



Christiana Mauricio Niskier

**Ferramenta gráfico - interativa para o
projeto de vigas de edifícios em concreto
armado**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Área de
Concentração: Estruturas.

Orientadores: Marta de Souza Lima Velasco
Luiz Fernando C. R. Martha

Rio de Janeiro
Setembro de 2004



Christiana Mauricio Niskier

**Ferramenta gráfico - interativa para o
projeto de vigas de edifícios em concreto
armado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Profa. Marta de Souza Lima Velasco

Presidente / Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Luiz Fernando C. R. Martha

Co-Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Profa. Cláudia R. Eboli

UFRJ

Prof. Tulio N. Bittencourt

EPUSP

Prof. Giuseppe B. Guimarães

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial

do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de Setembro de 2004.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e dos orientadores.

Christiana Mauricio Niskier

Graduou-se em Engenharia Civil, ênfase em Estruturas, pela PUC-Rio – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 1996. Desenvolveu seu trabalho de pesquisa com ênfase em concreto armado.

Ficha catalográfica

Niskier, Christiana Mauricio

Ferramenta gráfico – interativa para o projeto de vigas de edifícios em concreto armado / Christiana Mauricio Niskier ; orientadores: Marta de Souza Lima Velasco, Luiz Fernando C. R. Martha. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Civil 2004.

138 f. : il. ; 29,7 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia civil – Teses. 2. Concreto armado. 3. Ferramenta gráfica. 4. Vigas. 5. Projeto estrutural. I. Velasco, Marta de Souza Lima. II. Martha, Luiz Fernando Campos Ramos. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

À professora e orientadora Marta de Souza Lima Velasco, pelos relevantes conhecimentos transmitidos e pelo convívio e amizade desenvolvida ao longo deste trabalho.

Ao co-orientador Luiz Fernando Martha, pelos conhecimentos transmitidos na área de estruturas e pela paciência, amizade e apoio durante o curso.

Aos professores que participaram da banca examinadora.

À minha família pelo incentivo durante toda a minha vida, em especial pela minha mãe e pelo meu pai, por sempre estar ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu noivo e companheiro, Carlos Eduardo Mansur pelo incentivo, carinho e compreensão imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Aos colegas Paola, Anderson, Alexandre e Renato pelo incentivo à conclusão deste trabalho e por compreenderem a minha ausência e isolamento quando na redação final desta dissertação.

Em especial aos amigos e também colegas Marcela Torno Lopes, Marcélia, Marcos Arruda e Fernando Ramires que auxiliaram e motivaram o desenvolvimento deste trabalho.

À secretária Ana Roxo, pelo apoio e atenção ao longo do curso.

À CAPES e a PUC-Rio pelo apoio financeiro.

A Deus, por permitir tudo isso.

Resumo

Niskier, Christiana Mauricio; Velasco, Marta de Souza Lima; Martha, Luiz Fernando C. R. **Ferramenta Gráfico-Interativa para o Projeto de Vigas de Edifícios em Concreto Armado**. Rio de Janeiro, 2004. 138p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O presente trabalho visa ao desenvolvimento de uma ferramenta gráfica interativa para a modelagem e dimensionamento de vigas de edifícios de concreto armado seguindo as prescrições da nova norma brasileira NBR 6118, 2003. Como base, utilizou-se o programa FTOOL, que se destina ao ensino do comportamento estrutural de pórticos planos. O método de dimensionamento utilizado para as seções de concreto submetidas à flexão é o de Ferreira da Silva Jr., relativo às zonas de sollicitação. Para que esta nova ferramenta fosse incorporada ao programa FTOOL, este teve que sofrer algumas modificações, tais como a definição do material concreto armado, com os diversos tipos e propriedades para o concreto e para o aço; e a definição de seções transversais típicas de vigas de concreto armado (retangular, T, L e I), incluindo posicionamento da armadura e cobrimento. O resultado que o programa desenvolvido oferece são dois diagramas: um deles contendo as armaduras longitudinais superior e inferior, calculadas para cada par de valores de momento fletor e esforço normal; e outro de armadura transversal, calculada para cada valor de força cortante. Além dos dois diagramas de armadura, ainda existem dois modos de resultado da análise de dimensionamento: armadura necessária e armadura adotada.

