruptura do CFC:

$$\rho_f E_f = 0,184 \leq 0,7 \rightarrow OK!$$

$$R(2) = 0,56(\rho_f E_f)^2 - 1,22(\rho_f E_f) + 0,78 = 0,572$$

O limite superior do coeficiente de redução é:

$$R(3) = \frac{0,006}{\varepsilon_{f,u}} = 0,516$$

Adota-se $R = 0,516$

$$f_{f,e} = R f_{f,u} = 1531,02 \text{ MPa}$$

$$V_f = \frac{A_f f_{f,e} (\sin \beta + \cos \beta) d_f}{s_f} = 45,49 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo de Colloti *et al.* (2004):

$$\psi_i = \frac{A_{sw} f_s}{b_w s f_c} = 0,0153$$

$$v_c = 0,7$$

$$\tau_u = 2,77 + 0,06(f'_c - 20) = 2,77 + 0,06(v_c f'_c - 20) = 3,71$$

$$h_f = 40 - 8 \text{ cm} = 32 \text{ cm}$$

$$\psi_e(1) = \frac{p_b}{b_w f_c} = \frac{w_f h_f \tau_u}{b_w f_c s_f} = 0,0690$$

$$v_f = 1,0$$

$$\psi_e(2) = \frac{p_f}{b_w f_c} = \frac{A_f f_{f,e}}{b_w f_c s_f} = \frac{2 t_f w_f v_f f_{f,u}}{b_w f_c s_f} = 0,0421$$

Adota-se $\psi_e = 0,0421$

$$\psi = \psi_i + \psi_e = 0,0153 + 0,0421 = 0,0574$$

a) esmagamento da biela de concreto e/ou do escoamento dos estribos:

$$\alpha = \frac{a}{d_v} = \frac{a}{0,9d} = 2,746$$

$$f_{sl} = 599,65 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{A_{sl} f_{sl}}{b d_v f_c} = 0,297$$

$$\psi_0 = \frac{\sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha}{2\sqrt{1 + \alpha^2}} = 0,0302$$

$$\psi_0 \leq \psi \leq 0,5$$

$$\text{Então } \frac{\tau}{f_c} = \sqrt{\psi - (1 - \psi)}$$

$$\tau = 11,85 \text{ MPa}$$

$$V_u(1) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 566,51 \text{ kN}$$

b) modo de ruptura relacionado ao esmagamento da biela de concreto e/ou do escoamento da armadura longitudinal:

$$\psi > \psi_0$$

$$\text{Então } \frac{\tau}{f_c} = \psi \left(\sqrt{\frac{2\eta}{\psi} + \alpha^2} - \alpha \right)$$

$$\tau = 4,34 \text{ MPa}$$

$$V_u(2) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 207,41 \text{ kN}$$

c) modo de ruptura relacionado à resistência das barras longitudinais e/ou ao esmagamento da seção de concreto (ruptura à flexão):

$$M_u = 21508 \text{ kNcm}$$

$$\frac{\tau}{f_c} = \frac{M_u}{a b d_v f_c}$$

$$\tau = 5,14 \text{ MPa}$$

$$V_u(3) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 245,81 \text{ kN}$$

$$V_u = 207,41 \text{ kN}$$

F.7.

Viga VII-2

Dados de Entrada:

$$b_w = 15 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 40 - 1,5 - 0,5 - 1,0 = 35,4 \text{ cm}$$

$$a = 87,5 \text{ cm}$$

$$A_{sl} = 12,06 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \phi 16,0 \text{ mm}$$

$$\rho_{sl} = \frac{A_{sl}}{b_w d} = 0,02272$$

$$A_{sw} = 0,3927 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{estribo de } \phi 5,0 \text{ mm}$$

$$s = 20,0 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,0244 \text{ cm}$$

$$w_f = 10,0 \text{ cm}$$

$$A_f = 2t_f w_f = 0,488 \text{ cm}^2$$

$$s_f = 22,5 \text{ cm}$$

$$d_f = d - 8 \text{ cm} = 27,4 \text{ cm}$$

$$\rho_f = \frac{2t_f w_f}{b_w s_f} = 0,00145$$

$$E_f = 255180 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{f,u} = 0,011636 = 11,636 \text{ ‰}$$

$$f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

$$f_c = 51,73 \text{ MPa}$$

$$f_y = 595,5 \text{ MPa}$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ$$

