

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Bianca Salomão Contardo Silvino Pereira**

**Estudo do Reforço Externo à Força Cortante em Vigas de  
Concreto Armado Utilizando Compósitos de Fibras de  
Carbono**

**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  
Ricardo Amorim Einsfeld

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2005.



**Bianca Salomão Contardo Silvino Pereira**

**Estudo do Reforço Externo à Força Cortante em Vigas de  
Concreto Armado Utilizando Compósitos de Fibras de Carbono**

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. Ricardo Amorim Einsfeld**  
Co-orientador  
IPRJ/UERJ

**Prof. Cláudia Ribeiro Eboli**  
UFRJ

**Prof. Emil de Souza Sánchez Filho**  
UFJF

**Prof. Raul Rosas e Silva**  
Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**  
Coordenador Setorial  
do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 25 de fevereiro de 2005.

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

### **Bianca Salomão Contardo Silvino Pereira**

Graduou-se em Engenharia Civil na PUC-RIO (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro) em 2002. Na PUC-Rio, desenvolveu projetos de Iniciação Científica na área de estruturas.

#### Ficha Catalográfica

Pereira, Bianca Salomão Contardo Silvino

Estudo do reforço externo à força cortante em vigas de concreto armado utilizando compósitos de fibras de carbono / Bianca Salomão Contardo Silvino Pereira ; orientadores: Marta de Souza Lima Velasco, Ricardo Amorim Einsfeld. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Civil, 2005.

v. 154f.:il; 29,7cm

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

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia civil – Teses. 2. Concreto armado. 3. Fibras de carbono. 4. Reforço estrutural. I. Velasco, Marta de Souza Lima. II. Einsfeld, Ricardo Amorim. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

## Agradecimentos

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por iluminar e guiar todas as etapas de minha vida e pela graça de realizar este trabalho.

À minha orientadora professora Marta de Souza Lima Velasco, pelos seus ensinamentos, disponibilidade, amizade e incentivo.

Ao meu co-orientador professor Ricardo Amorim Einsfeld, pela ajuda e estímulo.

Aos professores que contribuíram para a minha formação e decisão profissional, em especial ao professor Raul Rosas e Silva.

Ao meu noivo César, pelo amor, paciência e incentivo constante.

Aos meus pais, por tanto carinho, dedicação e confiança, que sempre recebi e tanto contribuíram para a minha formação.

Aos meus irmãos, pela amizade e grande amor que nos faz tão próximos.

Aos meus amigos, pelo companheirismo. Especialmente à Marcela Tôrno de Azevedo Lopes pela disponibilidade e colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES e à FAPERJ, pelo suporte financeiro.

## Resumo

Pereira, Bianca Salomão Contardo Silvino; Velasco, Marta de Souza Lima; Einsfeld, Ricardo Amorim. **Estudo do Reforço Externo à Força Cortante em Vigas de Concreto Armado Utilizando Compósitos de Fibras de Carbono**. Rio de Janeiro, 2005. 154p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A crescente demanda por reforços em estruturas de concreto motivou a elaboração deste trabalho. Este estudo consiste na comparação entre modelos para o cálculo da parcela da força cortante resistida pelo reforço externo e na implementação computacional de um procedimento numérico para o dimensionamento da área de reforço à força cortante utilizando a NBR 6118, o modelo da treliça generalizada e a teoria do campo de compressão. Os objetivos deste estudo são: fornecer um melhor conhecimento dos materiais utilizados, promover um melhor entendimento dos parâmetros atuantes na interação do concreto com os materiais compósitos e sistematizar o dimensionamento para obtenção da área necessária de reforço com compósitos de fibras de carbono. A análise dos modelos de cálculo da resistência à força cortante e do dimensionamento da área de reforço foi feita através da comparação dos resultados teóricos com resultados experimentais encontrados na literatura. O modelo para o cálculo da parcela da força cortante resistida pelo reforço externo publicado por Chen e Teng em 2003 foi utilizado na implementação computacional por ser o modelo que apresentou melhor desempenho na comparação. As comparações entre os resultados teóricos do dimensionamento e os resultados experimentais da literatura indicaram a necessidade de se avançar nos estudos para a elaboração de um modelo apropriado para o dimensionamento da área de reforço à força cortante com compósito de fibras de carbono.

## Palavras-chave

Concreto armado; fibras de carbono; reforço estrutural.