Palavras-chave

Concreto Armado, Ferramenta Gráfica, Vigas, Projeto Estrutural.

Abstract

Niskier, Christiana Mauricio; Velasco, Marta de Souza Lima; Martha, Luiz Fernando C. R. (Advisors). **Interactive Graphic Tool for the Design of Reinforced Concrete Beams**. Rio de Janeiro, 2004. 138p. MSc. Dissertation – Civil Engineering Department, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The present work describes the development of an interactive graphics tool for modeling and design reinforced concrete building beams, following the new Brazilian code NBR 6118, 2003. The graphics tool is based on the FTOOL software, which is an educational tool for two-dimensional frame structural behavior. The design method used for reinforced concrete sections submitted to flexural loading is the one of Ferreira da Silva Jr., in relation to loading zones. In order to incorporate this new tool into FTOOL, some modifications were made, such as the definition of the reinforced concrete material, with several types and properties for concrete and steel; and the definition of typical cross sections properties of reinforced concrete beams (rectangle, T-shape, L-shape and I-shape), including positioning of structural reinforcement and cover. As a result, the developed program offers two diagrams: one containing top and bottom longitudinal steel area, calculated for each pair of values of bending moment and axial force; and another of transversal steel area, calculated for each value of shear force. In addition to these two steel area diagrams, there are two ways for visualizing the design results: necessary and adopted reinforcement.

Key-words

Reinforced Concrete, Graphic Tool, Beams, Structure Design.

Sumário

Lista de Figuras	10
Lista de Tabelas.....	14
Lista de Símbolos.....	15
Lista de Abreviaturas.....	23
1 Introdução	24
1.1 Objetivos	24
1.2 Revisão Bibliográfica.....	25
1.3 Descrição Global / Escopo	26
2 Dimensionamento de Vigas de Edifícios de Concreto Armado	27
2.1 Introdução	27
2.2 Hipóteses Básicas.....	28
2.3 Domínios de Deformação	30
2.4 Parâmetros Adimensionais	33
2.4.1 Seção Retangular.....	33
2.4.2 Seção Retangular Vazada	36
2.5 Equações de Compatibilidade	39
2.6 Limites entre Domínios.....	42
2.7 Resultante de Compressão do Concreto.....	43
2.7.1 Resultante de Compressão do Concreto para Seção Retangular.....	45
2.7.2 Resultante de Compressão do Concreto para Seção Retangular Vazada	46
2.8 Estado Limite Último (ELU).....	50
2.9 Flexão Composta Reta – Dimensionamento com Armadura em Duas Bordas ..	51
2.9.1 Zonas de Solicitação	52
2.9.2 Determinação de β_x	53
2.9.3 Equações de Equilíbrio	54
2.9.3.1 Equações de Equilíbrio para Zona A	55
2.9.3.2 Equações de Equilíbrio para Zona B	56

2.9.3.3 Equações de Equilíbrio para Zona C	57
2.9.3.4 Equações de Equilíbrio para Zona D	58
2.9.3.5 Equações de Equilíbrio para Zona E	59
2.9.3.6 Equações de Equilíbrio para Zona O	60
2.9.4 Limites entre as Zonas	61
2.9.5 Determinação da Zona de Solicitação	62
2.9.6 Valores Limites para Armaduras Longitudinais de Vigas	63
2.9.7 Metodologia de Cálculo	64
2.10 Dimensionamento à Força Cortante	65
2.10.1 Cálculo da Resistência	65
2.10.2 Verificação da Compressão Diagonal do Concreto	66
2.10.3 Cálculo da Armadura Transversal	66
2.10.4 Dimensionamento da Armadura Transversal	68
2.10.5 Armadura Mínima	69
2.10.6 Espaçamento entre os Estribos	69
2.11 Decalagem e Ancoragem da Armadura Longitudinal	70
3 Implementação Computacional	75
3.1 Introdução	75
3.2 Estrutura de Dados	76
3.3 Implementação de Materiais e Seções Transversais em POO	82
3.3.1 Material Concreto Armado	83
3.3.2 Seções Transversais de Vigas de Concreto Armado	87
3.3.3 Verificações Realizadas para o Dimensionamento e Prescrições da NBR 6118, 2003	91
3.4 Modificações na Interface Gráfica	93
3.5 Algoritmo de Decalagem e Ancoragem da Armadura Longitudinal	98
4 Exemplos de Validação e Análise de Resultados	103
4.1 Exemplo 1	103
4.2 Exemplo 2	109
4.3 Exemplo 3	115
4.4 Exemplo 4	122