Força cortante última teórica segundo o modelo do ACI-318 (1999) e o ACI-440 (2001):

a) Parcela referente ao concreto V_c :

$$\frac{V_c}{b_w d} = \left(0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{st} \frac{a}{d} \right) \leq 0,29\sqrt{f_c}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(1) = 0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{st} \frac{a}{d} = 2,105 \text{ MPa}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(1) = 0,2105 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow V_c(1) = 111,7 \text{ kN}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(2) = 0,29\sqrt{f_c} = 2,086 \text{ MPa} = 0,2086 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_c(2) = 110,76 \text{ kN}$$

$$\text{Adotar } V_c = 110,76 \text{ kN}$$

b) Parcela referente ao aço V_{sw} :

$$V_{sw} = \frac{A_{sw} f_y d}{s} \leq 0,68\sqrt{f_c} b_w d$$

$$V_{sw} = 41,39 \text{ kN} \leq 259,70 \text{ kN} \rightarrow \text{OK!}$$

c) Parcela referente ao CFC V_f :

$$L_e = \frac{23300}{(t_f E_f)^{0,58}} = \frac{23300}{(0,244 \text{ mm} \times 255180 \text{ MPa})^{0,58}} = 38,61 \text{ mm}$$

$$k_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{f_c}{27}\right)^2} = 1,543$$

$$k_2 = \frac{d_f - L_e}{d_f} = 0,859 \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{f,u}} = 0,370 \leq 0,75$$

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,004 \leq 0,75 \varepsilon_{f,u} \rightarrow \text{envolvimento completo}$$

$$0,75 \varepsilon_{f,u} = 0,008727$$

$$\text{Adotar } \varepsilon_{f,e}(1) = 0,004$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = k_v \varepsilon_{f,u} \leq 0,004 \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$k_v \varepsilon_{f,u} = 0,00430$$

$$\text{Adotar } \varepsilon_{f,e}(2) = 0,004$$

$$\text{Logo: } \varepsilon_{f,e} = 0,004$$

$$V_f = \frac{A_f f_{f,e} (\operatorname{sen} \alpha + \operatorname{cos} \alpha) d_f}{s_f} = \frac{A_f E_f \varepsilon_{f,e} (\operatorname{sen} \alpha + \operatorname{cos} \alpha) d_f}{s_f} = 60,66 \text{ kN}$$

$$V_{u,teor} = V_{c,teor} + V_{sw,teor} + V_{f,teor} = 110,76 + 41,39 + 60,66 = 212,81 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo cinemático:

$$v_0 = \frac{0,88}{\sqrt{f_c}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{h}} \right) (1 + 26 \rho_{sl}) = 0,502$$

$$\omega_{sw} = \frac{A_{sw} f_y}{b_w s f_c} = 0,015$$

Adota-se $f_{f,e} = 1043,09 \text{ MPa} \rightarrow$ Chen e Teng (2002)

$$\omega_{fw} = \frac{2 t_f w_f \operatorname{sen} \beta f_{f,e}}{b_w s_f f_c} = 0,029$$

$$\tau_c = 0,059 v_0 f_c = 1,53 \text{ MPa}$$

$$\frac{(\omega_{sw} + \omega_{fw})}{v_0} = 0,088 \leq 0,21$$

$$\tau_u = \tau_c \left[11,64 \sqrt{\frac{(\omega_{sw} + \omega_{fw})}{v_0}} - \frac{16,95}{v_0 h} (\omega_{sw} s + \omega_{fw} s_f) \right] = 4,06 \text{ MPa}$$

$$V_u(1) = V_{c,teor} + V_{sw,teor} + V_{f,teor} = \tau_u b_w d = 215,43 \text{ kN}$$

Ângulo teórico θ_{CIN} :

$$x = h \sqrt{\frac{2 \tau_c}{(\omega_{sw} + \omega_{fw}) f_c}} = 46,31 \text{ cm}$$

$$\operatorname{tg} \theta_{CIN} = \frac{h}{x} = 0,864$$

$$\theta_{CIN} = 40,82^\circ$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo da FIB-Bulletin 14 (2001):

