

239407

# ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ELEMENTO DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDO A ESFORÇOS SIMULTÂNEOS DE FLEXÃO, CISCALHAMENTO E TORÇÃO

Cristina Haguenaer Naegeli  
Eduardo C. S. Thomaz

## SUMÁRIO

São apresentados e analisados os resultados experimentais obtidos através do ensaio de uma viga de concreto armado, bi-apoiada, submetida a esforços combinados de flexão, cortante e torção.

*Cristina Haguenaer Naegeli, Engenheira Civil pela UERJ, Mestre em Estruturas pela PUC-RJ, Professora do Departamento Acadêmico de Construção Civil do CEFET-PR.*

*Eduardo C. S. Thomaz, Engenheiro Civil pela Escola Nacional de Engenharia, Professor dos Departamentos de Estruturas da UERJ e UFRJ.*

## 1 - INTRODUÇÃO

MORSCH [3] desenvolveu, já a partir de 1904, estudos experimentais em elementos de concreto armado sujeitos à torção simples; mais tarde, outros pesquisadores, como LEONHARDT [5, 6], THÜRLIMANN e LAMPERT [4], dedicaram-se ao estudo experimental de elementos de concreto armado sujeitos a esforços combinados. Estes estudos serviram como base para o desenvolvimento das teorias de dimensionamento e para a elaboração de diversas normas de concreto armado.

Uma vez que a ocorrência de torção simples em elementos de concreto armado não é freqüente, procurou-se, com o trabalho aqui apresentado, ilustrar o comportamento de elementos sujeitos a esforços combinados de torção, força cortante e momento fletor.

## 2 - DESCRIÇÃO DO ENSAIO

### 2.1 - GEOMETRIA DA VIGA

A geometria da viga ensaiada e o esquema de aplicação do carregamento podem ser vistos nas figuras 1 e 2.

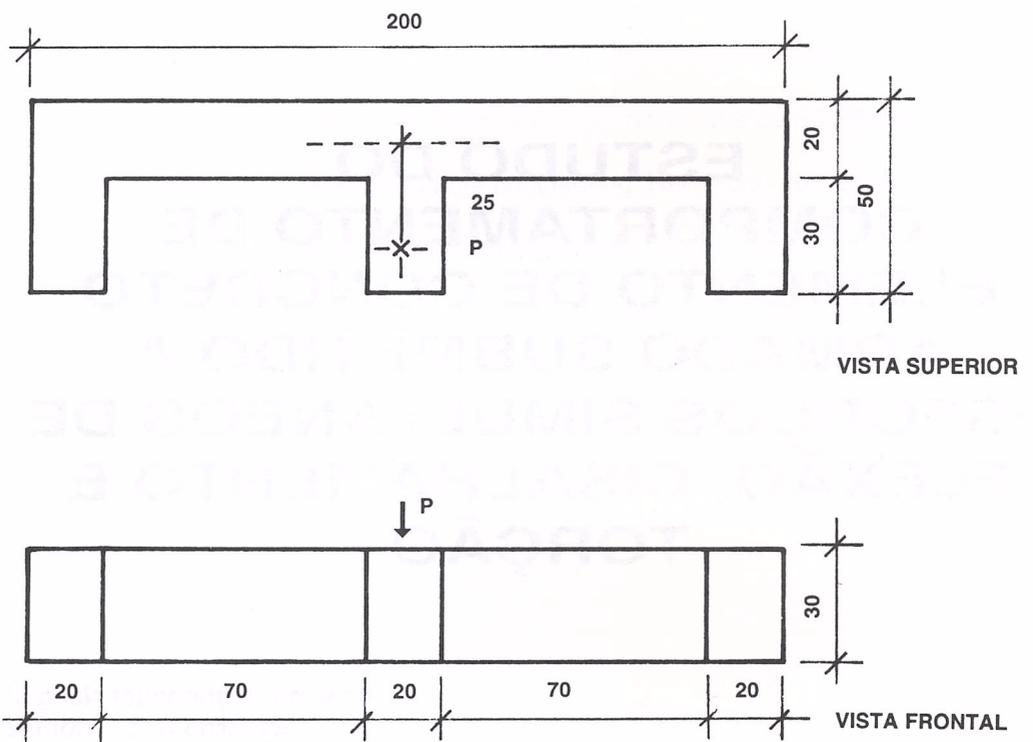


Figura 1: Geometria da viga ensaiada e esquema de aplicação do carregamento.