## Abstract

Pereira, Bianca Salomão Contardo Silvino; Velasco, Marta de Souza Lima; Einsfeld, Ricardo Amorim (Advisors). **A Study of External Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Carbon Fiber Composites**. Rio de Janeiro, 2005. 154p. MSc. Dissertation - Civil Engineering Department, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The increasing demand for reinforcement of concrete structures using carbon fiber composites was the main motivation of this work. This study consists of the comparison of different models that compute the contribution of the external reinforcement to the shear capacity of the beams, and of the implementation of a numerical procedure for the shear design of strengthened beams using the Brazilian code NBR 6118, the generalized truss model and the compression field theory. The objectives of this study are to supply a better knowledge of the materials used in the strengthening, to promote a better understanding of the parameters that act in the interaction between the concrete and the composite, and to systematize the design in order to obtain the carbon fiber composite cross-section area necessary for the reinforcement. The analysis of the shear reinforcement design models for determining the cross-section area of the carbon fiber composite was developed comparing the analytical results with the experimental results found in literature. The Chen and Teng model, published in 2003, for computing the contribution of the external reinforcement to the shear capacity of the beams, was used in the computational implementation due to the fact that it presented the best performance. Comparing the analytical results obtained by the theoretical model with the experimental results found in literature, the investigations showed the necessity of further studies regarding the implementation of a more appropriate model for the design of the shear reinforcement, and for a more precise computation of the cross-section area of the carbon fiber composite reinforcement.

## Keywords

Reinforced concrete; structural strengthening; carbon fiber composites.

## Sumário

1	Introdução	23
1.1	Considerações Gerais	23
1.2	Objetivos	23
1.3	Organização do Trabalho	24
2	Revisão bibliográfica	26
2.1.	Introdução	26
2.2.	Compósitos com Fibras de Carbono	26
2.2.1.	Características	26
2.2.2.	Utilização de Compósitos na Engenharia Estrutural	30
2.3.	Resistência ao Esforço Cortante em Vigas de Concreto Armado	45
2.3.1.	Introdução	45
2.3.2.	Treliça Generalizada	47
2.3.3.	Teoria do Campo de Compressão	49
2.3.4.	NBR 6118/2003	55
2.4.	Reforço ao Esforço Cortante com Compósito de Fibra de Carbono	58
2.4.1.	Considerações Gerais	58
2.4.2.	Modelos de Cálculo da Parcela da Força Cortante Resistida pelo Reforço Externo em Vigas de Concreto	63
2.4.2.1.	Modelo de Chen e Teng (2003 a, b)	64
2.4.2.2.	Modelo de Triantafillou e Antonopoulos (2000)	72
2.4.2.3.	Modelo de Khalifa et al. (1998)	76
2.4.2.4.	Modelo de Khalifa e Nanni (2000)	80
2.4.2.5.	ACI Committee 440 (2001)	82
2.4.2.6.	<i>fib</i> Bulletin 14 (2001)	85
2.4.2.7.	ISIS-M05-00 (2001)	86
2.4.3.	Estudos Experimentais Sobre Vigas com Reforço Externo de CFRP	88
2.4.3.1.	Khalifa e Nanni (2002)	89

2.4.3.2. Khalifa e Nanni (2000)	90
2.4.3.3. Täljsten (2003)	92
2.4.3.4. Beber (2003)	93
2.4.3.5. Diagana et al. (2003)	97
2.4.3.6. Chaallal et al. (1998)	99
3 Apresentação e Análise dos Modelos de Dimensionamento à Força Cortante	101
3.1. Considerações Iniciais	101
3.2. Modelo para o Cálculo da Inclinação da Biela de Compressão em Viga com Reforço Externo	101
3.3. Análise Comparativa entre Resultados dos Modelos Teóricos e Resultados Experimentais	106
3.4. Algoritmo de Cálculo da Área de Reforço à Força Cortante	111
3.4.1. Algoritmo de Cálculo da Área de Reforço à Força Cortante com Ângulo Variável de Inclinação da Biela de Compressão	114
3.4.2. Algoritmo de Cálculo da Área de Reforço à Força Cortante com Ângulo Constante de Inclinação da Biela de Compressão	122
3.5. Análise Comparativa entre Resultados do Modelo Teórico de Dimensionamento e Resultados Experimentais	127
4 Conclusões e Sugestões	135
4.1. Conclusões	135
4.2. Sugestões	137
5 Referências Bibliográficas	138
Anexo	143

