

MANFRED THEODOR SCHMID

# A PROTENSÃO PARCIAL DO CONCRETO



**MANFRED THEODOR SCHMID**

**A PROTENSÃO PARCIAL  
DO CONCRETO**

*A protensão parcial do concreto*  
© 2022 Manfred Theodor Schmid  
Editora Edgard Blücher Ltda.

*Publisher* Edgard Blücher  
*Editor* Eduardo Blücher  
*Coordenação editorial* Jonas Eliakim  
*Produção editorial* Bonie Santos  
*Preparação de texto* Ana Maria Fiorini  
*Diagramação* Taís do Lago  
*Revisão de texto* Bárbara Waida  
*Revisão técnica* Maria Regina Leoni Schmid Sarro  
*Capa* Leandro Cunha

*Imagem da capa* Ponte sobre o Wilde Gera, Alemanha. Ponte em concreto protendido e aço, com arco de vão de 252 m, construída em perfeita harmonia com a natureza, com protensão centrada no processo de execução por segmentos empurrados. Fotografia adaptada de Tommes, Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0.

# Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar  
04531-934 - São Paulo - SP - Brasil  
Tel.: 55 11 3078-5366  
[contato@blucher.com.br](mailto:contato@blucher.com.br)  
[www.blucher.com.br](http://www.blucher.com.br)

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.  
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,  
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem  
autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Schmid, Manfred Theodor  
A protensão parcial do concreto / Manfred Theodor Schmid ; revisão  
técnica de Maria Regina Leoni Schmid Sarro – São Paulo : Blucher, 2022.  
178 p. : il., color.

#### Bibliografia

ISBN 978-65-5506-127-7 (impresso)  
ISBN 978-65-5506-125-3 (eletrônico)

1. Engenharia civil 2. Concreto protendido 3. Resistência de materiais  
I. Título. II. Sarro, Maria Regina Leoni Schmid.

21-4746

CDD 620.1

Índice para catálogo sistemático:  
1. Engenharia civil

# CONTEÚDO

LISTA DE SIGLAS.....	11
INTRODUÇÃO.....	15
<b>1. ESTRUTURA X ARQUITETURA.....</b>	<b>17</b>
1.1 A diferença entre concreto armado e concreto protendido .....	18
1.2 Critérios de pré-dimensionamento para a concepção arquitetônica de vigas protendidas .....	26
1.2.1 Exemplos de análise estrutural/arquitetônica de vigas em concreto armado/protendido ..	26
1.2.2 Análise de proporções estruturais do Museu de Arte de São Paulo (MASP) .....	29
1.3 Funcionamento estrutural das vigas protendidas.....	30
1.4 Áreas de conhecimento.....	35
1.5 Modalidades de execução do concreto protendido .....	36
1.5.1 Concreto protendido com aderência inicial (pré-tensão).....	36
1.5.2 Concreto protendido com aderência posterior (pós-tensão) .....	36
1.5.3 Concreto pós-tendido sem aderência .....	39
1.6 Possibilidades de execução do concreto protendido conforme a posição dos cabos de protensão.....	39
1.6.1 Protensão interna .....	39
1.6.2 Protensão externa.....	39
1.6.3 Protensão excêntrica.....	40
1.6.4 Protensão centrada.....	40
1.7 Verificações em atendimento aos estados-limite .....	44
1.8 Outras verificações necessárias no concreto protendido .....	44
1.9 A grande responsabilidade em estruturas protendidas .....	44
1.10 Vantagens do concreto protendido.....	45
<b>2. MATERIAIS EMPREGADOS NO CONCRETO PROTENDIDO.....</b>	<b>49</b>
2.1 Aços de protensão (fios e cordoalhas) .....	50
2.1.1 Características fundamentais .....	50
2.1.2 Classificação dos aços de protensão (fios e cordoalhas).....	51
2.1.3 Valores-limite da força na armadura de protensão .....	52
2.1.4 Fluência e relaxação dos aços de protensão.....	54
2.1.5 Corrosão dos aços de protensão.....	56