5 Conclusão	129
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros	130
Referências Bibliográficas.....	131
Anexo A.....	133

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Diagrama tensão-deformação para o concreto, adaptada da ABNT NBR 6118, 2003 [3].	29
Figura 2.2 – Diagrama tensão-deformação para o aço, adaptada da ABNT NBR 6118, 2003 [3].	29
Figura 2.3 – Domínios de deformações, adaptada da ABNT NBR 6118, 2003 [3].	31
Figura 2.4 – Regiões de deformação, adaptada de SANTOS [4].	32
Figura 2.5 – Armadura em duas bordas – seção, deformações, tensões e resultantes, adaptada de SANTOS [4].	33
Figura 2.6 – Parâmetros reduzidos adimensionais para o dimensionamento.	33
Figura 2.7 – Parâmetros relacionados a seção retangular vazada, adaptado de SANTOS [4].	37
Figura 2.8 – Parâmetros reduzidos adimensionais de uma seção retangular vazada.	37
Figura 2.9 – Deformações na região I, adaptada de SANTOS [4].	40
Figura 2.10 – Deformações na região II, adaptada de SANTOS [4].	41
Figura 2.11 – Deformações na região III, adaptada de SANTOS [4].	42
Figura 2.12 – Resultante R_{cc} e sua posição, adaptada de SANTOS [4].	43
Figura 2.13 – Encurtamento mínimo ε_{c0} , adaptada de SANTOS [6].	45
Figura 2.14 – Encurtamento ε_c^* , adaptada de SANTOS [4].	48
Figura 2.15 – Dimensionamento, adaptada de SANTOS [5].	51
Figura 2.16 – Zonas de sollicitação, adaptada de SANTOS [5].	52
Figura 2.17 – Relação entre os domínios de deformação e as zonas de sollicitação, adaptada de BARBOSA [7].	54
Figura 2.18 – Esforços sollicitantes e resistentes – zona A.	55
Figura 2.19 – Esforços sollicitantes e resistentes – zona B.	56
Figura 2.20 – Esforços sollicitantes e resistentes – zona C.	57
Figura 2.21 – Esforços sollicitantes e resistentes – zona D.	58
Figura 2.22 – Esforços sollicitantes e resistentes – zona E.	59
Figura 2.23 – Esforços sollicitantes e resistentes – zona O.	60
Figura 2.24 – Limite entre as zonas de sollicitação, adaptada de KAEFER [1].	61
Figura 2.25 – Trechos para pesquisa da zona, adaptada de SANTOS [4].	63
Figura 2.26 – Diagrama de armadura longitudinal deslocado de a_l .	70
Figura 2.27 – Posições de boa e de má aderência, adaptada de ARAÚJO [10].	72
Figura 2.28 – Cobertura da envoltória de momentos fletores, adaptada da ABNT NBR 6118, 2003 [3].	74
Figura 3.1 – Exemplo de uma subdivisão do \mathfrak{R}^2 , adaptada de FERRAZ [12].	76

