

6. Referências Bibliográficas

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI 440.2R: **Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures**. Michigan, 2002.

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

ARAÚJO, C. M. **Reforço de Vigas de Concreto à Flexão e ao Cisalhamento com Tecidos de Fibras de Carbono**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5738. **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5739. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7217: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 9776: **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de Frasco de Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 9937: **Agregados – Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo.** Rio de Janeiro, 1987.

BARROS, J. A. O.; CRUZ, J. S.; DIAS S. J. E., FERREIRA, D. R. S. M., FORTES, A. **Nova Abordagem no Reforço de Estruturas com Materiais Compósitos.** Universidade do Ninho, Ingenium ISSN 0870-5968, n°98, 2007, pp. 84-90.

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

CAROLIN, A. **Carbon Fibre Reinforced Polymers for Strengthening of Structural Elements.** Doctoral Thesis, Department of Civil and Mining Engineering, Division of Structural Engineering, Lulea University of Technology, Suécia, June, 2003, 190 p.

CHEN, J. F.; TENG, J. G. **Anchorage Strength Models for FRP and Steel Plates Bonded to Concrete.** Journal of Structural Engineering. Vol. 127, n°7, 2001, pp. 784-791.

CLOUGH, R. W.; & PENZIN, J., **Dynamics of Structures.** McGraw-Hill Book Company, 2ª ed., U.S.A., 1993.

ERKI, M.A.; MEIER, U. **Impact Loading of Concrete Beams Externally Strengthened with CFRP Laminates.** Journal of Composites for Construction, Vol. 3, N°. 3, 1999, pp. 117-124.

KENDALL, D. **The Selection of Reinforcing Fibres for Strengthening Concrete and Steel Structures using Reinforced Plastics.** In: International Structural Faults and Repair, 8, 1999. London. Proceedings Edinburgh: Engineering Technics Press, 1999. CD-ROM.

MACHADO, A. P. **Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono**. São Paulo: Pini, 2002, 282 p.

MARTINS, J. N. J. **Resistência à Tração de um Sistema de Ancoragem Embutido em Concreto Sujeito a Carga de Impacto**. Dissertação de Mestrado, PUC- Rio, 2006.

MENEGHEL, J. M. **Análise Experimental da Aderência entre o Concreto e Compósitos com Tecido de Fibras de Carbono**. Dissertação de Mestrado, PUC - Rio, 2005.

NAKABA, K.; KANAKUBO, T.; FURUTA, T. e YOSHIZAWA, H. **Bond Behavior between Fiber-Reinforced Polymer Laminates and Concrete**. ACI Structural Journal. Vol. 3, nº98, 2001, pp. 359-367.

PELLISSARI, A. R. **Verificação Experimental da Aderência CFC - Concreto com Carregamento de Impacto**. Dissertação de Mestrado, PUC - Rio, 2007.

PACHECO, C. O. **Verificação Experimental da Aderência CFC - Concreto por meio de Ensaios Tração-Compressão em Corpos-de-prova Cúbicos**. Dissertação de Mestrado, PUC - Rio, 2006.

TANG, T.; SAADATMANESH, H. **Behavior of Concrete Beams Strengthened with Fiber-Reinforced Polymer Laminates under Impact Loading**. Journal of Composites for Construction, Vol. 7, Nº. 3, 2003, pp. 209-218.

TANIGUCHI, N.; NISHIWAKI, T.; KAWADA, H. **Tensile Strength of Unidirectional CFRP Laminate under High Strain Rate**. Advanced Composite Materials, Vol. 16, Nº. 2, 2007, pp. 167-180.

TENG, J. G.; CHEN, J. F.; SMITH, S. T.; LAM, L. **FRP Strengthened RC Structures**. West Sussex, England: John e Wiley & Sons, 2002, 245 pp.

WHITE, T.W.; SOUDKI, K.A.; ERKI M.A. **Response of RC Beams Strengthened with CFRP Laminates and Subjected to a High Rate of Loading**. Journal of Composites for Construction, Vol. 5, No. 3, 2001, pp. 153-162.

Anexo A

Caracterização dos Agregados

Composição Granulométrica

A determinação da composição granulométrica dos agregados graúdo e miúdo foi realizada no Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM) da Puc-Rio, conforme o prescrito na NBR 7217/1987. Foram determinados o módulo de finura e a dimensão máxima característica dos agregados. As proporções relativas de materiais retidos nas peneiras da série normal e intermediária são mostradas nas Tabelas A.1 e A.2, respectivamente.

A quantidade de material utilizado na experiência foi de 3 kg de brita e 1 kg de areia.

Tabela A.1 – Resultado da análise granulométrica do agregado miúdo.

Peneiras	Malha (mm)	Resíduo		Resíduo Acumulado (%)	
		g	%	Passado	Retido
3''	76,2				
2''	50,8				-
1 ½''	38,1				
1''	25,4				-
¾''	19,1				
½''	12,7				
⅜''	9,52				
¼''	6,35			100	-
4	4,76	22,5	2,25	97,75	2,25
8	2,38	44	4,4	93,35	6,65
16	1,19	102	10,2	83,15	16,85
30	0,59	349	34,9	48,25	51,75
50	0,297	327	32,7	15,55	84,45
100	0,149	134	13,4	2,15	97,85
200	0,074				-
Fundo	-	21,5	2,15	0	-
Totais		1000	100		259,8

Tabela A.2 – Resultado da análise granulométrica do agregado graúdo.

Peneiras	Malha (mm)	Resíduo		Resíduo Acumulado (%)	
		g	%	Passado	Retido
3’’	76,2				
2’’	50,8				-
1 ½’’	38,1				
1’’	25,4			100	-
¾’’	19,1	75	2,50	97,50	2,50
½’’	12,7	1952	65,07	32,43	67,57
⅜’’	9,52	726	24,20	8,23	91,77
¼’’	6,35				-
4	4,76	182	6,07	2,16	97,84
8	2,38				97,84
16	1,19				97,84
30	0,59				97,84
50	0,297				97,84
100	0,149				97,84
200	0,074				-
Fundo	-	65	2,16	0	-
Totais		3000	100		681,31

Cálculo do Módulo de Finura

Para o cálculo do módulo de finura do agregado somam-se todas as porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da serie normal, e divide-se esta soma por 100%.

- Agregado Graúdo

$$MF = \frac{681,31}{100} = 6,81 \quad (\text{A.1})$$

- Agregado Miúdo

$$MF = \frac{259,8}{100} = 2,60 \quad (\text{A.2})$$

Dimensão Máxima Característica dos Agregados

A dimensão máxima característica do agregado é a percentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5%, em massa correspondente à abertura nominal em milímetros da malha da peneira da série normal.

- Agregado Graúdo

$$D_{máx} = 19mm \quad (A.3)$$

- Agregado Miúdo

$$D_{máx} = 4,76mm \quad (A.4)$$

Anexo B

Determinação das Massas Específicas dos Agregados Graúdo e Miúdo

Massa Específica do Agregado Miúdo

A massa específica do agregado miúdo foi obtida por meio do Frasco de Chapman de acordo com a NBR 9776:1987, e calculada segundo a seguinte expressão:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (\text{B.1})$$

onde

γ - massa específica do agregado miúdo (expressa em g / cm^3);

L - leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água – agregado miúdo).

A massa inicial utilizada foi de 500 g e adicionou-se água até a marca de 200 cm^3 do frasco. A leitura realizada foi de 392 cm^3 , obtendo-se o seguinte valor para a massa específica:

$$\gamma = \frac{500}{392 - 200} = 2,60 g / cm^3 \quad (\text{B.2})$$

Massa Específica do Agregado Graúdo

A massa específica absoluta da brita foi obtida, conforme as recomendações da NBR 9937:1987, utilizando-se o procedimento do Frasco Graduado com capacidade de 5000 ml, sendo que a massa inicial utilizada foi de 1000 g. Adicionou-se água até a marca de 1000 cm^3 do frasco, resultando numa leitura de 1370 cm^3 , obtendo-se o seguinte valor para a massa específica:

$$\gamma = \frac{1000}{1370 - 1000} = 2,70 g / cm^3 \quad (\text{B.3})$$

Massa Específica Aparente do Agregado Graúdo

A determinação da massa específica aparente consiste em encher um recipiente retangular, em três camadas, com o agregado graúdo, promovendo o adensamento de cada camada mediante 25 golpes de uma haste metálica, com 16 mm de diâmetro e 60 cm de comprimento. A massa específica aparente é calculada dividindo-se a massa de brita contida no recipiente pelo volume do recipiente.

$$V_{rec} = 15cm.x.31,5cm.x.31,5cm = 1488,75cm^3 \quad (B.4)$$

$$P_{rec} = 17,20Kg \quad (B.5)$$

$$P_b = 31,10 - 17,20 = 23,90Kg = 23900g \quad (B.6)$$

$$\gamma_b = \frac{23900}{1488,75} = 1,61g / cm^3 \quad (B.7)$$

Anexo C
Gráficos dos Resultados dos Ensaio

Ensaio Estático

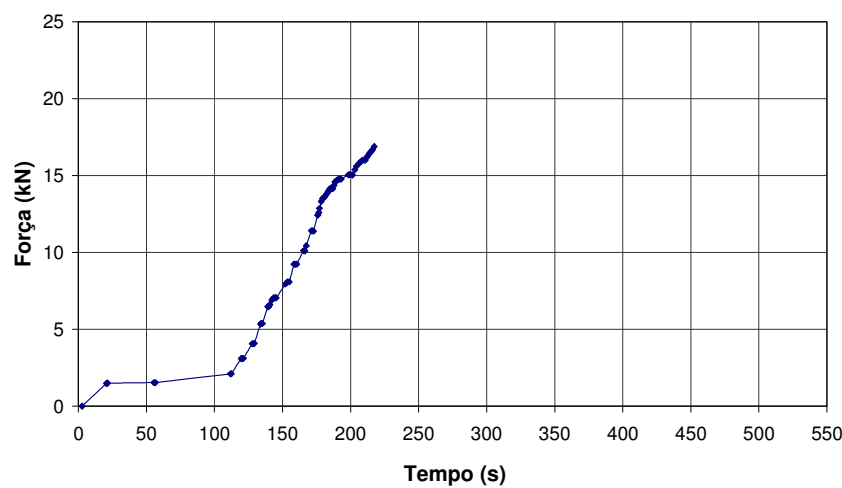


Figura C.1 – Curva força vs. tempo para o corpo-de-prova B25-0-01.

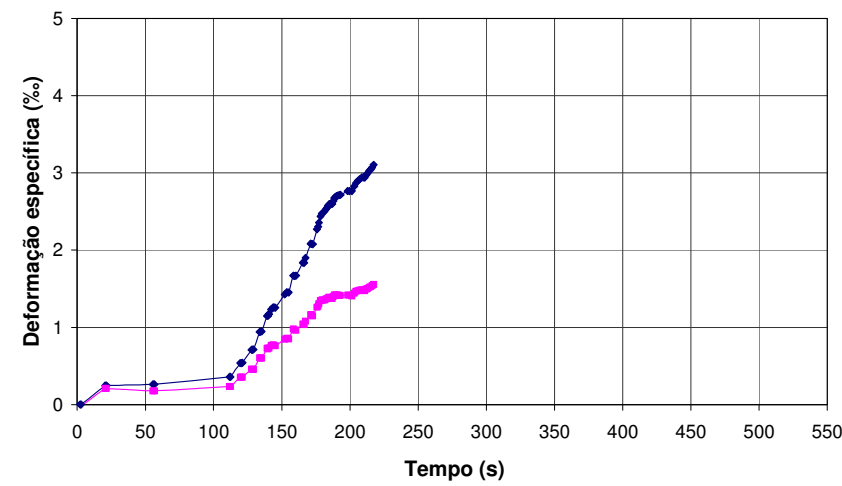


Figura C.2 – Curva deformação específica vs. tempo para o corpo-de-prova B25-0-01.