2.2	Concreto .....	57
2.2.1	Resistência .....	58
2.2.2	Deformações do concreto.....	60
2.2.3	Tensões permitidas.....	65
3.	<b>GRAU DE PROTENSÃO.....</b>	<b>67</b>
3.1	Considerações gerais.....	68
3.2	Definições do nível de protensão.....	68
3.2.1	Grau de protensão no ELU.....	69
3.2.2	Grau de protensão no ELS.....	69
3.3	Ponderações sobre o grau de protensão.....	69
3.4	Como escolher o grau de protensão.....	70
3.5	O que diz a norma brasileira ABNT NBR 6118:2014.....	71
3.6	Determinação de aberturas de fissuras e de deslocamentos lineares.....	71
3.6.1	Controle da fissuração.....	71
3.6.2	Cálculo de deslocamentos lineares: flechas elastoplásticas.....	73
3.7	Armadura passiva mínima.....	74
3.8	Conclusões.....	74
4.	<b>EMBASAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>75</b>
4.1	Cálculo das estruturas em concreto protendido.....	76
4.1.1	Considerações gerais.....	76
4.1.2	Esforços solicitantes decorrentes da protensão de estruturas isostáticas.....	76
4.2	Verificações das seções transversais.....	80
4.2.1	Verificações no estágio Ia.....	80
4.2.2	Verificações nos estádios Ib, IIa e IIb com a existência de armaduras ativa e passiva.....	83
4.3	Exemplos numéricos: verificação de seções transversais.....	92
4.3.1	Exemplo 1: estágio Ia.....	92
4.3.2	Exemplo 2: estádios Ia, Ib, IIa e IIb, armaduras ativa e passiva.....	94
4.3.3	Exercício proposto.....	107
5.	<b>PERDAS DA FORÇA DE PROTENSÃO PÓS-TENSÃO.....</b>	<b>109</b>
5.1	Perdas imediatas.....	110
5.1.1	Perdas devidas à deformação elástica do concreto.....	110
5.1.2	Perdas por atrito.....	111
5.1.3	Perdas por acomodação das ancoragens.....	114
5.2	Perdas progressivas da força de protensão.....	115
5.2.1	Perdas por retração e deformação lenta do concreto.....	115
5.2.2	Perdas devidas à fluência do aço – relaxação.....	116
5.3	Exemplo numérico: cálculo de perdas da protensão.....	117
5.3.1	Características geométricas da seção transversal.....	117
5.3.2	Características do aço CP 190 (necessárias à resolução deste exercício).....	117
5.3.3	Determinação da força de protensão e escolha do cabo.....	117

5.3.4	Dados do traçado do cabo (necessários à resolução deste exercício) .....	118
5.3.5	Cálculo das perdas devidas ao atrito.....	118
5.3.6	Cálculo das perdas por acomodação das ancoragens.....	118
5.3.7	Cálculo de perdas progressivas: retração e deformação lenta.....	119
5.3.8	Fluência do aço .....	119
5.4	Exercício proposto .....	120
6.	CÁLCULO DA FORÇA DE PROTENSÃO .....	121
7.	DESENVOLVIMENTO DOS CABOS .....	125
7.1	Forma geral.....	126
7.2	Dimensionamento.....	126
7.3	Equação da curva .....	126
7.4	Poligonais da cablagem .....	128
7.5	Controle da excentricidade ao longo do vão .....	128
7.5.1	Método do núcleo-limite.....	128
8.	CÁLCULO DOS ALONGAMENTOS DA ARMADURA ATIVA .....	131
8.1	Considerações iniciais .....	132
8.2	Cálculo aproximado do alongamento .....	132
8.3	Cálculo exato do alongamento.....	134
8.4	Observação final e exemplo prático.....	134
9.	VIGAS PROTENDIDAS HIPERESTÁTICAS.....	137
9.1	Hiperestaticidade em vigas protendidas .....	138
9.2	Considerações básicas a partir de uma viga de dois vãos.....	139
9.3	Vigas de três ou mais vãos .....	141
10.	EXEMPLO DE CÁLCULO: VIGA PROTENDIDA.....	143
10.1	Esquema da estrutura .....	144
10.2	Carregamento, dimensões prováveis .....	144
10.3	Valores geométricos da seção transversal.....	147
10.4	Propriedades mecânicas dos materiais .....	148
10.4.1	Aço CA 50.....	149
10.4.2	Aço CP 190 RB, cordoalha de 12,7 mm (conforme Anexo).....	149
10.4.3	Concreto.....	149
10.5	Determinação da força de protensão e escolha do cabo.....	149
10.5.1	Força de protensão .....	150
10.5.2	Escolha do cabo .....	150
10.5.3	Traçado do cabo.....	150
10.6	Perdas da força de protensão .....	152
10.6.1	Perdas imediatas.....	153
10.6.2	Perdas progressivas .....	155