## Lista de Figuras

Figura 2.1 - Diagrama de tensão x deformação específica de fibras e metais (Adaptada de Beber 2003).	28
Figura 2.2 - Aplicação de FRP em vigas	31
Figura 2.3 - Aplicação de FRP em pilares	32
Figura 2.4 - Aplicação de FRP em paredes	32
Figura 2.5 - Aplicação de FRP em tubos e túneis	33
Figura 2.6 - Aplicação de FRP em silos e tanques	33
Figura 2.7 - Aplicação de FRP em chaminés	34
Figura 2.8 - Aplicação de FRP em lajes	34
Figura 2.9 - A situação dos pilares com trincas e fissuras verticais é evidenciada neste exemplo	35
Figura 2.10 - Modificação da seção variável dos pilares, com utilização de forma e micro-concreto	35
Figura 2.11 - Aplicação do rolo tira bolhas sobre o tecido já aderido no substrato pela aplicação do epóxi estruturante. Foram utilizadas cerca de seis camadas, em média, nos diversos níveis da altura dos pilares	36
Figura 2.12 - Os diversos níveis de aplicação do reforço com fibra de carbono	36
Figura 2.13 - Situação típica de um pilar já reforçado com fibra de carbono, esperando o tempo de cura de sete dias para remoção do antigo reforço metálico existente	36
Figura 2.14 - A remoção do reforço da estrutura metálica em andamento	36
Figura 2.15 - O pilar no processo de acabamento	37
Figura 2.16 - Detalhamento da viga reforçada	37
Figura 2.17 - Recolocação da viga na posição original	38

Figura 2.18 - Vista da aplicação da fibra de carbono	39
Figura 2.19 - Vista da fibra de carbono	38
Figura 2.20 - Vista do serviço concluído	38
Figura 2.21 - Imprimação do tecido de fibra de carbono MBrace CF 130 com resina MBrace Saturant sobre bancada, instantes antes da instalação	39
Figura 2.22 - Colocação do tecido de fibra de carbono sobre substrato já regularizado com MBrace Putty	40
Figura 2.23 - Aplicação do rolo metálico frisado para remoção de possíveis bolhas de ar	40
Figura 2.24 - Aspecto do reforço antes do revestimento final	40
Figura 2.25 - A laje após o reforço com fibra de carbono	41
Figura 2.26 - O reforço no fundo da viga V11a	41
Figura 2.27 - A prova de carga atingindo o último estágio de carregamento	42
Figura 2.28 - A 2ª camada sendo aplicada na região inferior da viga V11a	42
Figura 2.29 - Edifício de apartamentos luxuosos	43
Figura 2.30 - Ponte sob via férrea	45
Figura 2.31 - Ponte sobre o rio Ouse	45
Figura 2.32 - Modelo de treliça (adaptado de Collins e Mitchell, 1987).	46
Figura 2.33 - Trecho de viga sujeito à força cortante (adaptado de Araújo 2003)	47
Figura 2.34 - Biela de compressão (adaptado de Araújo 2003)	48
Figura 2.35 - Trecho de viga	49
Figura 2.36 - Análise simplificada para viga (adaptada de Buchaim 1998)	50
Figura 2.37 - Elemento fissurado de viga de concreto armado	50
Figura 2.38 - Biela comprimida	51
Figura 2.39 - Biela comprimida	51