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,17 \left(\frac{f_c^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0,3} \varepsilon_{f,u} \rightarrow \text{envolvimento completo}$$

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,00587$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = 0,65 \left(\frac{f_c^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0,56} 10^{-3} \rightarrow \text{envolvimento em } U$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = 0,00496$$

Logo:

$$\varepsilon_{f,e} = k \times 0,00496 = 0,8 \times 0,00496 = 0,00397$$

Para $\theta_{CR} = 40^\circ$:

$$V_f = 0,9 \varepsilon_{f,e} E_f \rho_f b_w d (\cot g \theta_{CR} + \cot g \alpha) \text{sen} \alpha = 83,33 \text{ kN}$$

Para $\theta_\varepsilon = 41,93^\circ$:

$$V_f = 0,9 \varepsilon_{f,e} E_f \rho_f b_w d (\cot g \theta_\varepsilon + \cot g \alpha) \text{sen} \alpha = 77,85 \text{ kN}$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo de Chen e Teng (2002):

$$z_t = d_{ft} = 8 \text{ cm}$$

$$z_b = 0,9d - h + d_{fb} = 0,9 \times 35,4 - 40 + 40 = 31,86 \text{ cm}$$

$$h_{fe} = z_b - z_t = 23,86 \text{ cm}$$

$$s_{fe} = s_f = 22,5 \text{ cm}$$

Ruptura por aderência:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f t_f}{\sqrt{f_c}}} = \sqrt{\frac{255180 \text{ MPa} \times 0,244 \text{ mm}}{\sqrt{51,73 \text{ MPa}}}} = 93,0 \text{ mm} = 9,30 \text{ cm}$$

$$L_{m\acute{a}x} = h_{f,e} = 23,86 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_{m\acute{a}x}}{L_e} = 2,564 \geq 1,0$$

$$\text{Ent\~{a}o } \beta_L = 1,0$$

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{w_f}{s_{fe}}}{1 + \frac{w_f}{s_{fe}}}} = 1,038$$

$$D_f = 1 - \frac{\pi - 2}{\pi\lambda} = 0,858 \quad \rightarrow \quad \lambda > 1,0$$

$$\sigma_{f,máx}(1) = 0,427 \beta_w \beta_L \sqrt{\frac{E_f \sqrt{f_c}}{t_f}}$$

$$\sigma_{f,máx}(1) = 0,427 \times 1,038 \times 1,0 \times \sqrt{\frac{255180 MPa \times \sqrt{51,73 MPa}}{0,244 mm}} = 1215,30 MPa$$

$$\sigma_{f,máx}(2) = f_{f,u} = 2969,16 MPa$$

$$\text{Adota-se } \sigma_{f,máx} = 1215,30 MPa$$

$$f_{f,e}(1) = D_f \sigma_{f,máx} = 1043,09 MPa$$

Ruptura do CFC:

$$\zeta = \frac{z_t}{z_b} = 0,251$$

$$D_f = \frac{1 + \zeta}{2} = 0,626$$

$$\text{Sendo } \frac{f_{f,u}}{E_f} = \varepsilon_{f,u}$$

$$\sigma_{f,máx} = f_{f,u} = 2969,16 MPa$$

$$f_{f,e}(2) = D_f \sigma_{f,máx} = 1857,36 MPa$$

$$\text{Adota-se } f_{f,e} = 1043,09 MPa$$

Para $\theta_{CR} = 40^\circ$:

$$V_f = 2 f_{f,e} t_f w_f \frac{h_{fe} (\cot g \theta_{CR} + \cot g \beta) \text{sen} \beta}{s_f} = 64,33 kN$$

Para $\theta_\varepsilon = 41,93^\circ$:

$$V_f = 2 f_{f,e} t_f w_f \frac{h_{fe} (\cot g \theta_\varepsilon + \cot g \beta) \text{sen} \beta}{s_f} = 60,10 \text{ kN}$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo de Khalifa e Nanni (2002):

Ruptura por aderência:

$$L_e = 75 \text{ mm}$$

$$w_{f,e} = d_f - L_e = 19,90 \text{ cm} \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$t_f E_f = 62,26 \text{ mmGPa} \rightarrow 20 \text{ mmGPa} \leq t_f E_f \leq 90 \text{ mmGPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$R(1) = \frac{\sqrt[3]{f_c^2 w_{f,e}}}{\varepsilon_{f,u} d_f} [738,93 - 4,06(t_f E_f)] 10^{-6} = 0,421$$