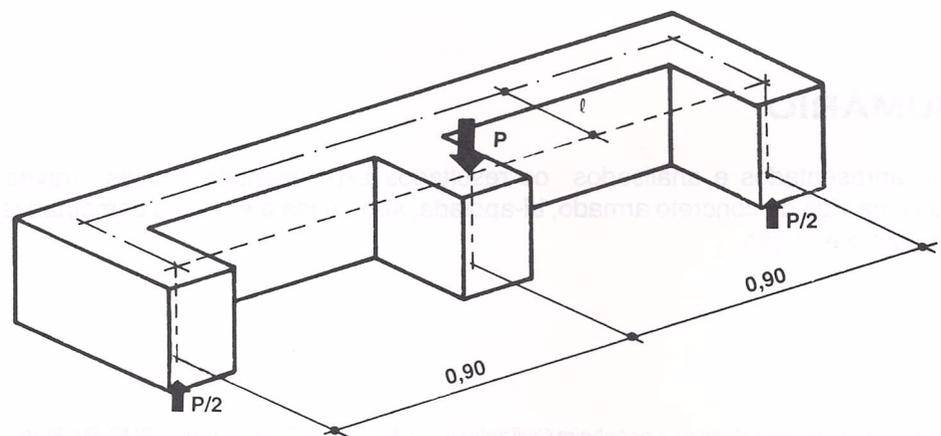


Figura 2: Vista geral da viga ensaiada.

## 2.2 - ARMAÇÃO ADOTADA

O dimensionamento das vigas foi realizado segundo as recomendações das normas brasileiras.

Foram considerados os seguintes valores de cálculo: carga de serviço = 40 kN,  $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$  e  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ . Esses valores resultaram na armadura apresentada nas figuras 3 e 4 e no quadro 1.

A figura 5 apresenta a armadura já montada e posicionada na forma para a concretagem.

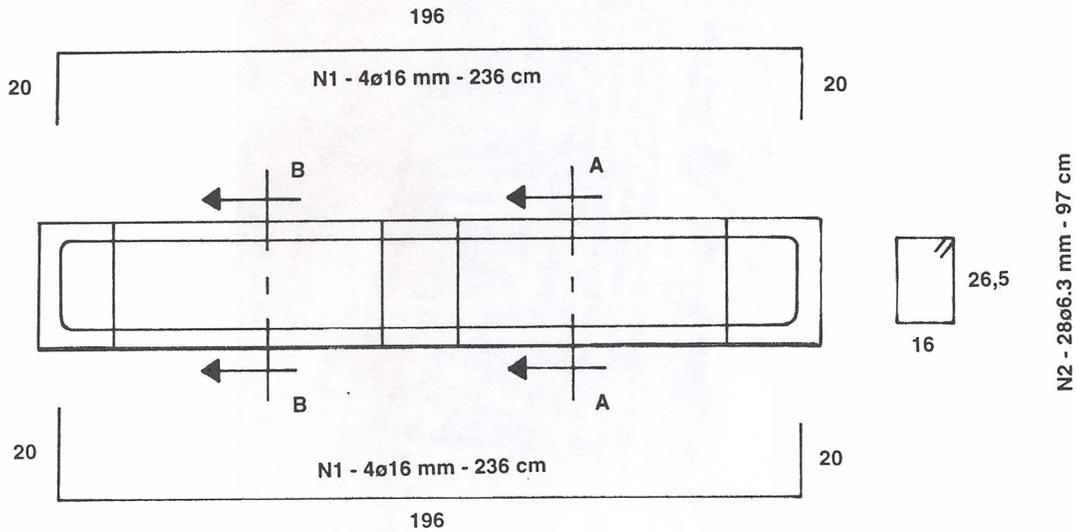


Figura 3: Armadura adotada no corpo principal da viga.