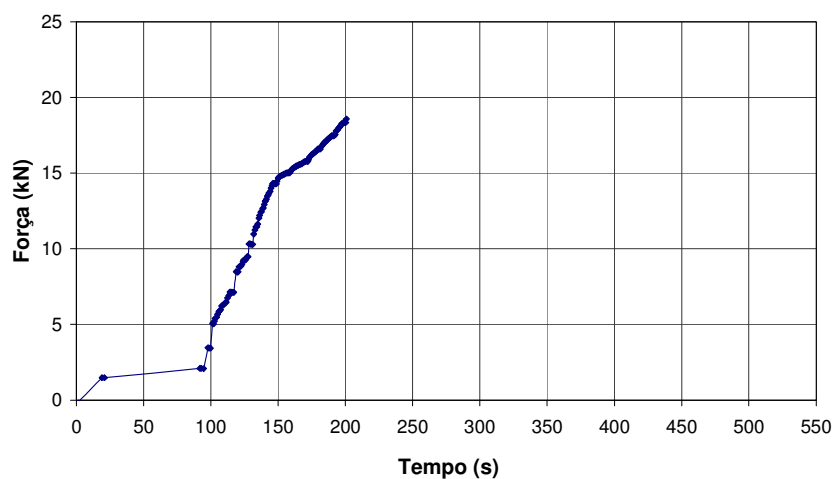


Figura C.3 – Curva força vs. tempo para o corpo-de-prova B25-0-02.

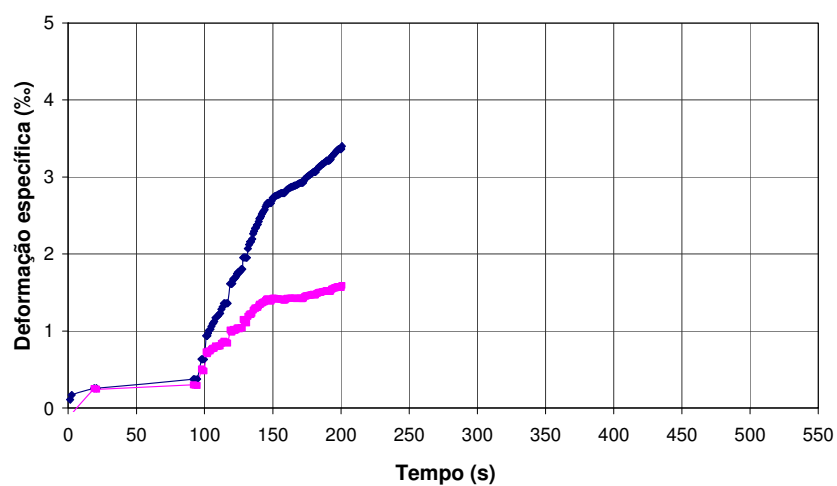


Figura C.4 – Curva deformação específica vs. tempo para o corpo-de-prova B25-0-02.

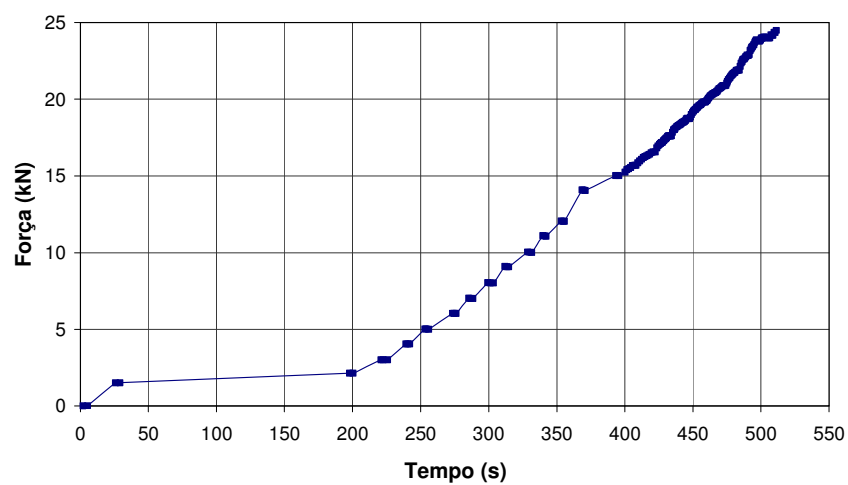


Figura C.5 – Curva força vs. tempo para o corpo-de-prova B45-0-01.

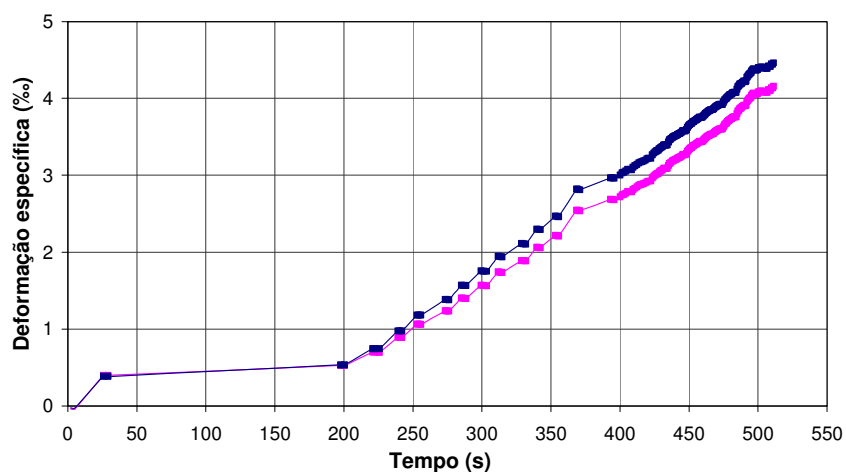


Figura C.6 – Curva deformação específica vs. tempo para o corpo-de-prova B45-0-01.

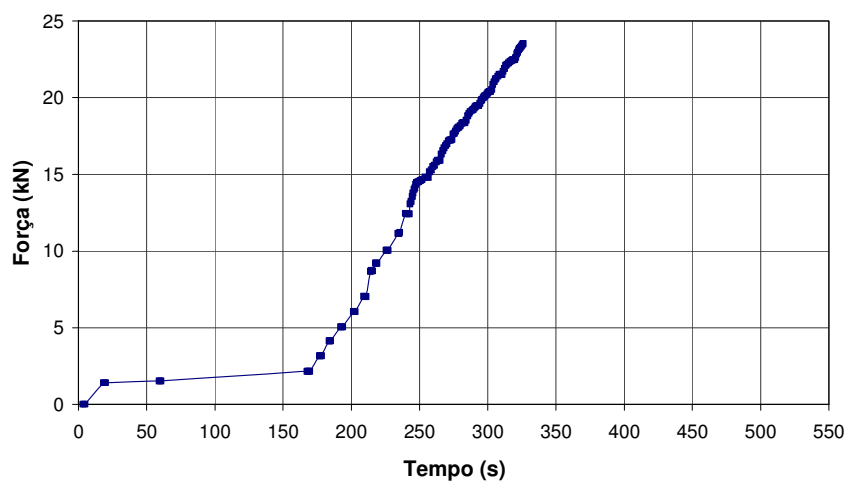


Figura C.7 – Curva força vs. tempo para o corpo-de-prova B45-0-02.

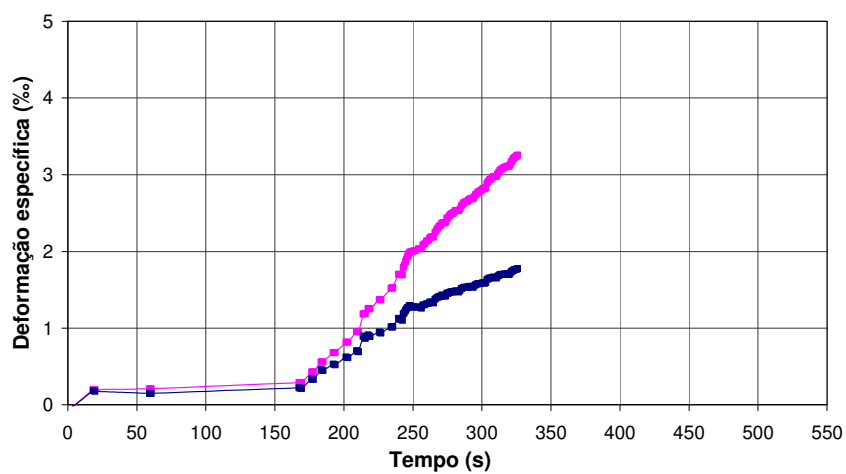


Figura C.8 – Curva deformação específica vs. tempo para o corpo-de-prova B45-0-02.

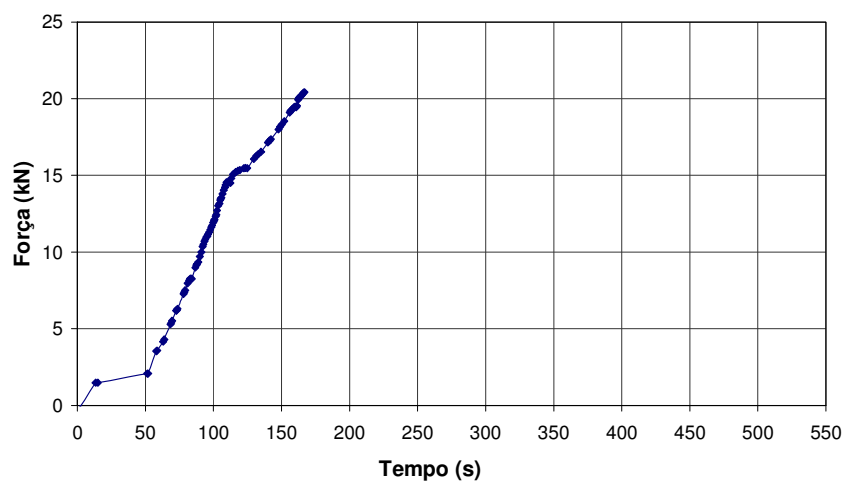


Figura C.9 – Curva força vs. tempo para o corpo-de-prova B65-0-01.

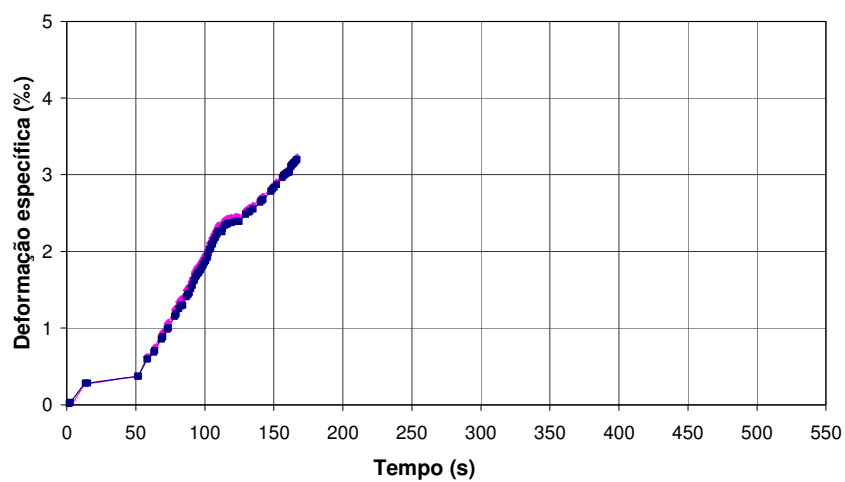


Figura C.10 – Curva deformação específica vs. tempo para o corpo-de-prova B65-0-01.