Figura 2.40 - Círculo de Mohr das deformações específicas	52
Figura 2.41 - Deformações específicas na viga	52
Figura 2.42 - Relação tensão x deformação específica para o concreto. (adaptado de Collins e Mitchell, 1987)	54
Figura 2.43 - Relação tensão x deformação específica para o aço	54
Figura 2.44 - Aumento da seção transversal (adaptado de Täljsten, 2003)	59
Figura 2.45 - Barras de aço na seção transversal (adaptado de Täljsten, 2003)	59
Figura 2.46 - Concreto projetado com fibras de aço (adaptado de Täljsten, 2003)	59
Figura 2.47 - Placa de aço colada externamente (adaptado de Täljsten, 2003)	60
Figura 2.48 - Protensão externa com cabo de aço (adaptado de Täljsten, 2003)	60
Figura 2.49 - Reforço contínuo ou em faixas (adaptado de fib, 2001)	61
Figura 2.50 - Figura 2.50 – Configurações de reforço	61
Figura 2.51 - Tipos de ancoragem (adaptado de fib, 2001)	62
Figura 2.52 - Modos de ruptura ao cortante. (adaptado de Täljsten, 2003)	63
Figura 2.53 - Modos de ruptura ao cortante da viga reforçada (adaptado de Täljsten, 2003)	63
Figura 2.54 - Viga reforçada (adaptada de Chen e Teng, 2003a)	65
Figura 2.55 - Detalhe do reforço contínuo (adaptada de Chen e Teng, 2003a)	65
Figura 2.56 - Gráficos Força cortante x abertura da fissura (adaptada de Teng et al., 2001)	68
Figura 2.57 - Testes realizados por Chen e Teng. (adaptada de Chen e Teng, 2003a)	69
Figura 2.58 - Posições eficazes ou ineficazes das faixas de FRP (adaptada de Chen e Teng, 2003a)	71

Figura 2.59 - Gráfico carga x deslocamento (adaptada de Triantafillou e Antonopoulos, 2000)	73
Figura 2.60 - Gráfico de deformação específica efetiva em função de $E_{ff}\rho_{ff}f_{cm}^{2/3}$ para descolamento do reforço (adaptada de Triantafillou e Antonopoulos, 2000)	74
Figura 2.61 - Gráfico da relação $\varepsilon_{f,e}/\varepsilon_{fu}$ em função de $E_{ff}\rho_{ff}f_{cm}^{2/3}$ para ruptura do reforço (adaptada de Triantafillou e Antonopoulos, 2000)	74
Figura 2.62 - Contribuição do CFRP para a resistência à força cortante para dois valores de resistência à compressão do concreto e dois esquemas de ancoragem (adaptada de Triantafillou e Antonopoulos, 2000)	75
Figura 2.63 - Gráfico da relação $\varepsilon_{f,e}/\varepsilon_{fu}$ em função da rigidez axial (adaptada de Khalifa et al., 1998)	77
Figura 2.64 - Largura efetiva do reforço (adaptada de Concrete Society, 2000)	80
Figura 2.65 - Esquema especial de ancoragem (adaptado de Khalifa e Nanni, 2000)	91
Figura 3.1 – Elemento fissurado de viga de concreto armado com reforço externo de FRP	102
Figura 3.2 – Elemento fissurado de viga com reforço externo transversal decomposto	102
Figura 3.3 – Biela Comprimida	103
Figura 3.4 – Biela Comprimida	104
Figura 3.5 – Legenda dos gráficos	108
Figura 3.6 – Gráficos de $V_{f,exp}$ x $V_{f,teo}$ para o modelo de Chen e Teng (2003 a, b)	108
Figura 3.7 – Gráficos de $V_{f,exp}$ x $V_{f,teo}$ para o modelo de Chen e Teng (2003 a, b) de dimensionamento	109
Figura 3.8 – Gráficos de $V_{f,exp}$ x $V_{f,teo}$ para o modelo de Triantafillou e Antonopoulos (2000)	109
Figura 3.9 – Gráficos de $V_{f,exp}$ x $V_{f,teo}$ para o modelo de Khalifa et al. (1998)	109
Figura 3.10 – Gráficos de $V_{f,exp}$ x $V_{f,teo}$ para o modelo de Khalifa e Nanni (2000)	110

Figura 3.11 – Fluxograma de cálculo	118
Figura 3.12 – Tela do programa Maple, 1ª parte	119
Figura 3.13 – Tela do programa Maple, 2ª parte	120
Figura 3.14 – Tela do programa Maple, 3ª parte	121
Figura 3.15 – Fluxograma de cálculo	124
Figura 3.16 – Tela do programa Maple, 1ª parte	125
Figura 3.17 – Tela do programa Maple, 2ª parte	126
Figura 3.18 – Gráfico de $\theta$ em função das taxas de armadura	131
Figura 3.19 – Gráfico de $V_f$ em função de $t_f$	133
Figura 3.20 – Gráfico de $V_f$ em função de $t_f$ com limite de camadas	134