Figura 3.2 – As nove relações de adjacência entre vértices, arestas e faces, adaptada de FERRAZ [12].	78
Figura 3.3 – Relações de adjacência explicitamente armazenadas em uma estrutura baseada em arestas, adaptada de FERRAZ [12].	79
Figura 3.4 – Estrutura de dados HED, adaptada de FERRAZ [12].	80
Figura 3.5 – Usos de uma aresta, adaptada de FERRAZ [12].	80
Figura 3.6 – Estrutura de dados de atributos do FTOOL, adaptada de KAEFER [1].	81
Figura 3.7 – Classes relativa ao material.	84
Figura 3.8 – Interface gráfica para seleção de um novo material.	84
Figura 3.9 – Parâmetros do material concreto armado.	85
Figura 3.10 – Tipos de aço.	86
Figura 3.11 – Classes relativas às seções transversais.	87
Figura 3.12 – Interface gráfica para seleção de seções transversais.	88
Figura 3.13 – Parâmetros das seções transversais referentes ao dimensionamento de vigas de concreto armado.	89
Figura 3.14 – Diâmetros da armadura longitudinal inferior (ϕ_{l1}) e superior (ϕ_{l2}).	89
Figura 3.15 – Diâmetros da armadura transversal (ϕ_t) e espaçamentos.	90
Figura 3.16 – Espaçamento mínimo das barras, adaptada de ARAÚJO [15].	92
Figura 3.17 – Posição do centróide da armadura.	93
Figura 3.18 – Janela de configuração de unidades e formatos de valores numéricos.	94
Figura 3.19 – Botão para acessar o módulo de dimensionamento de concreto armado.	95
Figura 3.20 – Submenu responsável pelo dimensionamento de concreto armado.	95
Figura 3.21 – Resultados ao longo da barra, de acordo com o passo (<i>Step</i>) estipulado.	98
Figura 3.22 – Resultados de cada passo (<i>Step</i>) mostrados no diagrama.	98
Figura 3.23 – Exemplo de uma cadeia de arestas.	99
Figura 3.24 – Sentido desfavorável do diagrama de armadura.	100
Figura 3.25 – Esquema do algoritmo de detalhamento da armadura longitudinal adotada em um vão.	101
Figura 4.1 – Viga V_1 – corte AA do Exemplo 1.	103
Figura 4.2 – Geometria e carregamento da viga V_1 do Exemplo 1.	104
Figura 4.3 – Largura de mesa colaborante.	104
Figura 4.4 – Seção transversal da viga V_1 do Exemplo 1 (em <i>cm</i>).	105
Figura 4.5 – Diagramas de esforços solicitantes do Exemplo 1.	106
Figura 4.6 – Diagramas de armadura necessária do Exemplo 1.	107
Figura 4.7 – Valor da armadura transversal necessária a uma distância de $d/2$ da face dos apoios (Exemplo 1).	107
Figura 4.8 – Diagramas de armadura adotada do Exemplo 1.	108
Figura 4.9 – Diagrama de armadura longitudinal adotada com barras grupadas de cinco em cinco para a armadura superior e quatro em quatro para a inferior.	108