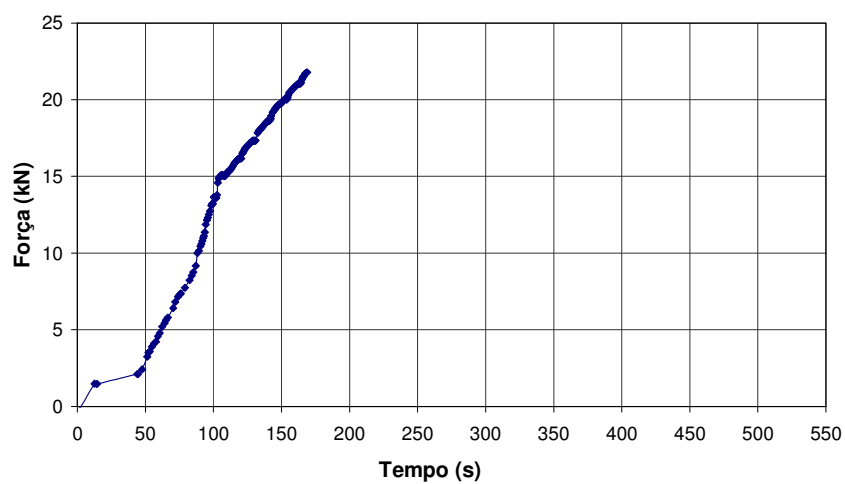


Figura C.11 – Curva força vs. tempo para o corpo-de-prova B65-0-02.

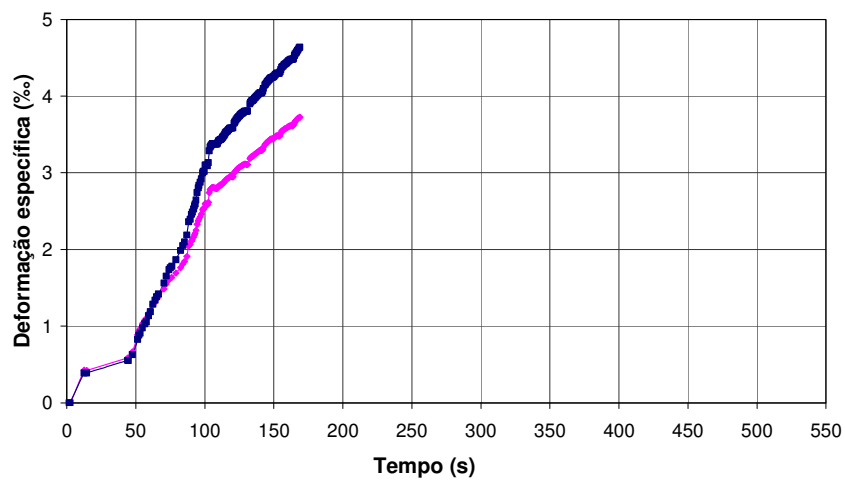


Figura C.12 – Curva deformação específica vs. tempo para o corpo-de-prova B65-0-02.

Ensaio Dinâmico

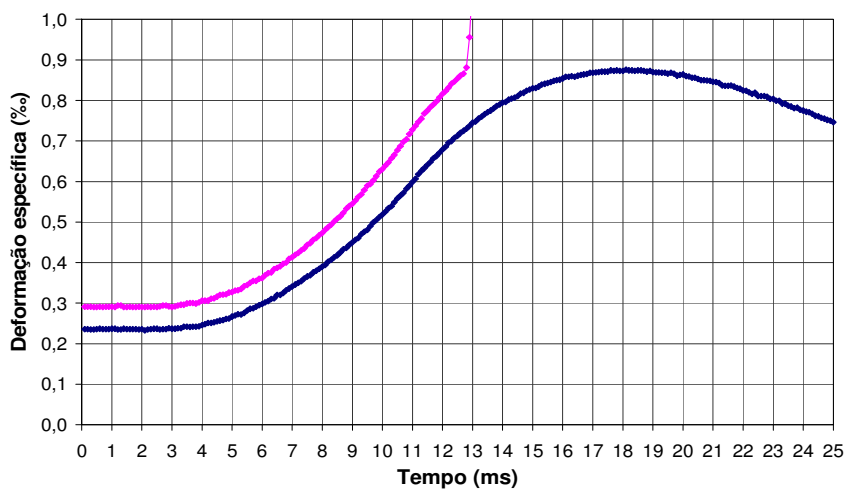


Figura C.13 – Curva deformação específica vs. tempo para o corpo-de-prova B25-25-E.

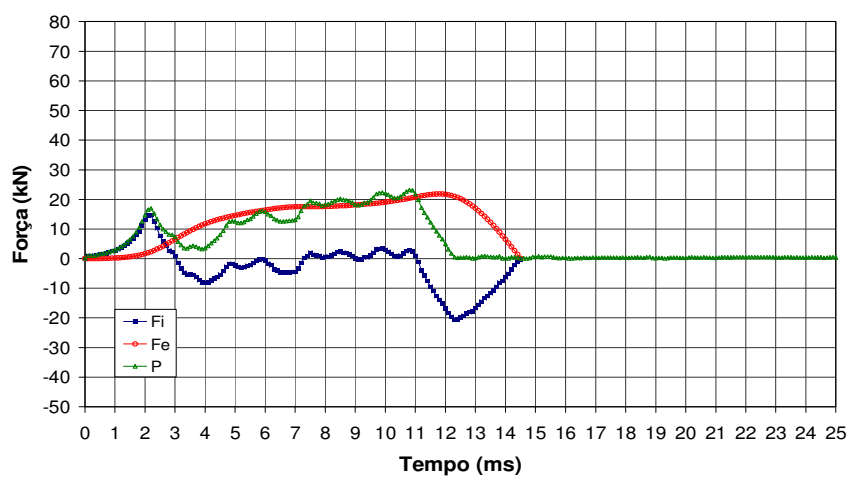


Figura C.14 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-25-E.

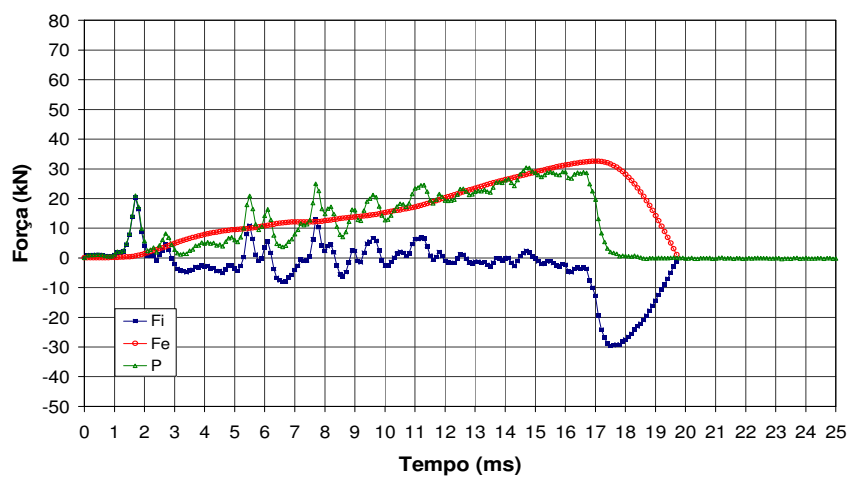


Figura C.15 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-25-01.

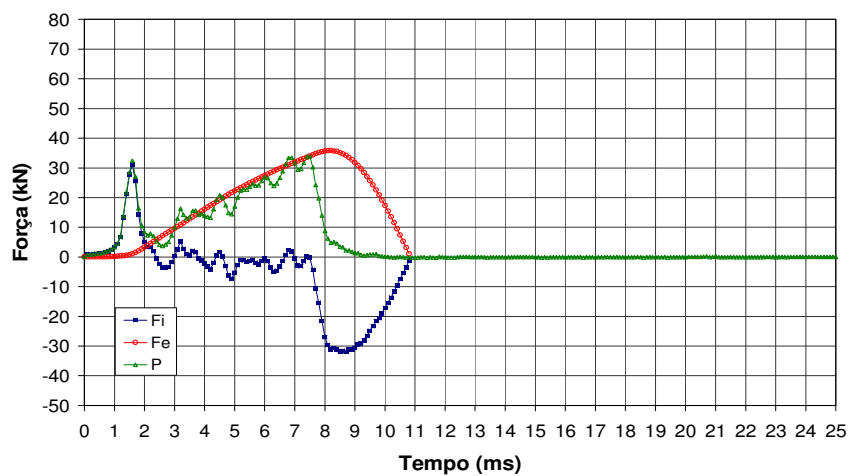


Figura C.16 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-25-02.

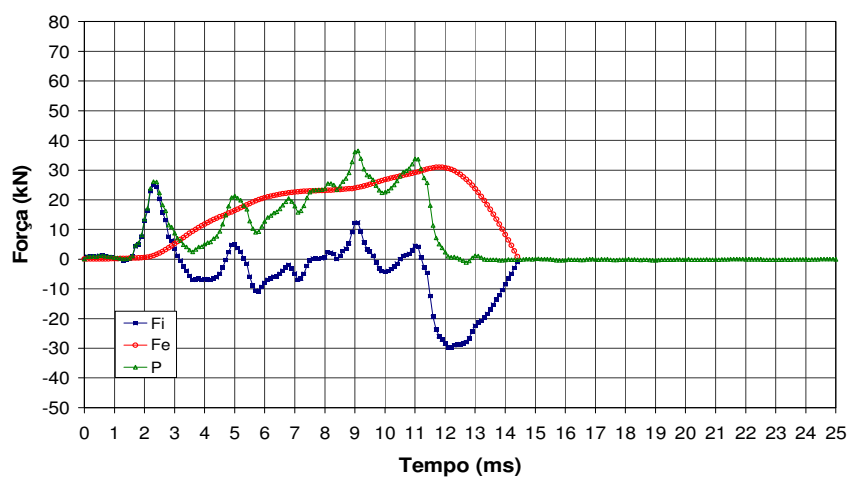


Figura C.17 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-50-01.

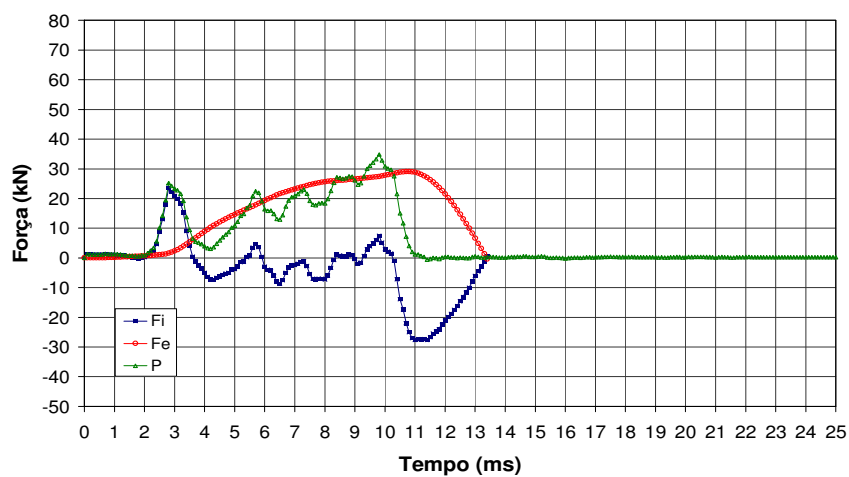


Figura C.18 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-50-02.