Ruptura do CFC:

$$\rho_f E_f = 0,369 \leq 0,7 \rightarrow \text{OK!}$$

$$R(2) = 0,56(\rho_f E_f)^2 - 1,22(\rho_f E_f) + 0,78 = 0,404$$

O limite superior do coeficiente de redução é:

$$R(3) = \frac{0,006}{\varepsilon_{f,u}} = 0,516$$

$$\text{Adota-se } R = 0,404$$

$$f_{f,e} = R f_{f,u} = 1199,82 \text{ MPa}$$

$$V_f = \frac{A_f f_{f,e} (\text{sen} \beta + \cos \beta) d_f}{s_f} = 71,30 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo de Colloti *et al.* (2004):

$$\psi_i = \frac{A_{sw} f_s}{b_w s f_c} = 0,0151$$

$$v_c = 0,7$$

$$\tau_u = 2,77 + 0,06(f'_c - 20) = 2,77 + 0,06(v_c f_c - 20) = 3,74$$

$$h_f = 40 - 8 \text{ cm} = 32 \text{ cm}$$

$$\psi_e(1) = \frac{p_b}{b_w f_c} = \frac{w_f h_f \tau_u}{b_w f_c s_f} = 0,0686$$

$$v_f = 1,0$$

$$\psi_e(2) = \frac{p_f}{b_w f_c} = \frac{A_f f_{f,e}}{b_w f_c s_f} = \frac{2t_f w_f v_f f_{f,u}}{b_w f_c s_f} = 0,0830$$

$$\text{Adota-se } \psi_e = 0,0686$$

$$\psi = \psi_i + \psi_e = 0,0151 + 0,0686 = 0,0837$$

a) esmagamento da biela de concreto e/ou do escoamento dos estribos:

$$\alpha = \frac{a}{d_v} = \frac{a}{0,9d} = 2,746$$

$$f_{sl} = 599,65 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{A_{sl} f_{sl}}{b d_v f_c} = 0,293$$

$$\psi_0 = \frac{\sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha}{2\sqrt{1 + \alpha^2}} = 0,0302$$

$$\psi_0 \leq \psi \leq 0,5$$

$$\text{Então } \frac{\tau}{f_c} = \sqrt{\psi - (1 - \psi)}$$

$$\tau = 14,32 \text{ MPa}$$

$$V_u(1) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 684,56 \text{ kN}$$

b) modo de ruptura relacionado ao esmagamento da biela de concreto e/ou do escoamento da armadura longitudinal:

$$\psi > \psi_0$$

$$\text{Então } \frac{\tau}{f_c} = \psi \left(\sqrt{\frac{2\eta}{\psi} + \alpha^2} - \alpha \right)$$

$$\tau = 4,616 \text{ MPa}$$

$$V_u(2) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 220,58 \text{ kN}$$

c) modo de ruptura relacionado à resistência das barras longitudinais e/ou ao esmagamento da seção de concreto (ruptura à flexão):

$$M_u = 21570 \text{ kNcm}$$

$$\frac{\tau}{f_c} = \frac{M_u}{abd_v f_c}$$

$$\tau = 5,16 \text{ MPa}$$

$$V_u(3) = \tau b_w d_v = \tau b_w 0,9d = 246,51 \text{ kN}$$

$$V_u = 220,58 \text{ kN}$$

F.8.

Viga VII-3

Dados de Entrada:

$$b_w = 15 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 40 - 1,5 - 0,5 - 1,0 = 35,4 \text{ cm}$$

$$a = 87,5 \text{ cm}$$

$$A_{sl} = 12,06 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \phi 16,0 \text{ mm}$$

$$\rho_{sl} = \frac{A_{sl}}{b_w d} = 0,02272$$

$$A_{sw} = 0,3927 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{estribo de } \phi 5,0 \text{ mm}$$

$$s = 20,0 \text{ cm}$$

$$t_f = 0,0366 \text{ cm}$$

$$w_f = 10,0 \text{ cm}$$

$$A_f = 2t_f w_f = 0,732 \text{ cm}^2$$

$$s_f = 22,5 \text{ cm}$$

$$d_f = d - 8 \text{ cm} = 27,4 \text{ cm}$$

$$\rho_f = \frac{2t_f w_f}{b_w s_f} = 0,00217$$

$$E_f = 255180 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{f,u} = 0,011636 = 11,636 \text{ ‰}$$

$$f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

$$f_c = 52,30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 595,5 \text{ MPa}$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ$$