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Propriedades típicas das fibras (fib 2001)	28
Tabela 2.2 – Comparação quantitativa entre fibras (Méier, 1995)	29
Tabela 2.3 – Coeficientes de segurança para os compósitos para o modelo de Triantafillou e Antonopoulos, 2000	72
Tabela 2.4 – Fator de Redução para o CFRP dado pelo ACI 440 (2001)	83
Tabela 2.5 – Valores para os coeficientes de segurança para o compósito dados por <i>fib</i> (2001)	85
Tabela 2.6 – Características das vigas e do reforço, comuns a todas as vigas do estudo de Khalifa e Nanni (2002)	89
Tabela 2.7 – Características das vigas e do reforço, diferentes para cada viga do estudo de Khalifa e Nanni (2002)	90
Tabela 2.8 – Características das vigas e do reforço, comuns a todas as vigas do estudo de Khalifa e Nanni (2000)	91
Tabela 2.9 – Características das vigas e do reforço, diferentes para cada viga do estudo de Khalifa e Nanni (2000)	92
Tabela 2.10 – Características das vigas e do reforço, comuns a todas as vigas do estudo de Täljsten (2003)	93
Tabela 2.11 – Características das vigas e do reforço, diferentes para cada viga do estudo de Täljsten (2003)	93
Tabela 2.12 – Características comuns a todas as vigas do estudo de Beber (2003)	95
Tabela 2.13 – Características dos reforços, comuns a todas as vigas do estudo de Beber (2003)	95
Tabela 2.14 – Características das vigas e do reforço, diferentes para cada viga do estudo de Beber (2003)	95
Tabela 2.15 – Características comuns a todas as vigas do estudo de Diagana et al. (2003)	98
Tabela 2.16 – Características do reforço, comuns a todas as vigas do estudo de Diagana et al. (2003)	

do estudo de Diagana et al. (2003)	98
Tabela 2.17 – Características das vigas e do reforço, diferentes para cada viga do estudo de Diagana et al. (2003)	98
Tabela 2.18 – Características das vigas e do reforço, comuns a todas as vigas do estudo de Chaallal et al. (1998)	100
Tabela 2.18 – Características das vigas e do reforço, diferentes para cada viga do estudo de Chaallal et al. (1998)	100
Tabela 3.1 - Médias dos valores de $V_{f\ teo}/V_{f\ exp}$ e coeficientes de variação	107
Tabela 3.2 – Resultados de $A_{fpm}$ calculado com o modelo de Chen e Teng (2003 a, b) de dimensionamento e $\theta$ variável	127
Tabela 3.3 – Resultados de $A_{fpm}$ calculado com o modelo de Chen e Teng (2003 a, b) e $\theta = 45^\circ$	129
Tabela 3.4 – Resultados de $V_{sd}$	132

## Lista de Símbolos

### Abreviaturas

<i>AFRP</i>	Aramid Fibre Reinforced Polymer
<i>CFRP</i>	Carbon Fibre Reinforced Polymer
<i>FRP</i>	Fibre Reinforced Polymer
<i>GFRP</i>	Glass Fibre Reinforced Polymer

### Romanos

$a$	Distância do ponto de aplicação de uma carga concentrada ao apoio
$a_c$	Espaçamento entre as bielas de compressão
$A_c$	Área normal à força cortante
$A_f$	Área do reforço externo
$A_{f_{fp}}$	Área do reforço externo
$A_{f_v}$	Área do reforço externo transversal
$A_{f_w}$	Área do reforço externo transversal
$A_{f_{pm}}$	Área do reforço externo transversal por unidade de comprimento
$A_{f_{pm\ cont}}$	Área do reforço externo transversal contínuo por unidade de comprimento
$A_{fl}$	Área do reforço externo longitudinal
$A_s$	Área da armadura longitudinal tracionada
$A'_s$	Área da armadura longitudinal comprimida
$A_{sl}$	Área da armadura longitudinal
$A_{sw}$	Área de um estribo
$b_w$	Largura da alma da viga
$c$	Cobrimento da armadura de flexão