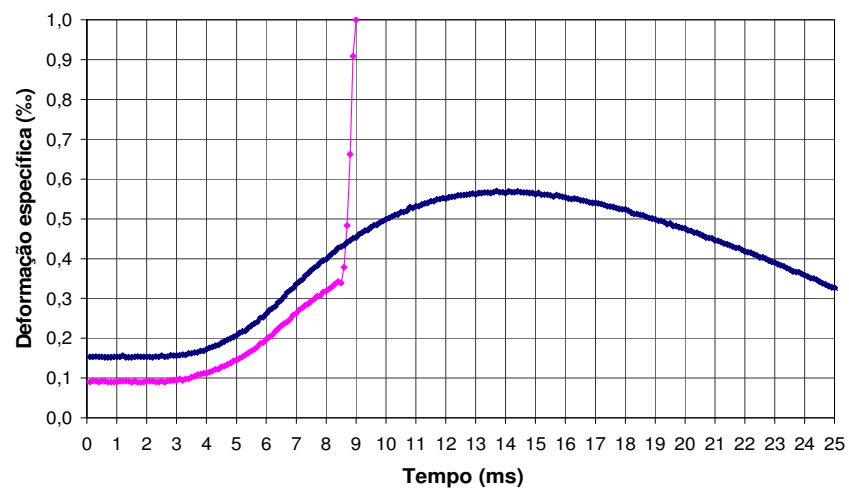


Figura C.19 – Curva deformação específica vs. tempo para o corpo-de-prova B25-75-E.

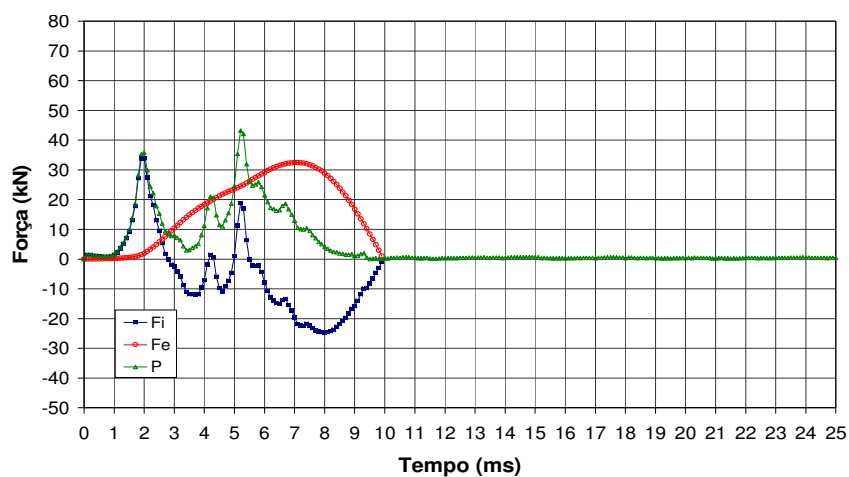


Figura C.20 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-75-E.

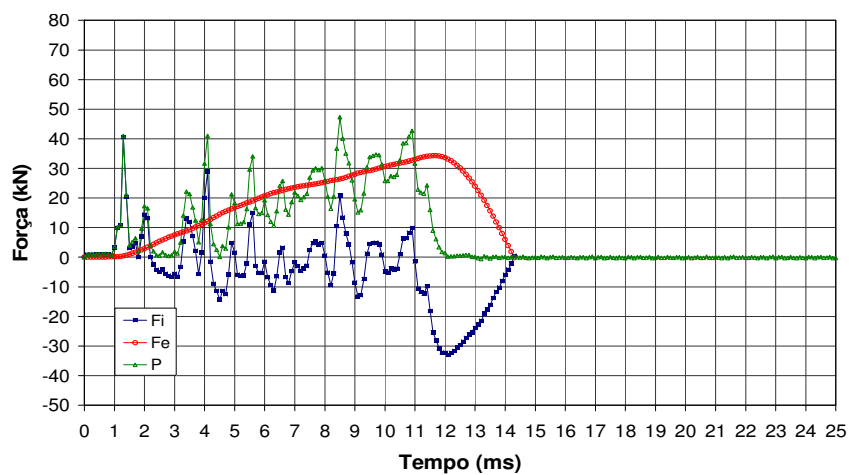


Figura C.21 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-75-01.

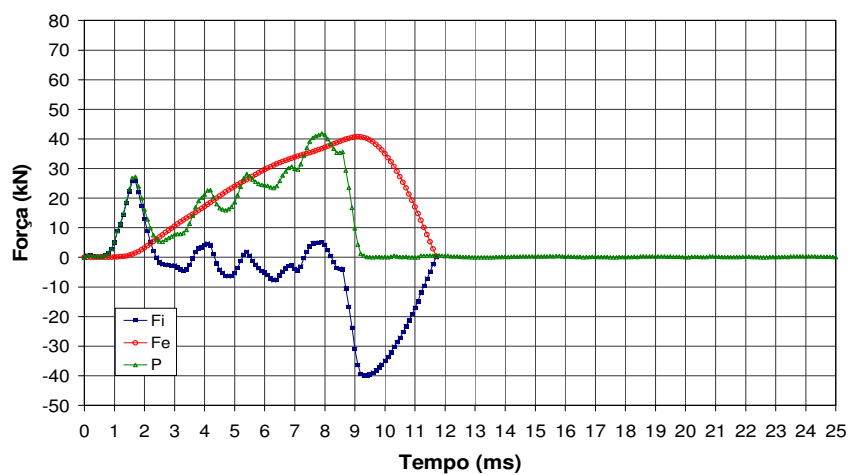


Figura C.22 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-75-02.

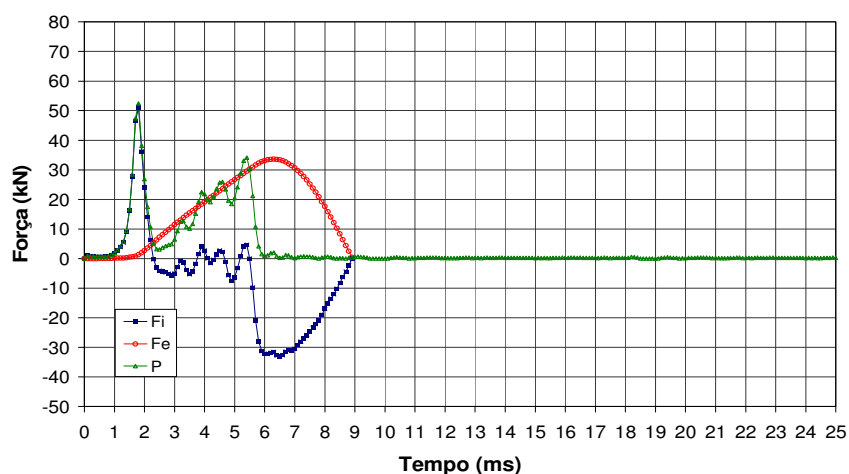


Figura C.23 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-100-01.

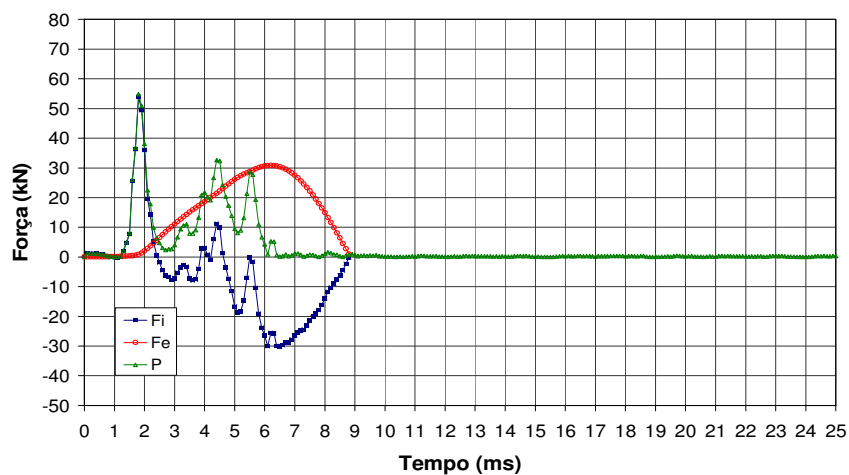


Figura C.24 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-100-02.

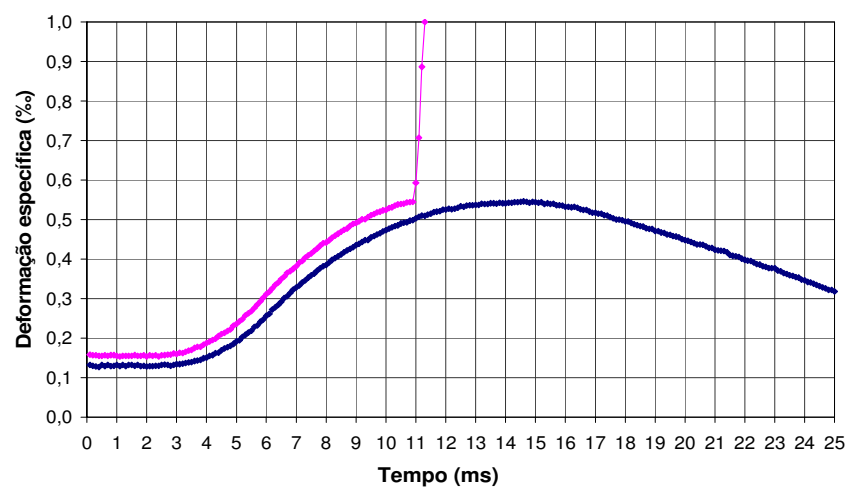


Figura C.25 – Curva deformação específica vs. tempo para o corpo-de-prova B25-125-E.

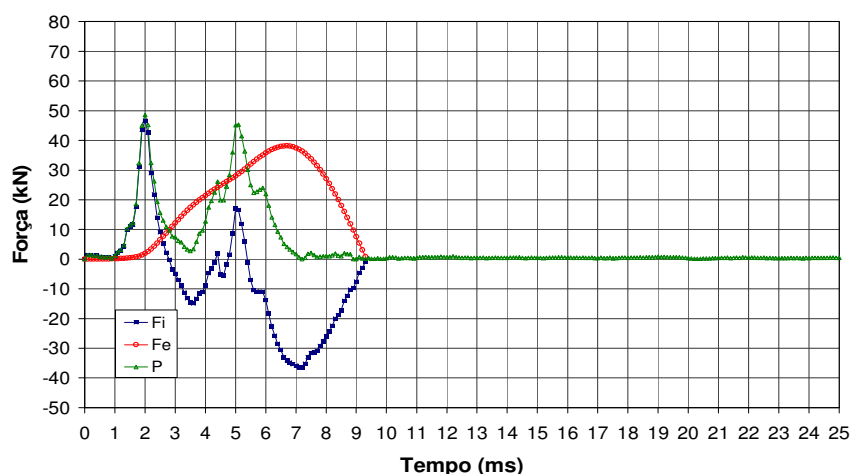


Figura C.26 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-125-E.