Figura 4.10 – Esquema estrutural de um pórtico plano do edifício de dois andares que contém a viga V_{S1} (Exemplo 2).	109
Figura 4.11 – Diagramas de esforços solicitantes do pórtico plano do Exemplo 2.	110
Figura 4.12 – Diagramas de armadura necessária do pórtico plano do Exemplo 2.....	111
Figura 4.13 – Diagramas de armadura adotada do pórtico plano do Exemplo 2.	112
Figura 4.14 – Esquema estrutural e carregamento da viga V_{S1} , isolada do pórtico plano do Exemplo 2.....	113
Figura 4.15 – Diagramas de esforços solicitantes da viga isolada do Exemplo 2.....	113
Figura 4.16 – Diagramas de armadura necessária da viga isolada do Exemplo 2.	114
Figura 4.17 – Diagramas de armadura adotada da viga isolada do Exemplo 2	114
Figura 4.18 – Pórtico plano representando os dois últimos andares de um edifício (Exemplo 3).	115
Figura 4.19 – Seções transversais das vigas do Exemplo 3.	115
Figura 4.20 – Diagramas de esforços solicitantes para o pórtico do Exemplo 3.....	116
Figura 4.21 – Diagramas de armadura necessária para o pórtico do Exemplo 3.	117
Figura 4.22 – Seções transversais em L do Exemplo 3.	117
Figura 4.23 – Diagramas de armadura necessária para seção em L do Exemplo 3.....	118
Figura 4.24 – Diagramas de armadura adotada para o pórtico do Exemplo 3.	119
Figura 4.25 – Modelo para viga isolada do Exemplo 3.....	120
Figura 4.26 – Diagramas de esforços solicitantes para a viga do Exemplo 3.....	120
Figura 4.27 – Diagramas de armadura necessária para a viga do Exemplo 3.....	120
Figura 4.28 – Diagrama de armadura longitudinal necessária para seção L do Exemplo 3.	121
Figura 4.29 – Diagramas de armadura adotada do Exemplo 3.	121
Figura 4.30 – Esquema estrutural do pórtico da viga V_3 do Exemplo 4.	122
Figura 4.31 – Seção transversal da viga V_3 do Exemplo 4.....	122
Figura 4.32 – Diagramas de esforços solicitantes do Exemplo 4.....	123
Figura 4.33 – Diagramas de armadura necessária do Exemplo 4.....	124
Figura 4.34 – Diagramas de armadura adotada do Exemplo 4.....	125
Figura 4.35 – Modelos para viga: apoiado e engastado (Exemplo 4).	125
Figura 4.36 – Diagramas de esforços solicitantes para as vigas apoiada e engastada do Exemplo 4.....	126
Figura 4.37 – Diagramas de armadura necessária do Exemplo 4.....	127
Figura 4.38 – Diagrama de armadura longitudinal adotada do Exemplo 4.	127
Figura 4.39 – Diagrama de armadura transversal adotada do Exemplo 4.	128
Figura A.1 – Planta de forma do teto tipo do edifício.....	133
Figura A.2 – Carregamento da viga V_2	135
Figura A.3 – Carregamento da viga V_6	136
Figura A.4 – Carregamento da viga V_5	136
Figura A.5 – Carregamento da viga V_4	137

Figura A.6 – Carregamento da viga V_3 .	137
Figura A.7 – Carregamento da viga V_7 .	137
Figura A.8 – Carregamento da viga V_1 .	138

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas	64
Tabela 2.2 – Valores para o coeficiente η_1	72
Tabela 2.3 – Valores para o coeficiente η_2	72
Tabela 2.4 – Valores para o coeficiente η_3	73
Tabela 3.1 – Coeficientes de minoração.....	85
Tabela 3.2 – Cobrimento nominal	91
Tabela A.1 – Altura das lajes.	134
Tabela A.2 – Dimensões das vigas.....	134
Tabela A.3 – Dimensões dos pilares.	134
Tabela A.4 – Cargas nas lajes (kN / m^2).....	134
Tabela A.5 – Cargas das lajes nas vigas.....	135
Tabela A.6 – Cargas na viga V_2 (kN / m).	135
Tabela A.7 – Cargas na viga V_6 (kN / m).	135
Tabela A.8 – Cargas na viga V_5 (kN / m).	136
Tabela A.9 – Cargas na viga V_4 (kN / m).	136
Tabela A.10 – Cargas na viga V_3 (kN / m).	137
Tabela A.11 – Cargas na viga V_7 (kN / m).	137
Tabela A.12 – Cargas na viga V_1 (kN / m).	138

Lista de Símbolos

Romanos

A	Área da seção
a	Distância de R_{cc} à borda mais próxima da seção
a	Distância entre os pontos de momento fletor nulo
$A_{adotada}$	Área de aço adotada no projeto
A_c	Área da seção transversal
$A_{\phi,l}$	Área da seção da barra escolhida para armadura longitudinal
$A_{\phi,t}$	Área da seção da barra escolhida para armadura transversal
a_l	Comprimento de decalagem
A_{nec}	Área de aço exigida pelo cálculo (área necessária)
A_r	Área da seção retangular cheia de mesmo contorno externo ou mesmo perímetro
a_r	Distância de $R_{cc,r}$ à borda superior
A_{s1}	Área da armadura longitudinal inferior
A_{s2}	Área da armadura longitudinal superior
$A_{s,min}$	Armadura mínima necessária para o dimensionamento à flexão
A_{spm}	Armadura transversal necessária por unidade de comprimento
A_{sw}	Área da seção transversal dos estribos
$A_{sw,min}$	Armadura mínima da seção transversal dos estribos
A_v	Área do retângulo vazio
a_v	Distância de $R_{cc,v}$ à borda superior do retângulo vazio
b	Largura da seção no nível y
b_1	Largura da aba a partir da face da alma fictícia, caso exista uma viga consecutiva
b_2	Distância entre as faces das almas fictícias consecutivas
b_3	Largura da aba a partir da face da alma fictícia, caso não exista uma viga consecutiva