$C_w$	Peso do tecido
$d$	Altura útil da seção
$d_f$	Altura útil do reforço ou altura útil até a base do reforço.
$D_f$	Fator de distribuição de tensão
$D_{fD}$	Fator de distribuição de tensão para o descolamento do compósito
$D_{fR}$	Fator de distribuição de tensão para a ruptura do compósito
$d_{frp}$	Altura útil do reforço
$d_{ft}$	Altura útil até o topo do reforço
$E_f$	Módulo de elasticidade do compósito
$E_{fib}$	Módulo de elasticidade da fibra
$E_{frp}$	Módulo de elasticidade do compósito
$E_{fu}$	Módulo de elasticidade do compósito
$E_{cs}$	Módulo de elasticidade secante do concreto
$E_m$	Módulo de elasticidade da matriz
$E_s$	Módulo de elasticidade do aço
$f_c$	Resistência à compressão do concreto
$f'_c$	Resistência à compressão característica do concreto
$F_c$	Força de compressão na biela
$f_{cc}$	Resistência à compressão do concreto no corpo-de-prova cúbico
$f_{cd}$	Resistência à compressão de cálculo do concreto
$f_{ck}$	Resistência característica de compressão do concreto no corpo-de-prova cilíndrico
$f_{ctd}$	Tensão de tração no concreto de cálculo
$f_{fe}$	Tensão média no compósito no estado limite último
$f_{fu}$	Resistência última à tração do compósito
$f_f$	Resistência última à tração do compósito
$F_s$	Força de tração diagonal
$F_{sw}$	Força de tração em um estribo
$f_{yd}$	Tensão de cálculo de escoamento da armadura transversal
$f_{yw}$	Tensão de escoamento do aço da armadura transversal
$f_{ywd}$	Tensão de cálculo na armadura transversal
$f_{ywk}$	Tensão na armadura transversal
$h$	Altura da viga

$h_o$	Largura da biela comprimida na direção perpendicular à força cortante
$h_f$	Altura do compósito
$h_{fe}$	Altura efetiva do compósito
$h_w$	Altura da alma da viga
$k$	Fator de redução para a deformação específica efetiva
$k_1$	Coeficiente de modificação em função da resistência do concreto
$k_2$	Coeficiente de modificação em função do tipo de ancoragem
$L$	Comprimento da viga
$L_e$	Comprimento de ancoragem efetivo
$L_{max}$	Comprimento máximo de ancoragem
$M_o$	Momento fletor que anula a tensão normal de compressão
$M_{sd,max}$	Momento fletor máximo de cálculo
$n$	Número de estribos em 2.3.2. Número de camadas de reforço em 2.4.2.5
$n_e$	Número de extremidades do compósito em função do tipo de ancoragem
$n_f$	Razão entre os módulos de elasticidade do compósito e do concreto
$n_s$	Razão entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto
$p$	Precisão adotada para a iteração
$R$	Razão entre a deformação específica efetiva e a deformação específica última no compósito em 2.4.2.3. Fator de redução em 2.4.2.4. Fator de redução para a deformação específica última no compósito em 2.4.2.7
$s$	Espaçamento entre os estribos da armadura transversal de aço
$s_f$	Espaçamento entre faixas de compósitos
$s_{f \max}$	Espaçamento máximo entre faixas de compósitos
$s_{frp}$	Espaçamento entre faixas de compósito
$s_{max}$	Espaçamento máximo entre os estribos
$t_f$	Espessura do compósito
$T_f$	Altura da mesa
$t_{frp}$	Espessura do compósito
$v$	Tensão cisalhante média adimensional no concreto
$V$	Força cortante
$V_c$	Parcela de força cortante absorvida por mecanismos complementares ao da treliça

$V_f$	Parcela da força cortante resistida pelo reforço externo
$V_{fexp}$	Valor experimental para a parcela da força cortante de cálculo resistida pelo reforço externo
$V_{fteo}$	Valor teórico para a parcela da força cortante de cálculo resistida pelo reforço externo
$V_{fd}$	Parcela da força cortante de cálculo resistida pelo reforço externo
$V_{fib}$	Fração volumétrica da fibra
$V_{fip}$	Parcela da força cortante de cálculo resistida pelo reforço externo
$V_m$	Fração volumétrica da matriz
$V_r$	Resistência ao cortante de cálculo
$V_R$	Força cortante na ruptura
$V_{Rd2}$	Força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas do concreto
$V_{Rd3}$	Força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína por tração diagonal
$V_s$	Parcela da força cortante resistida pela armadura transversal de aço
$V_{sd}$	Força cortante solicitante de cálculo
$V_{sw}$	Parcela de força cortante resistida pela armadura transversal
$z$	Braço de alavanca
$w_f$	Largura da faixa de compósito
$w_{fe}$	Largura efetiva do compósito
$w_{fip}$	Largura da faixa de compósito