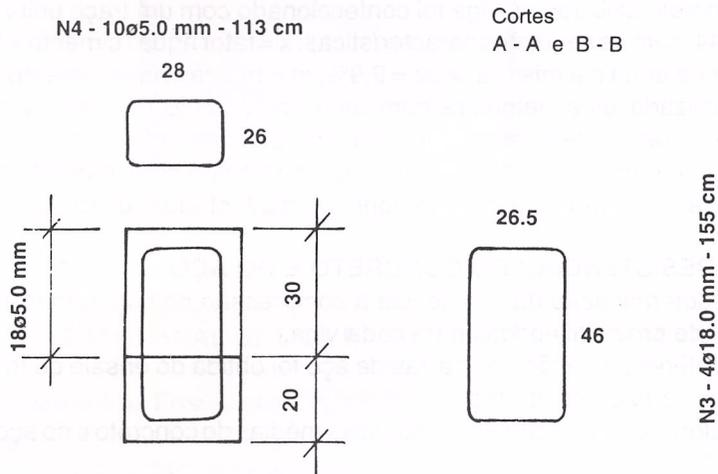


Figura 4: Armadura adotada nos consolos.

N	Ø	FORMA	Comprimento (cm)	Quantidade
1	16.0		236	8
2	6.3		97	20
3	10.0		155	8
4	5.0		113	20

Quadro 1: Resumo da armadura adotada na viga

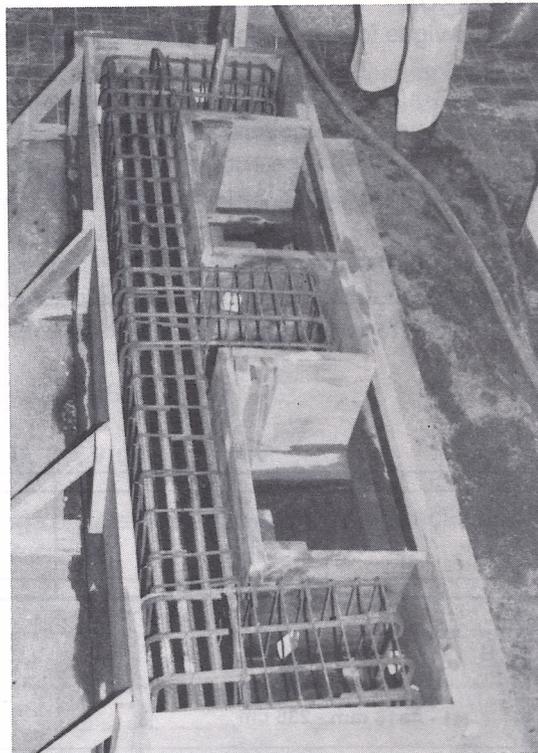


Figura 5: Preparação da viga para a concretagem.

### 2.3 - CONCRETO

O concreto utilizado na viga foi confeccionado com um traço unitário em peso igual a 1 : 2,62 : 3,44, com as seguintes características:  $x$  = fator água / cimento = 0,70;  $A\%$  = relação entre o teor de água e a mistura seca = 9,9%;  $m$  = relação entre cimento e agregado = 6,06.

Foi utilizada uma betoneira com uma capacidade de mistura de 50 litros; foram necessárias 6 betonadas para a concretagem total da peça.

O concreto foi adensado com vibrador de imersão com mangote de diâmetro de 1" e apresentou abatimento do tronco de cone (slump test) de 5,0 cm.

### 2.4 - RESISTÊNCIAS DO CONCRETO E DO AÇO

Para determinação da resistência à compressão do concreto foram confeccionados três corpos de prova cilíndricos para cada viga.