b_4	Distância entre a face da alma fictícia e a extremidade da laje
b_w	Largura da alma da seção
b_f	Largura colaborante da laje
c	Distância entre duas fibras quaisquer
c	Cobrimento nominal de uma determinada barra
c_1	Distância do centro geométrico da seção à borda inferior
c_2	Distância do centro geométrico da seção à borda superior
d	Altura útil da seção
$d\varepsilon'_c$	Derivada da deformação numa fibra genérica
d_i	Distância de uma fibra genérica (onde está localizado o centro geométrico de um grupo de barras de aço) ao bordo superior
d'	Distância do centro geométrico da armadura à borda mais próxima da seção transversal de concreto
d'_1	Distância do centro geométrico da armadura A_{s1} à borda inferior
d'_2	Distância do centro geométrico da armadura A_{s2} à borda superior
d_{\max}	Diâmetro máximo do agregado
dy	Espessura da área elementar no nível y
e_0	Espaço livre horizontal para a passagem da agulha do vibrador
e_1	Distância do centro geométrico da seção à camada inferior de barras
e_2	Distância do centro geométrico da seção à camada superior de barras
e_h	Espaçamento mínimo das barras nas camadas horizontais
e_v	Espaçamento mínimo das barras no plano vertical
E_c	Módulo de deformação longitudinal tangente do concreto
E_{cs}	Módulo de deformação longitudinal secante do concreto
E_s	Módulo de elasticidade do aço
f_{bd}	Valor último da tensão de aderência de cálculo
f_{cd}	Resistência à compressão de cálculo do concreto
f_{ck}	Resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias
f_{ctd}	Resistência de cálculo do concreto à tração direta

$f_{ctk,inf}$	Resistência característica inferior à tração do concreto
f_{ctm}	Resistência média do concreto à tração direta
f_{yd}	Resistência de cálculo do aço à tração (valor da tensão de escoamento)
f_{yk}	Resistência característica do aço (tensão de escoamento característica)
f_{ywk}	Resistência característica ao escoamento do aço da armadura transversal
f_{ywd}	Tensão na armadura transversal passiva
h	Altura da seção
h_1	Espessura da mesa superior da seção retangular vazada
h_2	Espessura da mesa inferior da seção retangular vazada
I	Momento de inércia em relação ao centro geométrico da seção
$I_{p,inf}$	Momento de inércia do lance inferior do pilar
$I_{p,sup}$	Momento de inércia do lance superior do pilar
k	Constante relacionada ao tipo de barra
K_{mola}	Rigidez da mola
$K_{p,inf}$	Rigidez do lance inferior do pilar extremo
$K_{p,sup}$	Rigidez do lance superior do pilar extremo
l	Comprimento do vão efetivo da viga
l_b	Comprimento básico de ancoragem
l_e	Comprimento de flambagem do lance inferior ou superior do pilar
M	Momento fletor
M_d	Momento fletor de cálculo
M_o	Valor do momento fletor que anula a tensão normal na borda tracionada
$M_{Sd,max}$	Momento fletor máximo solicitante no trecho considerado
n_b	Número de barras
N	Força normal
N_d	Força normal de cálculo (esforço solicitante de cálculo)
N_{Rd}	Esforço resistente de cálculo