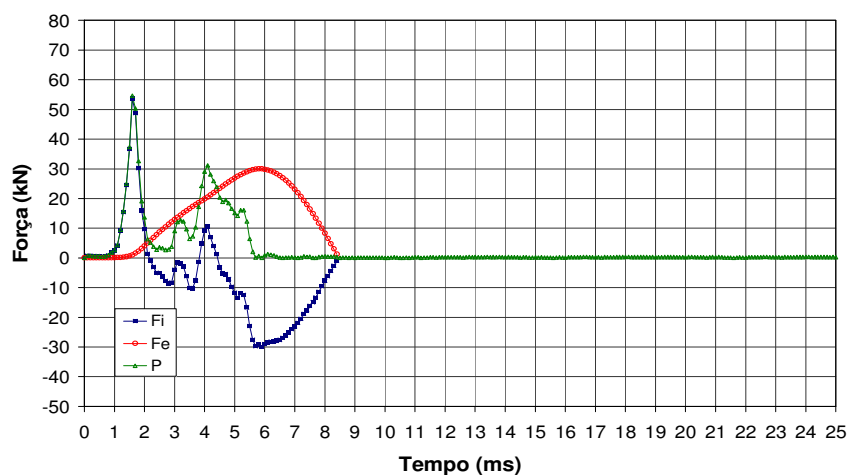


Figura C.27 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-125-01.

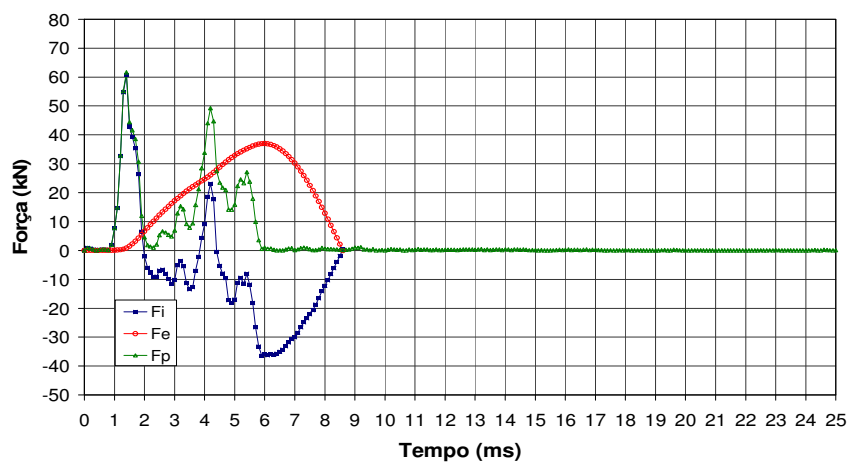


Figura C.28 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-125-02.

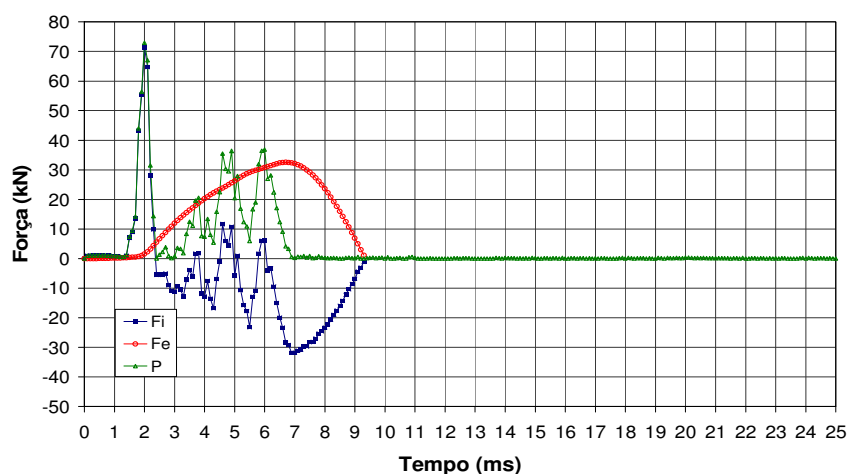


Figura C.29 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-150-01.

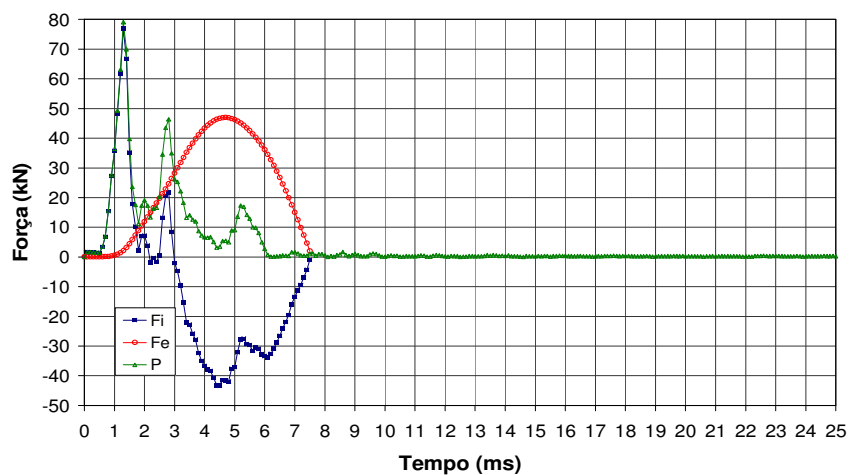


Figura C.30 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B25-150-02.

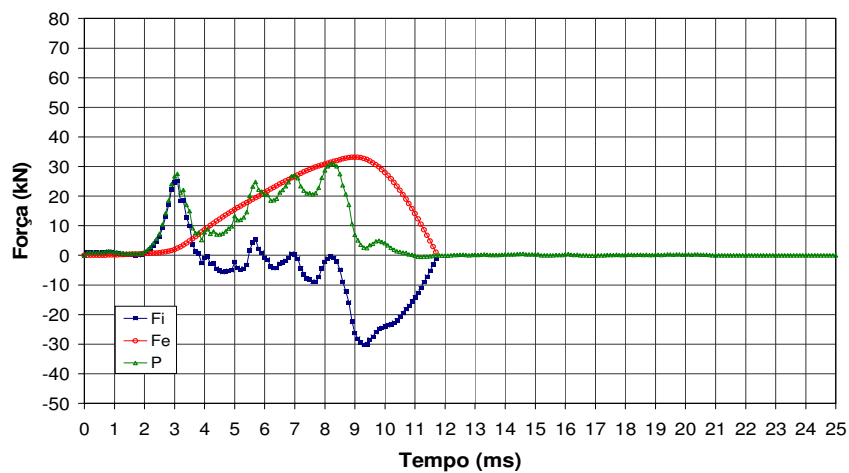


Figura C.31 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B45-25-01.

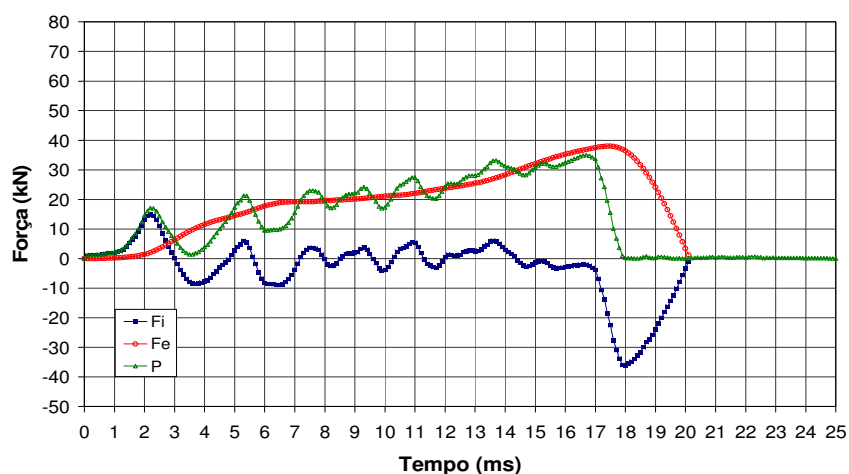


Figura C.32 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B45-25-02.

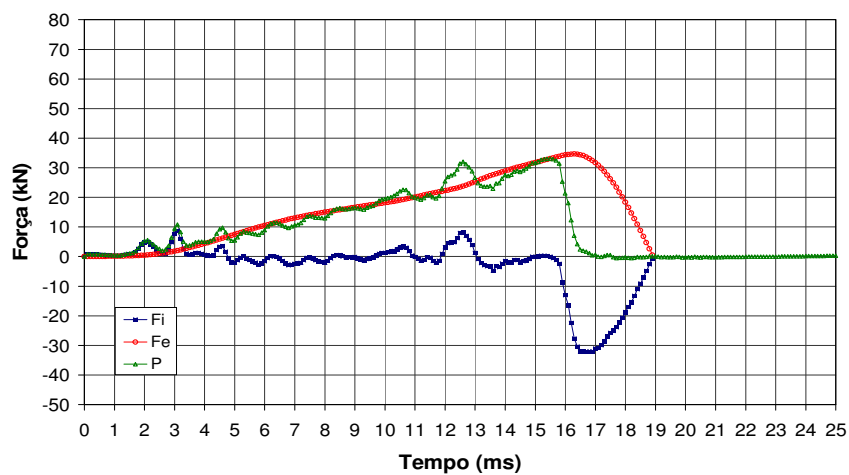


Figura C.33 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B45-50-01.

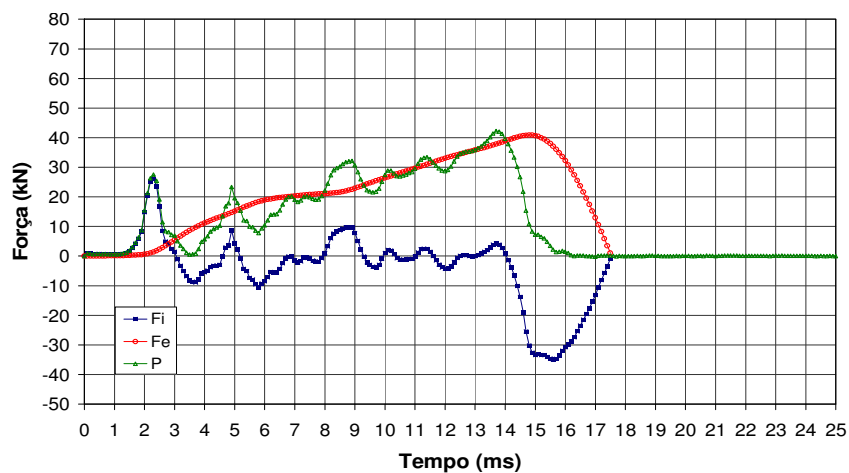


Figura C.34 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B45-50-02.

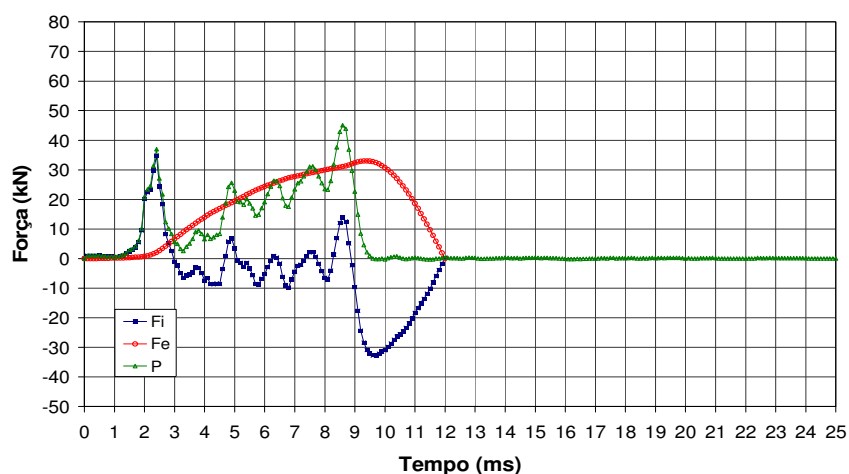


Figura C.35 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B45-75-01.