Força cortante última teórica segundo o modelo do ACI-318 (1999) e o ACI-440

(2001):

a) Parcela referente ao concreto V_c :

$$\frac{V_c}{b_w d} = \left(0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{sl} \frac{a}{d} \right) \leq 0,29\sqrt{f_c}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(1) = 0,16\sqrt{f_c} + 17\rho_{sl} \frac{a}{d} = 2,112 \text{ MPa}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(1) = 0,2112 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow V_c(1) = 1121,47 \text{ kN}$$

$$\frac{V_c}{b_w d}(2) = 0,29\sqrt{f_c} = 2,097 \text{ MPa} = 0,2097 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_c(2) = 111,36 \text{ kN}$$

$$\text{Adotar } V_c = 111,36 \text{ kN}$$

b) Parcela referente ao aço V_{sw} :

$$V_{sw} = \frac{A_{sw} f_y d}{s} \leq 0,68\sqrt{f_c} b_w d$$

$$V_{sw} = 41,39 \text{ kN} \leq 259,70 \text{ kN} \rightarrow \text{OK!}$$

c) Parcela referente ao CFC V_f :

$$L_e = \frac{23300}{(t_f E_f)^{0,58}} = \frac{23300}{(0,366 \text{ mm} \times 255180 \text{ MPa})^{0,58}} = 30,52 \text{ mm}$$

$$k_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{f_c}{27}\right)^2} = 1,554$$

$$k_2 = \frac{d_f - L_e}{d_f} = 0,889 \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{f,u}} = 0,304 \leq 0,75$$

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,004 \leq 0,75 \varepsilon_{f,u} \rightarrow \text{envolvimento completo}$$

$$0,75 \varepsilon_{f,u} = 0,008727$$

$$\text{Adotar } \varepsilon_{f,e}(1) = 0,004$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = k_v \varepsilon_{f,u} \leq 0,004 \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$k_v \varepsilon_{f,u} = 0,00354$$

$$\text{Adotar } \varepsilon_{f,e}(2) = 0,00354$$

$$\text{Logo: } \varepsilon_{f,e} = 0,00354$$

$$V_f = \frac{A_f f_{f,e} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f}{s_f} = \frac{A_f E_f \varepsilon_{f,e} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f}{s_f} = 80,55 \text{ kN}$$

$$V_{u,teor} = V_{c,teor} + V_{sw,teor} + V_{f,teor} = 111,36 + 41,39 + 80,55 = 233,31 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo cinemático:

$$v_0 = \frac{0,88}{\sqrt{f_c}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{h}} \right) (1 + 26 \rho_{sl}) = 0,500$$

$$\omega_{sw} = \frac{A_{sw} f_y}{b_w s f_c} = 0,015$$

$$\text{Adota-se } f_{f,e} = 822,80 \text{ MPa} \rightarrow \text{Chen e Teng (2002)}$$

$$\omega_{fw} = \frac{2 t_f w_f \sin \beta f_{f,e}}{b_w s f_c} = 0,034$$

$$\tau_c = 0,059 v_0 f_c = 1,54 \text{ MPa}$$

$$\frac{(\omega_{sw} + \omega_{fw})}{v_0} = 0,098 \leq 0,21$$

$$\tau_u = \tau_c \left[11,64 \sqrt{\frac{(\omega_{sw} + \omega_{fw})}{v_0}} - \frac{16,95}{v_0 h} (\omega_{sw} s + \omega_{fw} s_f) \right] = 4,23 \text{ MPa}$$

$$V_u(1) = V_{c,teor} + V_{sw,teor} + V_{f,teor} = \tau_u b_w d = 224,49 \text{ kN}$$