## Gregos

$\alpha$	Ângulo de inclinação dos estribos. Fator de redução para a deformação específica efetiva no compósito em 2.4.2.2 e em 2.4.2.7. Ângulo de inclinação do compósito em 2.4.2.5 e em 2.4.2.6
$\alpha_{v2}$	Fator de efetividade para o concreto
$\beta$	Ângulo de inclinação do reforço com compósito
$\varepsilon_1$	Deformação específica na direção normal à biela de compressão
$\varepsilon_2$	Deformação específica na direção da biela de compressão
$\varepsilon'_c$	Deformação específica correspondente à tensão de pico
$\varepsilon_{fe}$	Deformação específica efetiva no compósito
$\varepsilon_{f,e}$	Deformação específica efetiva no compósito
$\varepsilon_{fd,e}$	Deformação específica efetiva de cálculo no compósito
$\varepsilon_{fk,e}$	Deformação específica efetiva característica no compósito
$\varepsilon_{frpe}$	Deformação específica efetiva no compósito
$\varepsilon_{frpu}$	Deformação específica última no compósito
$\varepsilon_{fu}$	Deformação específica última no compósito
$\varepsilon_{f,u}$	Deformação específica última do compósito
$\varepsilon_{max}$	Deformação específica máxima no compósito
$\varepsilon_s$	Deformação específica no aço
$\varepsilon_x$	Deformação específica na direção horizontal
$\varepsilon_y$	Deformação específica na direção vertical
$\varepsilon_{y\ max}$	Deformação específica máxima medida no compósito
$\phi$	Fator de segurança para o compósito
$\phi_c$	Fator de segurança para o concreto
$\phi_{frp}$	Fator de segurança para o compósito
$\phi_s$	Fator de segurança para o aço
$\gamma_b$	Coefficiente de segurança para o compósito na falha por descolamento
$\gamma_c$	Coefficiente de segurança para o concreto

$\gamma_f$	Coeficiente de segurança para o compósito na falha por ruptura. Coeficiente de segurança para o compósito em 2.4.2.2 e 2.4.2.6
$\gamma_s$	Coeficiente de segurança para o aço
$\gamma_{xy}$	Deformação de distorção
$\kappa_v$	Coeficiente de redução para a aderência
$\lambda$	Comprimento máximo de ancoragem normalizado. Fator que leva em conta a baixa densidade do concreto em 2.4.2.7
$\lambda_1$	Parâmetro em função do tipo de fibra
$\lambda_2$	Parâmetro em função do tipo de fibra
$\theta$	Ângulo de inclinação das bielas de compressão
$\theta_i$	Valor inicial para o ângulo de inclinação das bielas de compressão
$\rho_f$	Taxa geométrica do compósito
$\rho_{fl}$	Taxa geométrica do compósito do reforço longitudinal
$\rho_{ftr}$	Taxa geométrica do compósito do reforço transversal
$\rho_{fv}$	Taxa geométrica do compósito do reforço transversal
$\rho_l$	Taxa geométrica de armadura longitudinal
$\rho_{sl}$	Taxa geométrica de armadura longitudinal
$\rho_{sw}$	Taxa geométrica de armadura transversal
$\sigma_c$	Tensão de compressão na biela
$\sigma_{cl}$	Tensão de compressão horizontal na biela
$\sigma_{cmax}$	Resistência máxima no concreto à compressão
$\sigma_{cv}$	Tensão de compressão vertical na biela
$\sigma_{fmax}$	Tensão máxima alcançada pelo reforço
$\sigma_s$	Tensão no aço
$\sigma_{sl}$	Tensão no aço da armadura longitudinal
$\sigma_{sw}$	Tensão de tração em um estribo
$\sigma_{fl}$	Tensão no reforço longitudinal
$\sigma_{fv}$	Tensão no reforço transversal
$\sigma_{fvdD}$	Tensão média no compósito no descolamento
$\sigma_{fvdR}$	Tensão média no compósito na ruptura
$\sigma_{fmaxD}$	Tensão máxima alcançada pelo reforço no descolamento

$\sigma_{fmax R}$  Tensão máxima alcançada pelo reforço na ruptura

$\psi$  Fator de segurança para o compósito