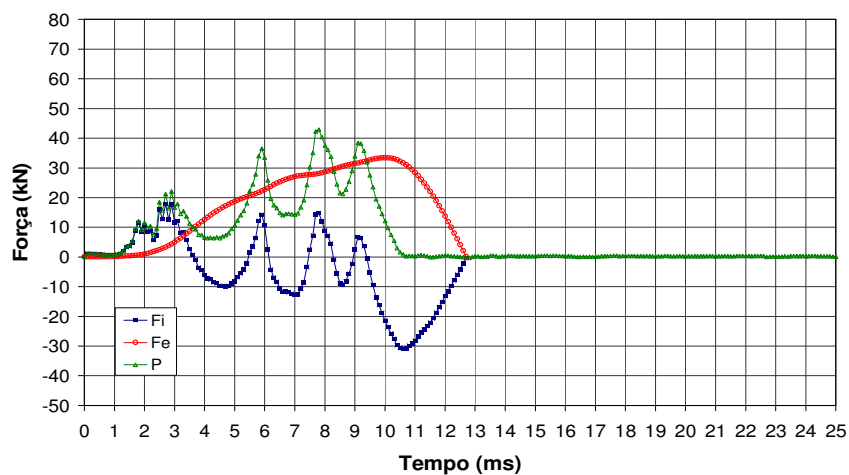


Figura C.36 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B45-75-02.

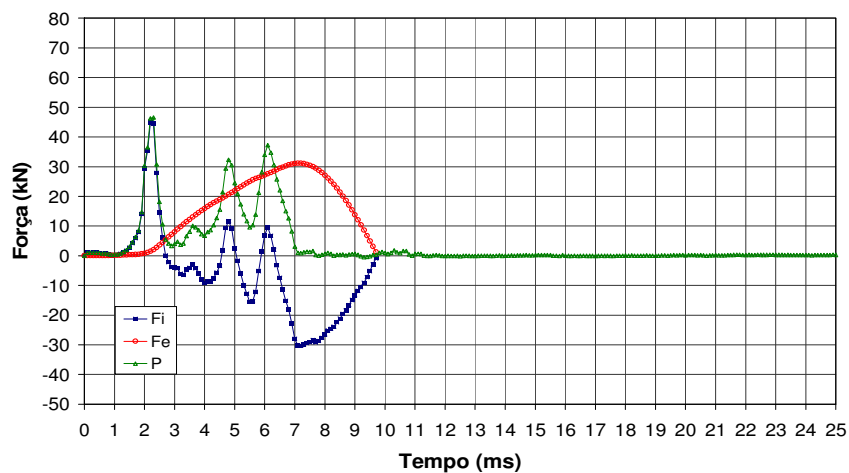


Figura C.37 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B45-100-01.

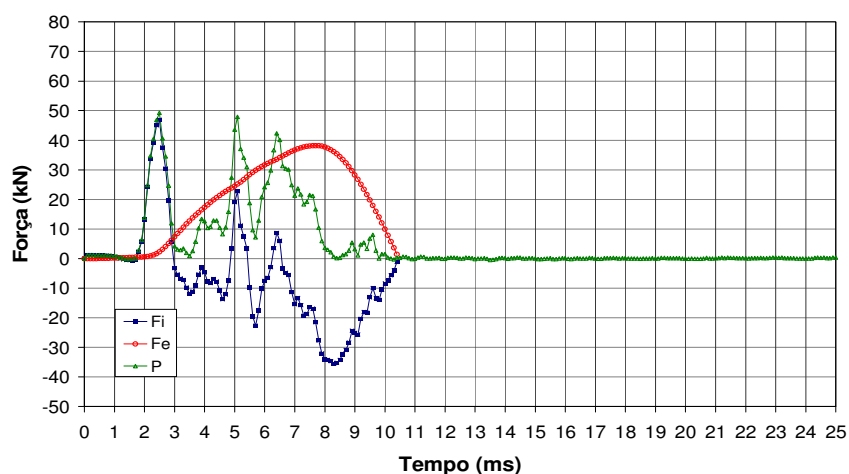


Figura C.38 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B45-100-02.

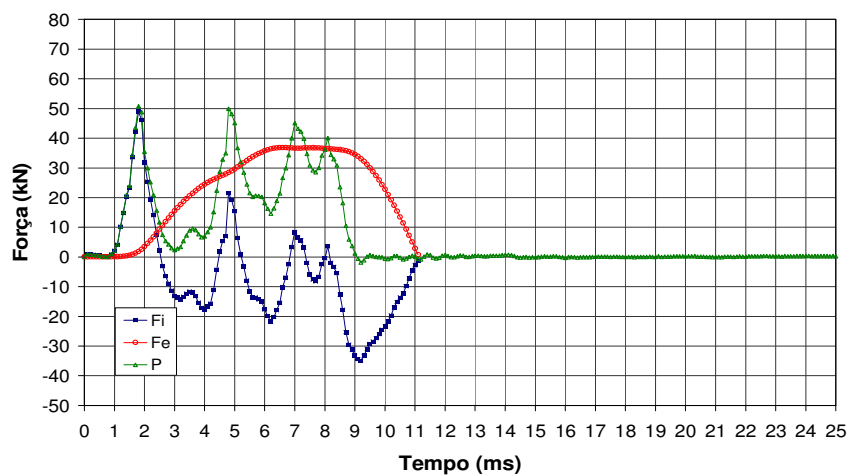


Figura C.39 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B45-125-01.

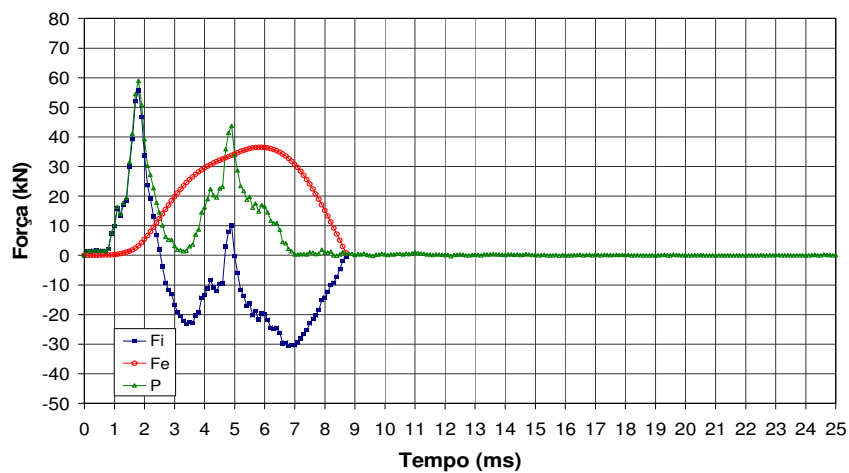


Figura C.40 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B45-125-02.

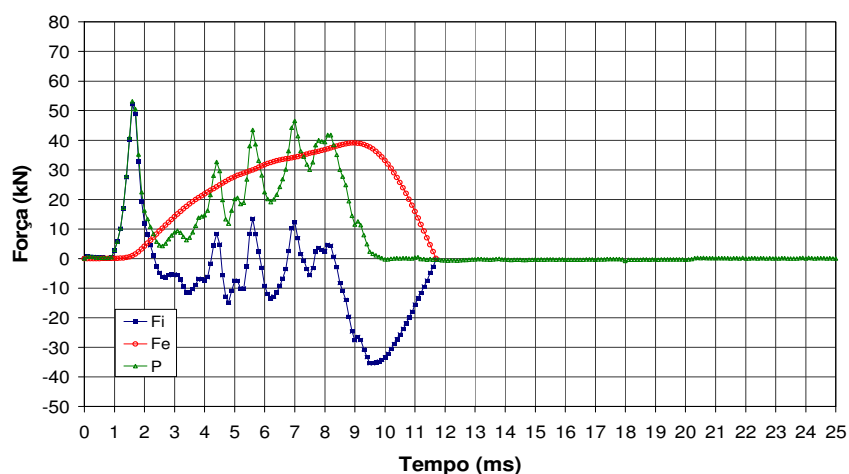


Figura C.41 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B45-150-01.

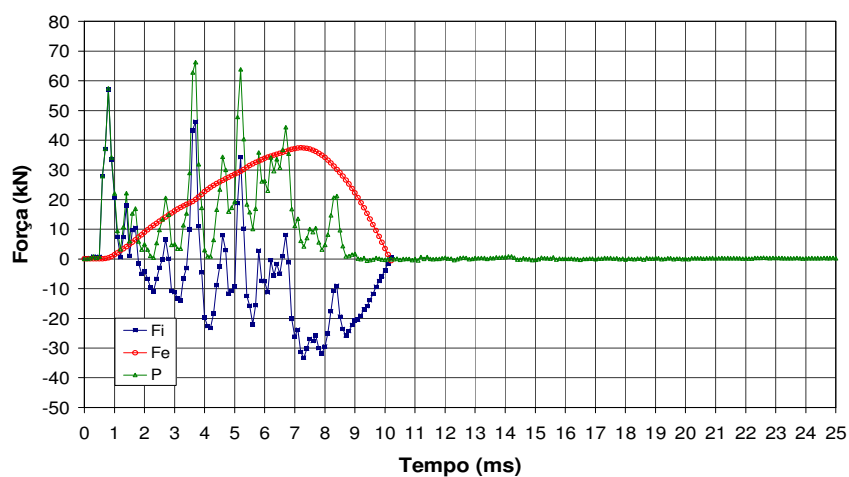


Figura C.42 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B45-150-02.

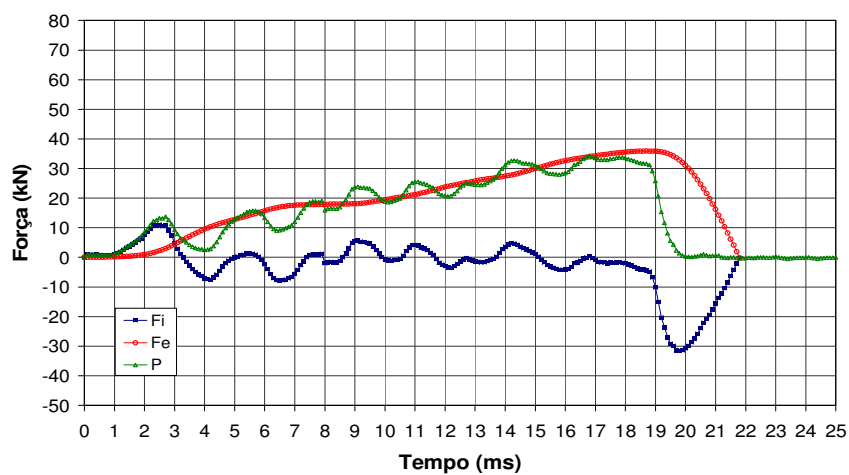


Figura C.43 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B65-25-01.