Q	Força cortante
r	Raio de curvatura da seção
r_r	Raio de curvatura da seção retangular cheia
r_v	Raio de curvatura do retângulo vazio
R_{cc}	Resultante de tensões de compressão no concreto
$R_{cc,r}$	Resultante de compressão no concreto, na seção retangular cheia
$R_{cc,v}$	Resultante de compressão no concreto, no retângulo vazio (que haveria se ele não fosse vazio)
R_{s1}	Resultante de tensões na armadura inferior
R_{s2}	Resultante de tensões na armadura superior
S_2	Momento estático da área A_c em relação à borda superior
s	Espaçamento entre elementos da armadura transversal A_{sw}
s_{max}	Espaçamento máximo, medido ao longo do eixo da viga, entre elementos da armadura transversal A_{sw}
V_c	Parcela de força cortante absorvida por mecanismos complementares ao da treliça
V_{c0}	Valor de referência para V_c quando a inclinação da biela de compressão é igual a 45°
V_{Rd2}	Força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto
V_{Rd3}	Força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína por tração diagonal
V_{Sd}	Força cortante solicitante de cálculo, na seção
$V_{sd,max}$	Força cortante de cálculo máxima no trecho considerado
V_{sw}	Parcela da força cortante resistida pela armadura transversal
x	Profundidade da linha neutra
x	Posição para cada valor de armadura
x_{al+lb}	Posição para cada valor de armadura depois de considerar a decalagem e a ancoragem
y	Distância de uma fibra genérica à borda superior
\bar{y}	Distância do centróide à borda inferior da seção
y_0	Distância do centróide da armadura até a camada mais afastada da linha neutra

Gregos

α	Ângulo de inclinação da armadura transversal em relação ao eixo longitudinal do elemento estrutural
α	Coeficiente de dilatação térmica
α_1	Relação entre a tensão de cálculo na armadura inferior e a tensão de cálculo no concreto
α_2	Relação entre a tensão de cálculo na armadura superior e a tensão de cálculo no concreto
α_{v2}	Fator de efetividade do concreto
β	Distância do centro geométrico da armadura tracionada à borda mais afastada da seção, reduzida adimensional
β_{e1}	Distância do centro geométrico da seção à borda inferior, reduzida adimensional
β_{e2}	Distância do centro geométrico da seção à borda superior, reduzida adimensional
β_{e1}	Distância do centro geométrico da seção à camada inferior de barras, reduzida adimensional
β_{e2}	Distância do centro geométrico da seção à camada superior de barras, reduzida adimensional
β_i	Distância de uma camada i de barras à borda superior, reduzida adimensional
β_x	Profundidade relativa da linha neutra, reduzida adimensional
$\beta_{x,lim}$	β_x correspondente ao limite entre os domínios 3 e 4
$\beta_{x,lim1-2}$	β_x correspondente ao limite entre os domínios 1 e 2
$\beta_{x,lim2-3}$	β_x correspondente ao limite entre os domínios 2 e 3
$\beta_{x,lim3-4}$	β_x correspondente ao limite entre os domínios 3 e 4
$\beta_{x,lim4a-5}$	β_x correspondente ao limite entre os domínios 4a e 5
$\beta_{x,ref}$	β_x correspondente ao limite entre os domínios 2 e 3
δ	Distância do centro geométrico da armadura à borda mais próxima da seção transversal de concreto, reduzida adimensional
δ_1	Distância do centro geométrico da armadura inferior à borda inferior, reduzida adimensional