A resistência à tração das barras de aço foi obtida do ensaio de tração realizado com amostras de cada bitola utilizada.

Os valores obtidos para as resistências médias do concreto e do aço são apresentados no quadro 2.

Concreto $f_c$ (MPa)	Aço - $f_y$ (MPa)				Aço - $f_{su}$ (MPa)			
	$\varnothing 4.2$	$\varnothing 6.3$	$\varnothing 10.0$	$\varnothing 16.0$	$\varnothing 4.2$	$\varnothing 6.3$	$\varnothing 10.0$	$\varnothing 16.0$
34,6	709,0	783,8	536,1	544,9	833,3	845,4	778,6	882,6

Quadro 2: Resistências médias do concreto e do aço para a viga ensaiada.

### 2.5 - PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

A viga foi solicitada por carregamento vertical, aplicado no consolo central, em incrementos constantes, até a ruptura.

Após cada incremento de carga foi marcado sobre a superfície das peças o desenvolvimento das fissuras.

As figuras 6 e 7 apresentam detalhes da montagem da viga para o ensaio.

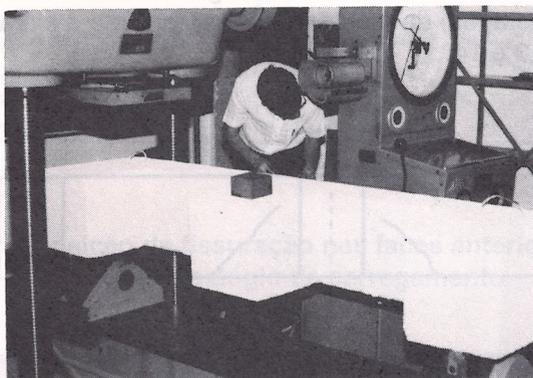


Figura 6: Detalhe da viga posicionada para o ensaio.

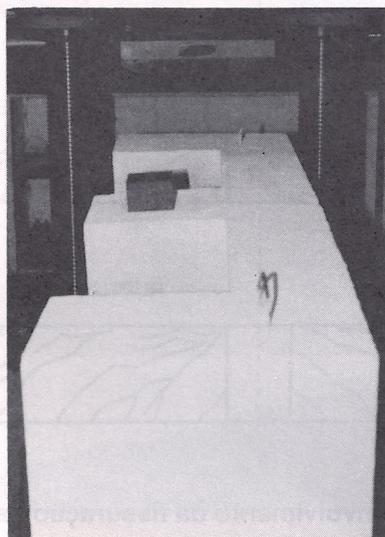


Figura 7: Detalhe da viga posicionada para o ensaio.

### 3 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

#### 3.1 - DESENVOLVIMENTO DA FISSURAÇÃO E RUPTURA

As figuras 8 e 9 apresentam o desenvolvimento da fissuração nas faces anterior e posterior da viga ensaiada, para diferentes estágios de carregamento.

As primeiras fissuras observadas surgiram para um carregamento de 74 kN.

A fissuração apresentou aspectos bastante distintos nas duas faces opostas, anterior e posterior: na face anterior as fissuras convergem para o ponto de aplicação do carregamento, enquanto que na face posterior elas se afastam deste ponto. Além disso, a face anterior apresentou a fissuração mais desenvolvida do que a face posterior, para um mesmo estágio de carregamento. Este fato ocorre porque, na face anterior, os efeitos da torção se superpõem aos efeitos do esforço cortante e do momento fletor, enquanto que na face oposta estes efeitos, por terem sentidos contrários se subtraem.

A figura 10 apresenta superposição da fissuração nas faces anterior e posterior, para o último estágio de carregamento.

As figuras 11 e 12 apresentam a fissuração da viga, com detalhe de fissuração na face superior. Nessas figuras pode-se observar claramente a fissuração em forma de "hélice" que surge em decorrência dos esforços de torção.