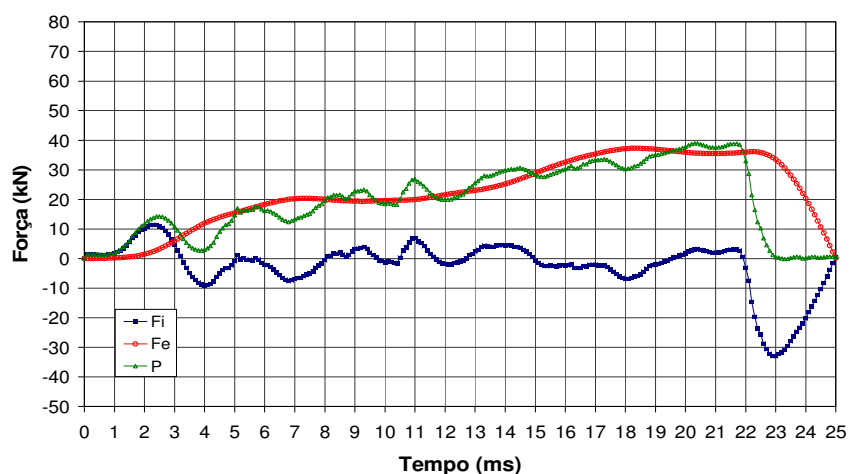


Figura C.44 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B65-25-02.

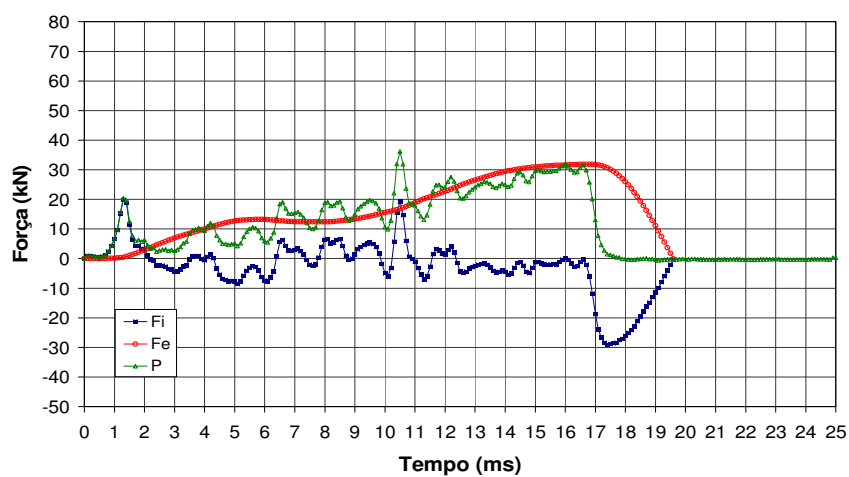


Figura C.45 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B65-50-01.

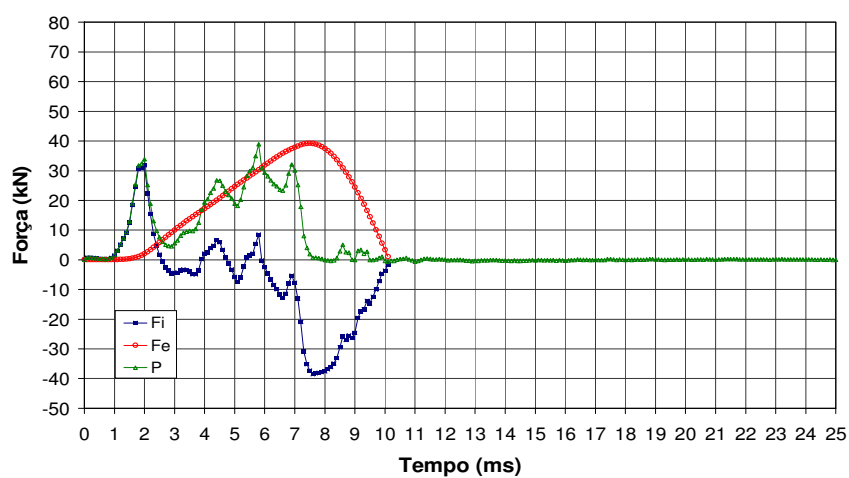


Figura C.46 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B65-50-02.

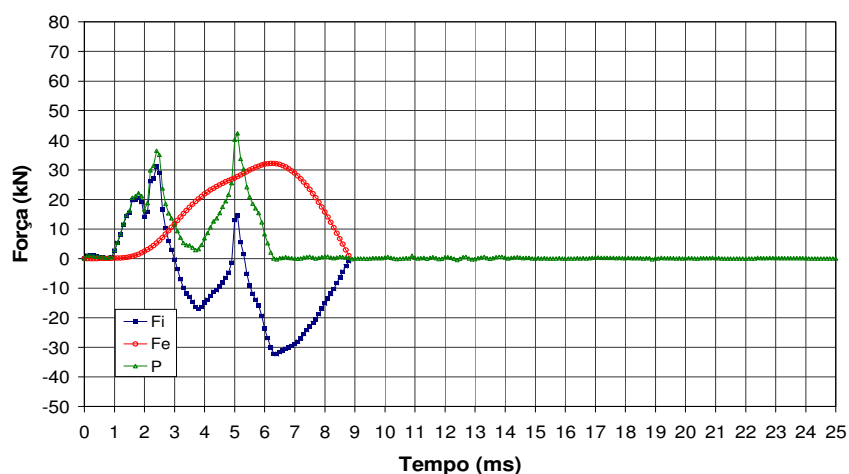


Figura C.47 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B65-75-01.

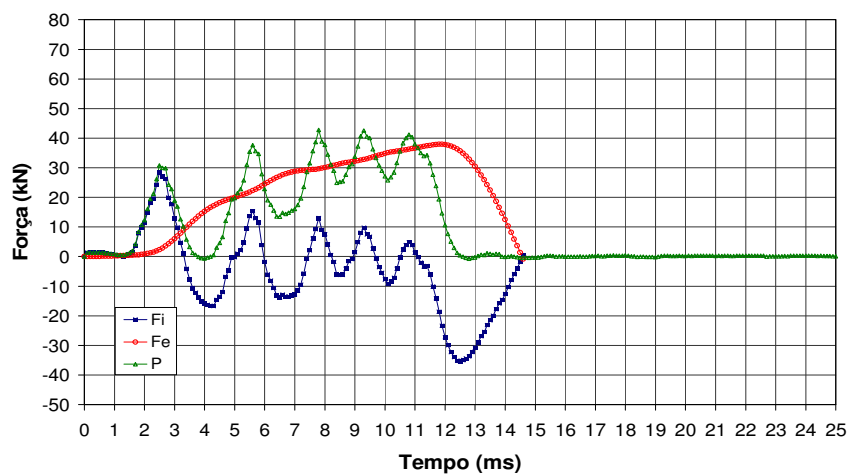


Figura C.48 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B65-75-02.

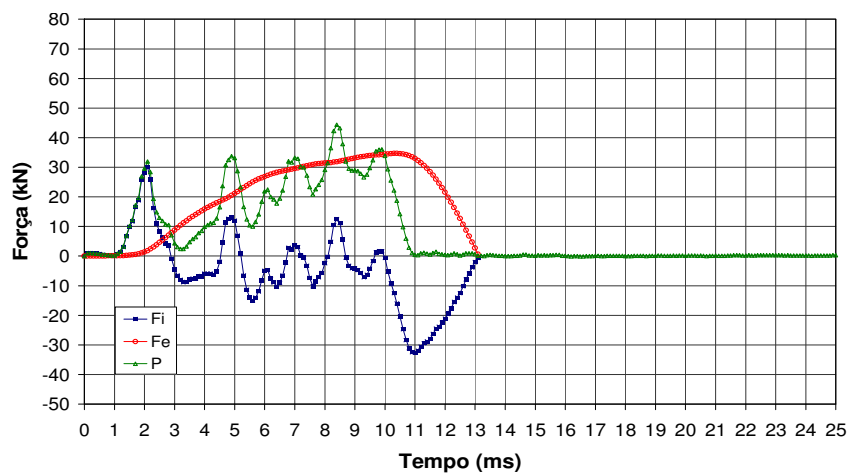


Figura C.49 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B65-100-01.

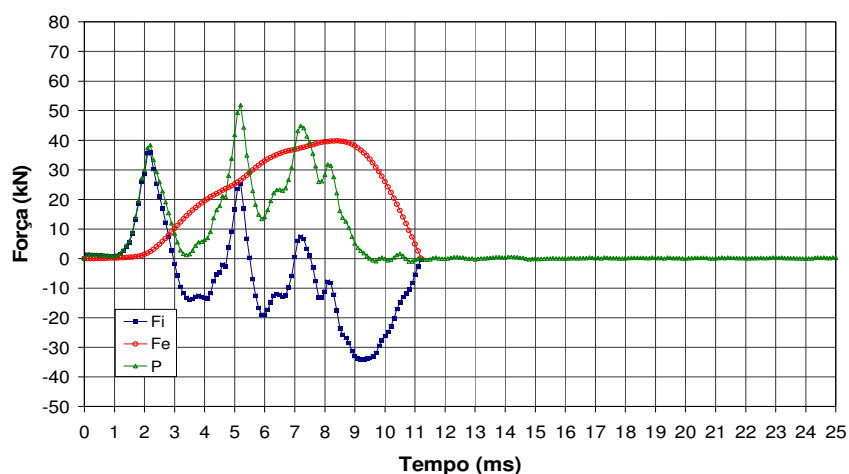


Figura C.50 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B65-100-02.

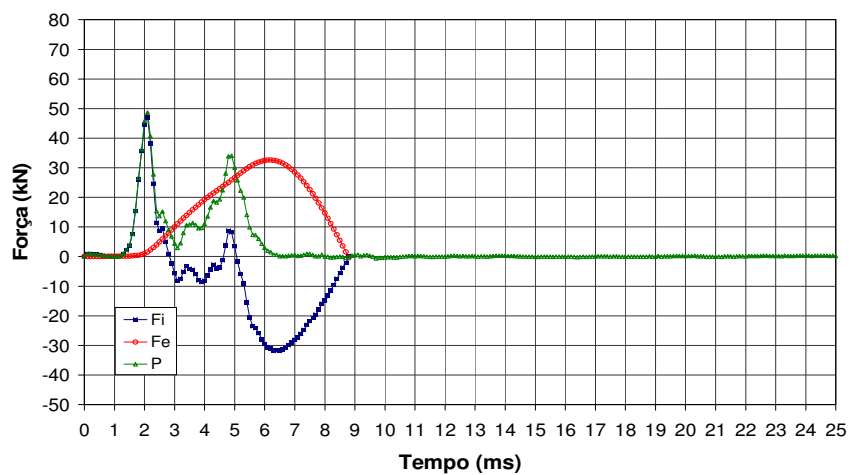


Figura C.51 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B65-125-01.

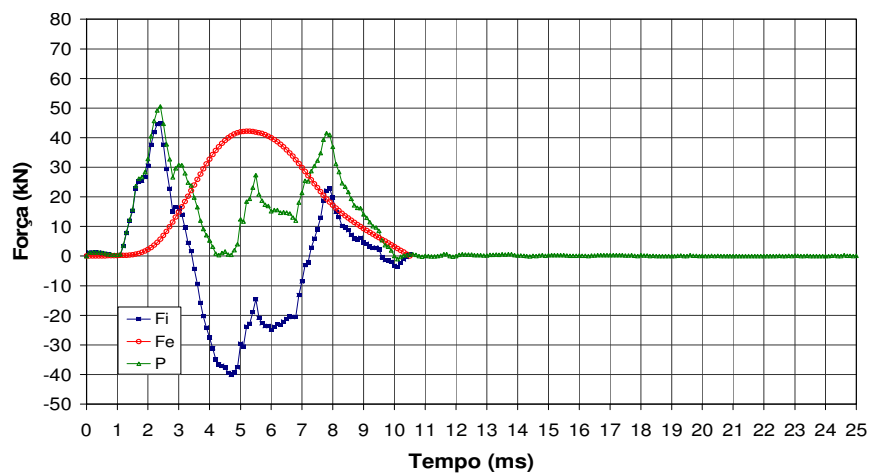


Figura C.52 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B65-125-02.