δ_2	Distância do centro geométrico da armadura superior à borda superior, reduzida adimensional
δ_{h1}	Espessura da mesa superior da seção retangular vazada, reduzida adimensional
δ_{h2}	Espessura da mesa inferior da seção retangular vazada, reduzida adimensional
δ_w	Largura da alma da seção, reduzida adimensional
ε_c	Deformação específica do concreto
ε_{c0}	Encurtamento mínimo de uma fibra da seção
ε_{c1}	Deformação específica do concreto na borda inferior
ε_{cu}	Deformação específica de ruptura do concreto comprimido
ε'_c	Deformação numa fibra genérica, a uma distância y da borda superior
ε_c^*	Encurtamento na borda superior do retângulo vazio
ε_s	Deformação específica do aço
ε_{sd}	Deformação específica de cálculo do aço
ε_{sdi}	Deformação específica de uma fibra genérica (onde está localizado o centro geométrico de um grupo de barras de aço)
ε_x	Deformação longitudinal específica de uma fibra distante y da linha neutra (LN)
ε_{yd}	Deformação específica de cálculo de escoamento do aço
ϕ	Diâmetro da barra
ϕ_l	Bitola da armadura longitudinal
ϕ_{l1}	Bitola da armadura longitudinal inferior
ϕ_{l2}	Bitola da armadura longitudinal superior
ϕ_t	Diâmetro das barras dos estribos
γ	Peso específico do material
γ_{alv}	Peso específico da alvenaria
γ_c	Coefficiente de minoração da resistência do concreto
γ_{ench}	Peso específico do enchimento
γ_f	Coefficiente de majoração das cargas

γ_s	Coeficiente de minoração da resistência do aço
η	Força normal resistente do concreto (resultante de compressão do concreto) reduzida adimensional
η_1	Coeficiente para cálculo da tensão de aderência da armadura passiva
η_2	Coeficiente para cálculo da tensão de aderência da armadura passiva
η_3	Coeficiente para cálculo da tensão de aderência da armadura passiva
η_{lim}	Valor de η para $\beta_x = \beta_{x,lim}$
η'	Momento fletor resistente do concreto, em relação à borda mais encurtada, reduzido adimensional
η'_{lim}	Valor de η' para $\beta_x = \beta_{x,lim}$
η'_r	Momento fletor resistente do concreto, na seção retangular cheia, reduzido adimensional
η'_v	Momento fletor resistente do concreto, no retângulo vazio, reduzido adimensional
η_r	Resultante de compressão no concreto, na seção retangular cheia, reduzida adimensional
η_v	Resultante de compressão no concreto, no retângulo vazio, reduzida adimensional
μ	Momento fletor reduzido adimensional
μ_{AB}	Valores de μ relativos ao limite entre as zonas A e B
μ_{BC}	Valores de μ relativos ao limite entre as zonas B e C
μ_{CD}	Valores de μ relativos ao limite entre as zonas C e D
μ_{DE}	Valores de μ relativos ao limite entre as zonas D e E
μ_O	Momento fletor no limite da zona O, reduzido adimensional
μ_B	Valor do momento fletor reduzido no ponto B
v	Força normal reduzida adimensional
v_A	Abcissa do ponto A (valor da força normal no ponto A)
v_B	Abcissa do ponto B (valor da força normal no ponto B)
v_O	Força normal no limite da zona O, reduzida adimensional
θ	Curvatura adimensional

θ^*	Curvatura adimensional no retângulo vazio
ρ_1	Taxa geométrica da armadura inferior
ρ_2	Taxa geométrica da armadura superior
$\rho_{sw,min}$	Taxa geométrica mínima dos estribos
σ_c	Tensão à compressão no concreto
σ_{cd}	Tensão de cálculo do concreto
σ'_c	Tensão de compressão em uma fibra genérica, à uma distância y da borda superior
σ_s	Tensão normal de tração na armadura
σ_{sd}	Tensão normal solicitante de cálculo
σ_{sd1}	Valor de cálculo da tensão no aço da armadura inferior
σ_{sd2}	Valor de cálculo da tensão no aço da armadura superior
ω_1	Resultante de tensões na armadura inferior, reduzida adimensional
ω_2	resultante de tensões na armadura superior, reduzida adimensional
ω_{min}	Taxa mecânica mínima de armadura longitudinal de flexão para vigas

Lista de Abreviaturas

PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DEC	Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio
Tecgraf	Tecnologia de Tecnologia em Computação Gráfica
IUP	Sistema Portátil de Interface com o Usuário
LED	Linguagem de Especificação de Diálogos
CD	Canvas Draw
HED	Half-Edge Data Structure
POO	Programação orientada a objeto
FTOOL	Two-dimensional Frame Analysis Tool
FTOOLRC	Two-dimensional Frame Analysis Tool – Reinforced Concrete
ELU	Estado Limite Último
LN	Linha Neutra