Ângulo teórico θ_{CIN} :

$$x = h \sqrt{\frac{2\tau_c}{(\omega_{sw} + \omega_{fw})f_c}} = 43,86 \text{ cm}$$

$$\text{tg } \theta_{CIN} = \frac{h}{x} = 0,912$$

$$\theta_{CIN} = 42,36^\circ$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo da FIB-Bulletin 14 (2001):

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,17 \left(\frac{f_c^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0,3} \varepsilon_{f,u} \rightarrow \text{envolvimento completo}$$

$$\varepsilon_{f,e}(1) = 0,00521$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = 0,65 \left(\frac{f_c^{2/3}}{E_f \rho_f} \right)^{0,56} 10^{-3} \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$\varepsilon_{f,e}(2) = 0,00397$$

Logo:

$$\varepsilon_{f,e} = k \times 0,00397 = 0,8 \times 0,00397 = 0,00317$$

Para $\theta_{CR} = 39^\circ$:

$$V_f = 0,9 \varepsilon_{f,e} E_f \rho_f b_w d (\cot g \theta_{CR} + \cot g \alpha) \text{sen } \alpha = 103,63 \text{ kN}$$

Para $\theta_\varepsilon = 43,75^\circ$:

$$V_f = 0,9 \varepsilon_{f,e} E_f \rho_f b_w d (\cot g \theta_\varepsilon + \cot g \alpha) \text{sen } \alpha = 87,67 \text{ kN}$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo de Chen e Teng (2002):

$$z_t = d_{ft} = 8 \text{ cm}$$

$$z_b = 0,9d - h + d_{fb} = 0,9 \times 35,4 - 40 + 40 = 31,86 \text{ cm}$$

$$h_{fe} = z_b - z_t = 23,86 \text{ cm}$$

$$s_{fe} = s_f = 22,5 \text{ cm}$$

Ruptura por aderência:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f t_f}{\sqrt{f_c}}} = \sqrt{\frac{255180 \text{MPa} \times 0,366 \text{mm}}{\sqrt{52,30 \text{MPa}}}} = 113,60 \text{ mm} = 11,36 \text{ cm}$$

$$L_{m\acute{a}x} = h_{f,e} = 23,86 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_{m\acute{a}x}}{L_e} = 2,100 \geq 1,0$$

Ent\~{a}o $\beta_L = 1,0$

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{w_f}{s_{fe}}}{1 + \frac{w_f}{s_{fe}}}} = 1,038$$

$$D_f = 1 - \frac{\pi - 2}{\pi \lambda} = 0,827 \quad \rightarrow \quad \lambda > 1,0$$

$$\sigma_{f,m\acute{a}x}(1) = 0,427 \beta_w \beta_L \sqrt{\frac{E_f \sqrt{f_c}}{t_f}}$$

$$\sigma_{f,m\acute{a}x}(1) = 0,427 \times 1,038 \times 1,0 \times \sqrt{\frac{255180 \text{MPa} \times \sqrt{52,30 \text{MPa}}}{0,366 \text{mm}}} = 995,01 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{f,m\acute{a}x}(2) = f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

Adota - se $\sigma_{f,m\acute{a}x} = 995,01 \text{ MPa}$

$$f_{f,e}(1) = D_f \sigma_{f,m\acute{a}x} = 822,80 \text{ MPa}$$

Ruptura do CFC:

$$\zeta = \frac{z_t}{z_b} = 0,251$$

$$D_f = \frac{1 + \zeta}{2} = 0,626$$

Sendo $\frac{f_{f,u}}{E_f} = \varepsilon_{f,u}$

$$\sigma_{f,m\acute{a}x} = f_{f,u} = 2969,16 \text{ MPa}$$

$$f_{f,e}(2) = D_f \sigma_{f,m\acute{a}x} = 1857,36 \text{ MPa}$$

Adota - se $f_{f,e} = 822,80 \text{ MPa}$

Para $\theta_{CR} = 39^\circ$:

$$V_f = 2f_{f,e}t_f w_f \frac{h_{fe}(\cot g\theta_{CR} + \cot g\beta)\text{sen}\beta}{s_f} = 78,87 \text{ kN}$$

Para $\theta_\varepsilon = 43,75^\circ$:

$$V_f = 2f_{f,e}t_f w_f \frac{h_{fe}(\cot g\theta_\varepsilon + \cot g\beta)\text{sen}\beta}{s_f} = 66,72 \text{ kN}$$