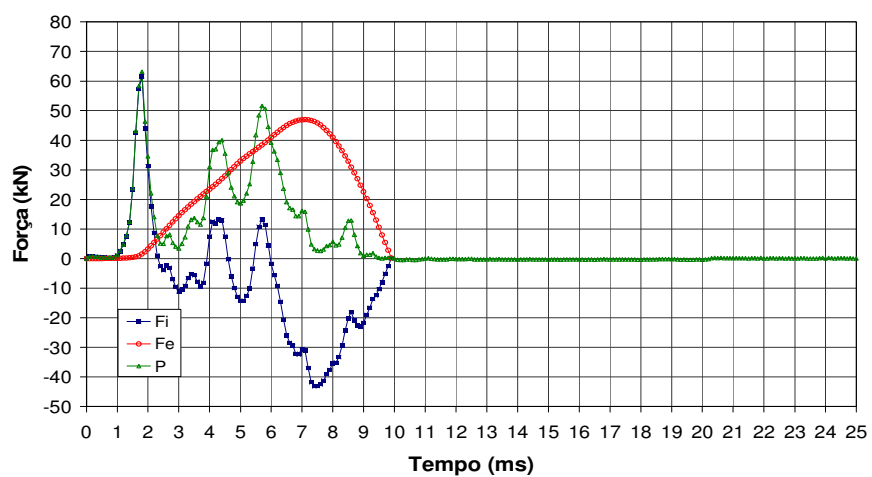


Figura C.53 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B65-150-01.

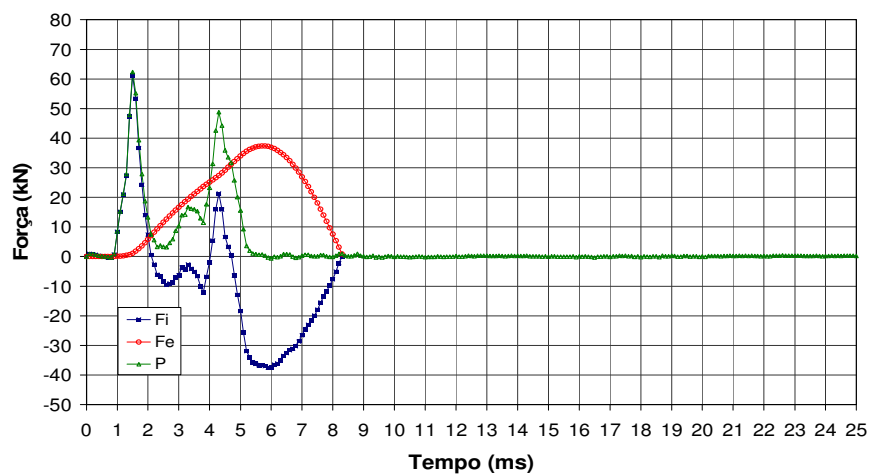


Figura C.54 – Forças de inércia (F_i), elástica (F_e) e impulso (P) no corpo-de-prova B65-150-02.

Anexo D

Fotos dos corpos-de-prova

Ensaio Dinâmico



a)



b)

Figura D.01 – (a) corpo-de-prova B25-25-01 e (b) corpo-de-prova B25-25-02.



a)



b)

Figura D.02 – (a) corpo-de-prova B25-50-01 e (b) corpo-de-prova B25-50-02.



a)



b)

Figura D.03 – (a) corpo-de-prova B25-75-01 e (b) corpo-de-prova B25-75-02.



a)



b)

Figura D.04 – (a) corpo-de-prova B25-100-01 e (b) corpo-de-prova B25-100-02.



a)



b)

Figura D.05 – (a) corpo-de-prova B25-125-01 e (b) corpo-de-prova B25-125-02.



a)



b)

Figura D.06 – (a) corpo-de-prova B25-150-01 e (b) corpo-de-prova B25-150-02.

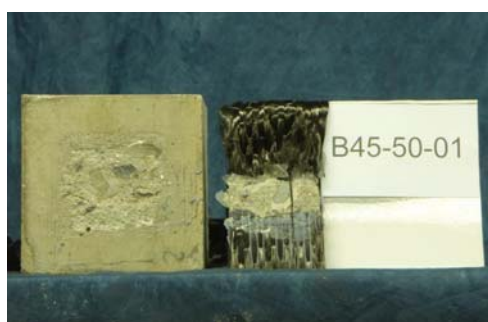


a)



b)

Figura D.07 – (a) corpo-de-prova B45-25-01 e (b) corpo-de-prova B45-25-02.

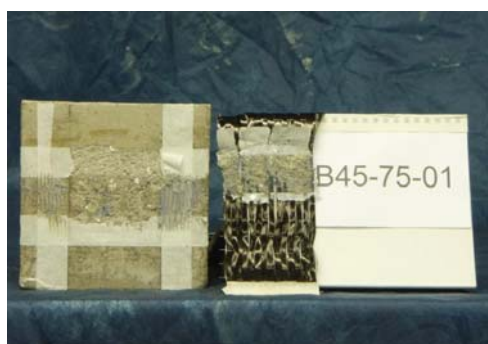


a)



b)

Figura D.08 – (a) corpo-de-prova B45-50-01 e (b) corpo-de-prova B45-50-02.



a)



b)

Figura D.09 – (a) corpo-de-prova B45-75-01 e (b) corpo-de-prova B45-75-02.



a)



b)

Figura D.10 – (a) corpo-de-prova B45-100-01 e (b) corpo-de-prova B45-100-02.



a)



b)

Figura D.11 – (a) corpo-de-prova B45-125-01 e (b) corpo-de-prova B45-125-02.



a)



b)

Figura D.12 – (a) corpo-de-prova B45-150-01 e (b) corpo-de-prova B45-150-02.



a)



b)

Figura D.13 – (a) corpo-de-prova B65-25-01 e (b) corpo-de-prova B65-25-02.



a)



b)

Figura D.14 – (a) corpo-de-prova B65-50-01 e (b) corpo-de-prova B65-50-02.



a)

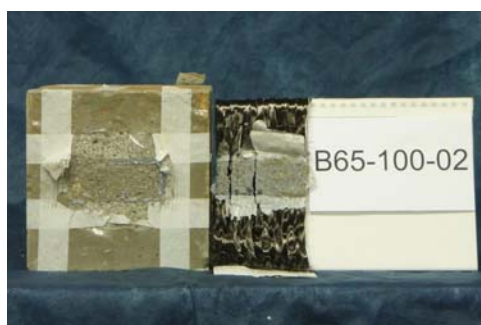


b)

Figura D.15 – (a) corpo-de-prova B65-75-01 e (b) corpo-de-prova B65-75-02.



a)



b)

Figura D.16 – (a) corpo-de-prova B65-100-01 e (b) corpo-de-prova B65-100-02.



a)



b)

Figura D.17 – (a) corpo-de-prova B65-125-01 e (b) corpo-de-prova B65-125-02.



a)



b)

Figura D.18 – (a) corpo-de-prova B65-150-01 e (b) corpo-de-prova B65-150-02.

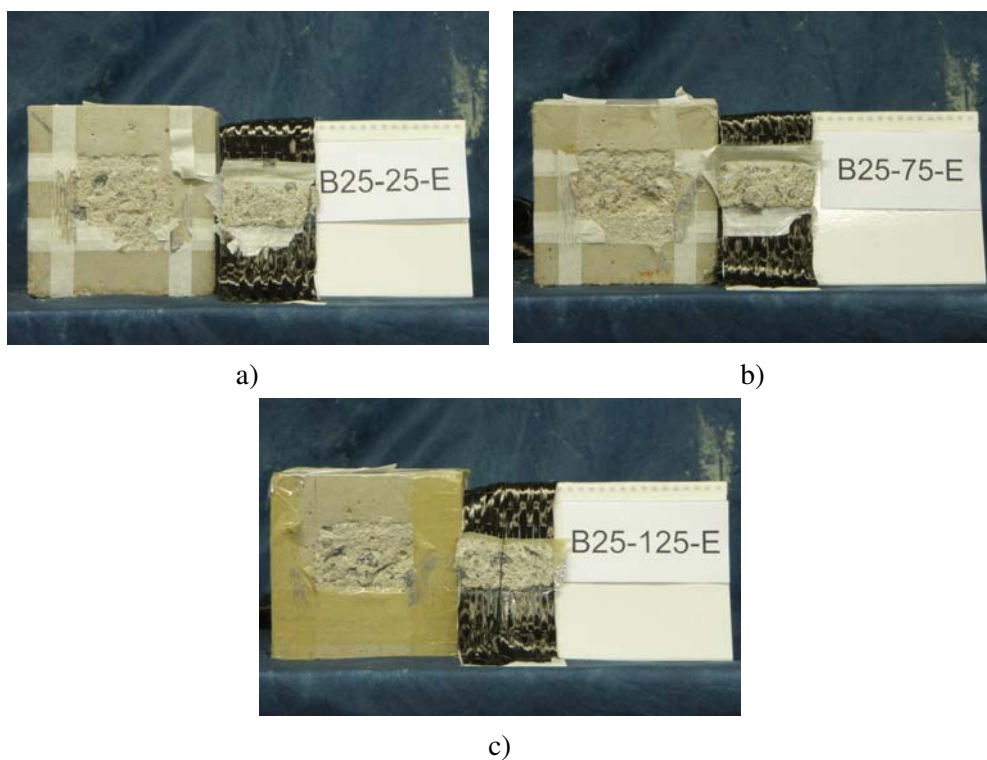


Figura D.19 – (a) corpo-de-prova B25-25-E, (b) corpo-de-prova B25-750-E e (c) corpo-de-prova B25-125-E.

Ensaio Estáticos

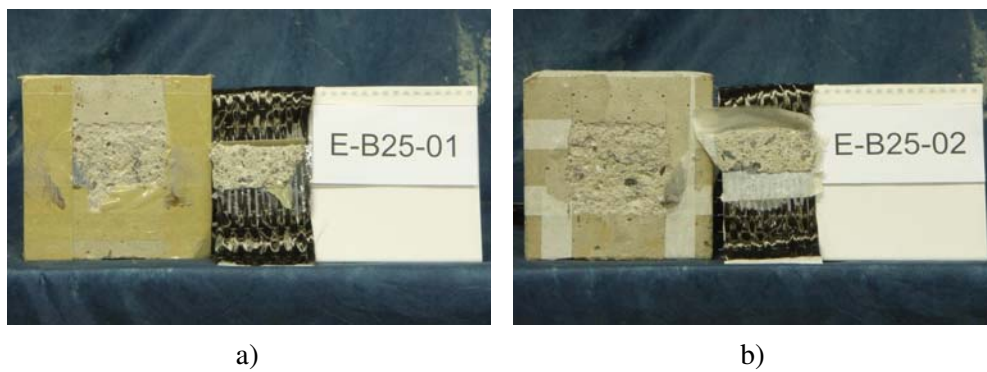


Figura D.20 – (a) corpo-de-prova B25-0-01 (b) corpo-de-prova B25-0-02.



a)



b)

Figura D.21 – (a) corpo-de-prova B45-0-01 (b) corpo-de-prova B45-0-02.



a)



b)

Figura D.22 – (a) corpo-de-prova B65-0-01 (b) corpo-de-prova B65-0-02.