A figura 13 apresenta o aspecto da fissuração, na face anterior da viga, no instante da ruptura para um carregamento de 155 kN.

A figura 14 apresenta um detalhe da fissuração surgida na face posterior da viga, junto aos apoios, para um carregamento próximo à ruptura.

Através da análise da fissuração da peça ensaiada, pode-se concluir que a ruptura da peça ocorreu por torção, acentuada pelo escorregamento da armadura longitudinal, devido à insuficiência de ancoragem da mesma. Este mecanismo é claramente identificado nos detalhes das figuras 13 e 14.

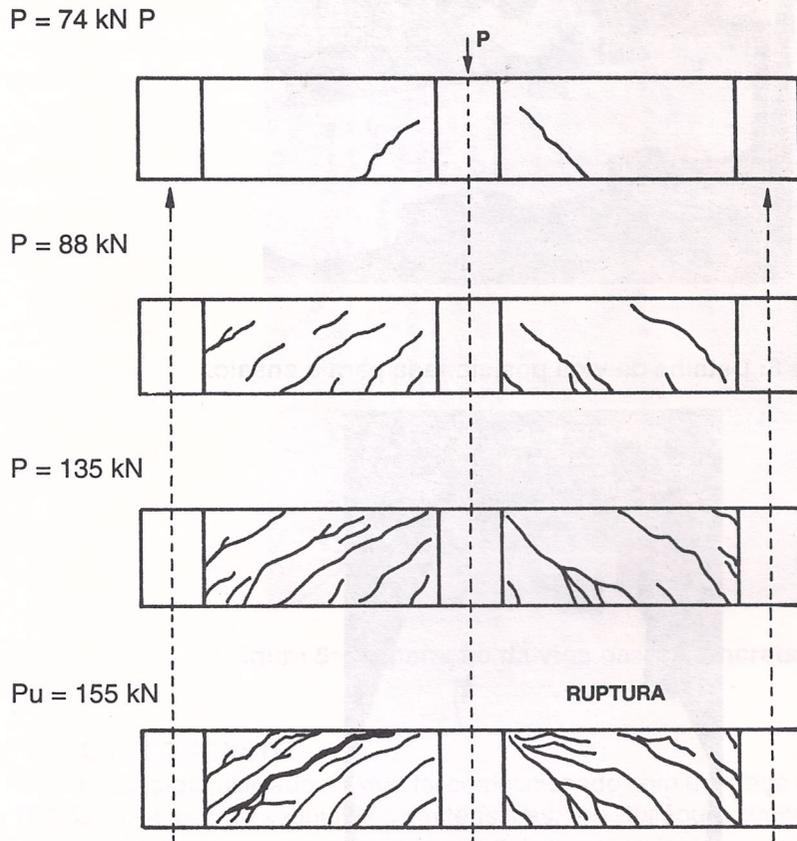


Figura 8: Desenvolvimento da fissuração na face anterior.