Parcela da força cortante referente ao CFC segundo o modelo de Khalifa e Nanni

(2002):

Ruptura por aderência:

$$L_e = 75 \text{ mm}$$

$$w_{f,e} = d_f - L_e = 19,90 \text{ cm} \rightarrow \text{envolvimento em U}$$

$$t_f E_f \cong 90 \text{ mmGPa} \rightarrow 20 \text{ mmGPa} \leq t_f E_f \leq 90 \text{ mmGPa} \rightarrow \text{OK!}$$

$$R(1) = \frac{\sqrt[3]{f_c^2 w_{f,e}}}{\varepsilon_{f,u} d_f} [738,93 - 4,06(t_f E_f)] 10^{-6} = 0,314$$

Ruptura do CFC:

$$\rho_f E_f = 0,369 \leq 0,7 \rightarrow \text{OK!}$$

$$R(2) = 0,56(\rho_f E_f)^2 - 1,22(\rho_f E_f) + 0,78 = 0,274$$

O limite superior do coeficiente de redução é:

$$R(3) = \frac{0,006}{\varepsilon_{f,u}} = 0,516$$

$$\text{Adota-se } R = 0,274$$

$$f_{f,e} = Rf_{f,u} = 814,50 \text{ MPa}$$

$$V_f = \frac{A_f f_{f,e} (\operatorname{sen} \beta + \cos \beta) d_f}{s_f} = 72,61 \text{ kN}$$

Força cortante última teórica segundo o modelo de Colloti *et al.* (2004):

$$\psi_i = \frac{A_{sw} f_s}{b_w s f_c} = 0,0149$$

$$v_c = 0,7$$

$$\tau_u = 2,77 + 0,06(f'_c - 20) = 2,77 + 0,06(v_c f_c - 20) = 3,77$$

$$h_f = 40 - 8 \text{ cm} = 32 \text{ cm}$$

$$\psi_e(1) = \frac{p_b}{b_w f_c} = \frac{w_f h_f \tau_u}{b_w f_c s_f} = 0,0683$$

$$v_f = 1,0$$

$$\psi_e(2) = \frac{p_f}{b_w f_c} = \frac{A_f f_{f,e}}{b_w f_c s_f} = \frac{2 t_f w_f v_f f_{f,u}}{b_w f_c s_f} = 0,1231$$

$$\text{Adota-se } \psi_e = 0,0683$$

$$\psi = \psi_i + \psi_e = 0,0149 + 0,0683 = 0,0832$$

a) esmagamento da biela de concreto e/ou do escoamento dos estribos:

$$\alpha = \frac{a}{d_v} = \frac{a}{0,9d} = 2,746$$

$$f_{sl} = 599,65 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{A_{sl} f_{sl}}{b d_v f_c} = 0,289$$

$$\psi_0 = \frac{\sqrt{1 + \alpha^2} - \alpha}{2\sqrt{1 + \alpha^2}} = 0,0302$$

$$\psi_0 \leq \psi \leq 0,5$$

$$\text{Então } \frac{\tau}{f_c} = \sqrt{\psi - (1 - \psi)}$$

$$\tau = 14,44 \text{ MPa}$$

$$V_u(1) = t b_w d_v = t b_w 0,9d = 690,30 \text{ kN}$$

b) modo de ruptura relacionado ao esmagamento da biela de concreto e/ou do escoamento da armadura longitudinal:

$$\psi > \psi_0$$

$$\text{Então } \frac{\tau}{f_c} = \psi \left(\sqrt{\frac{2\eta}{\psi} + \alpha^2} - \alpha \right)$$

$$\tau = 4,619 \text{ MPa}$$

$$V_u(2) = \tau b_w d_v = \tau b_w 0,9d = 220,75 \text{ kN}$$

c) modo de ruptura relacionado à resistência das barras longitudinais e/ou ao esmagamento da seção de concreto (ruptura à flexão):

$$M_u = 21613 \text{ kNcm}$$

$$\frac{\tau}{f_c} = \frac{M_u}{abd_v f_c}$$

$$\tau = 5,17 \text{ MPa}$$

$$V_u(3) = \tau b_w d_v = \tau b_w 0,9d = 247,01 \text{ kN}$$

$$V_u = 220,75 \text{ kN}$$