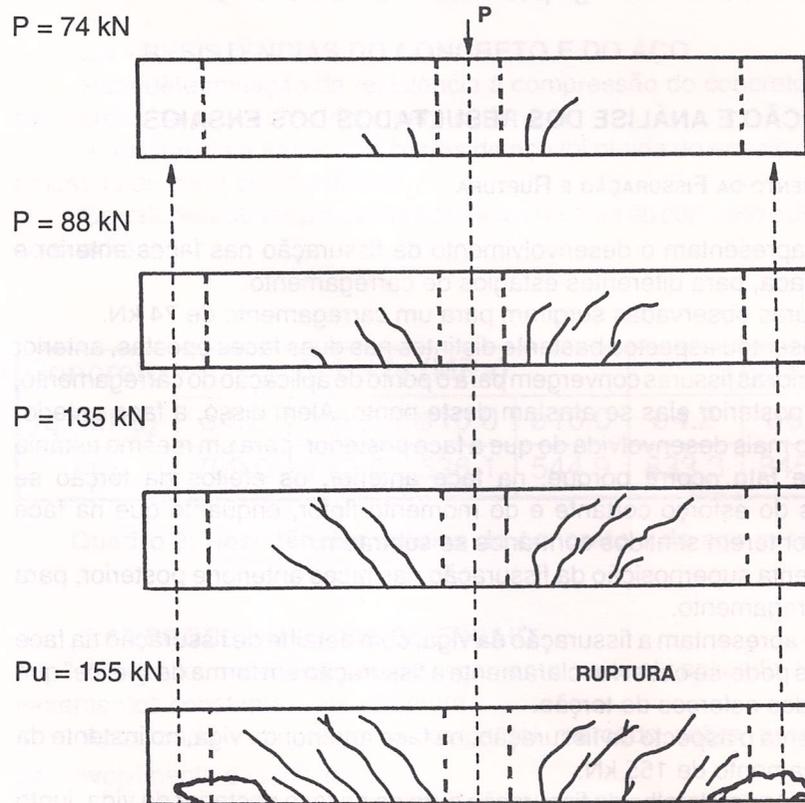
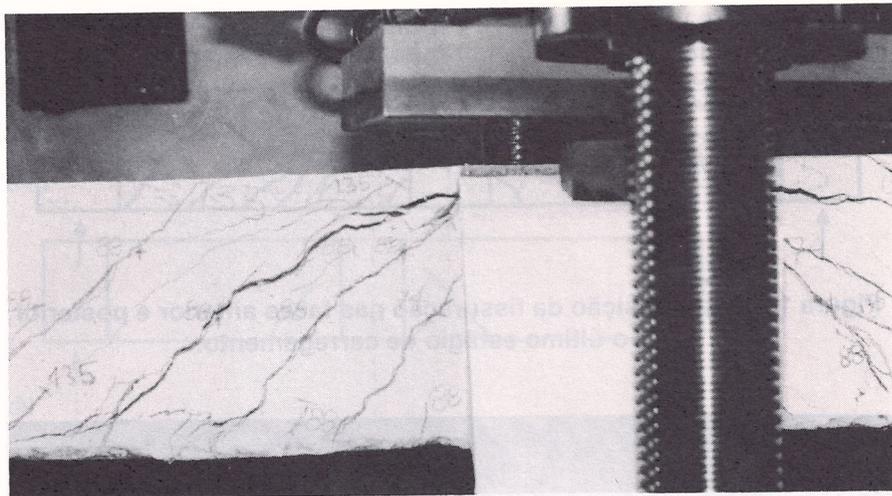


Figura 9: Desenvolvimento da fissuração na face posterior.





**Figura 13: Aspecto da fissuração na face anterior da viga no instante da ruptura ( $P_u = 155\text{kN}$ ).**



**Figura 14: Detalhe da fissuração junto aos apoios, para um carregamento próximo à carga de ruptura.**

#### 4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - NBR 6118, "Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Armado", Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1978.
- [2] - CEB-FIP, "Model Code For Concrete Structures", Comitê Euro-Internacional du Béton, 1990.
- [3] - MORSCH, E., "Der Eisenbetonbau - Seine Theorie und Anwendung", Konrad Wittwer, Stuttgart, vol. 1 e 2, 1923 a 1935.
- [4] - LAMPERT, P., "Torsion und Biegung von Stahlbetonbalken", Jornal da Construção Suíça, vol. 5, pp. 85-95, 1970.
- [5] - LEONHARDT, F., "Torsionsversuche", DAFStb, Relatório de Pesquisa, 1973.
- [6] - ACI, "Torsion of Structural Concrete", SP-18, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1968.
- [7] - THOMAZ, E. C. S., "Fissuração", Revista Estrutura nº 93, dezembro 1980.
- [8] - THOMAZ, E. C. S., "Fissuração - Casos Reais", 30ª Reunião Anual do IBRACON, Rio de Janeiro, agosto, 1988.
- [9] - LEONHARDT, F. e Mönnig, E., "Construções em Concreto", vol. 1 a 4, ed. Interciência, 1977.