10.7	Tensões normais de borda nos tempos $t = 0$ e $t = \infty$ , estágio Ia.....	157
10.7.1	Verificação das tensões normais de borda com os limites convencionais admissíveis ....	159
10.8	Verificações no estágio Ib (concreto com tensões de compressão e tração imediatamente anteriores à formação da primeira fissura) .....	159
10.9	Verificações no estágio IIa (fissuração da zona tracionada da seção transversal) .....	161
10.10	Verificação da segurança à ruína – estágio IIb .....	162
10.11	Revisão dos cálculos com o aumento da armadura passiva.....	164
10.11.1	Nova verificação no estágio Ib.....	164
10.11.2	Nova verificação no estágio IIa (fissuração da zona tracionada) .....	165
10.11.3	Nova verificação no estágio IIb (segurança à ruína) .....	165
10.12	Cálculo do alongamento dos cabos (solução aproximada).....	166
10.12.1	Comprimento real do cabo (desenvolvimento da parábola) .....	166
10.12.2	Cálculo do expoente ( $\mu\alpha + kx$ ) de e para $x = 15,82$ m .....	167
10.13	Exercício proposto .....	167
ANEXO	.....	169
	Tabelas de fios e cordoalhas para concreto protendido .....	170
	Fios para Protensão Estabilizados (RB) .....	170
	Cordoalhas de 3 e 7 Fios Estabilizadas (RB).....	171
	Cordoalhas de 7 Fios Engraxadas e Plastificadas.....	172
	Cordoalhas especiais para pontes estaiadas .....	173
REFERÊNCIAS	.....	175
	Normas e catálogos técnicos.....	175
SOBRE O AUTOR	.....	177
SOBRE A REVISORA TÉCNICA	.....	177



# ESTRUTURA X ARQUITETURA

Com colaboração de Maria Regina Leoni Schmid Sarro

1

**Fotografia 1** Edifício Premier (Florianópolis/SC, 2010). Edifício residencial com vigas de transição profundas. Projeto estrutural de Stabile Estruturas e M. Schmid Engenharia Estrutural. Protensão: Sistema Rudloff. Fotografia do arq. Tuing Ching Chang.



## 1.1 A DIFERENÇA ENTRE CONCRETO ARMADO E CONCRETO PROTENDIDO<sup>1</sup>

Concreto e aço, os materiais mais empregados na engenharia estrutural, são caracterizados principalmente por suas resistências mecânicas. O concreto apresenta elevada resistência à compressão e baixa resistência à tração. Por isso, uma peça de concreto simples (concreto sem armadura) não pode sofrer esforços de tração, pois não resistiria a eles. Assim, peças de concreto simples só podem ser usadas quando solicitadas somente por esforços de compressão, como é o caso de alguns blocos de fundação, por exemplo.

Diferentemente das peças prioritariamente comprimidas, as vigas são elementos que sofrem flexão. Sua função mais comum, de cobrir espaços ou vãos e transmitir a carga recebida para seus apoios, faz com que, independentemente de outros carregamentos, elas fiquem sujeitas à força da gravidade atuando em seus vãos e balanços. Assim, o primeiro carregamento a solicitar essas peças é o seu próprio peso, e, dependendo do material de constituição das vigas, ele pode ser bastante relevante.

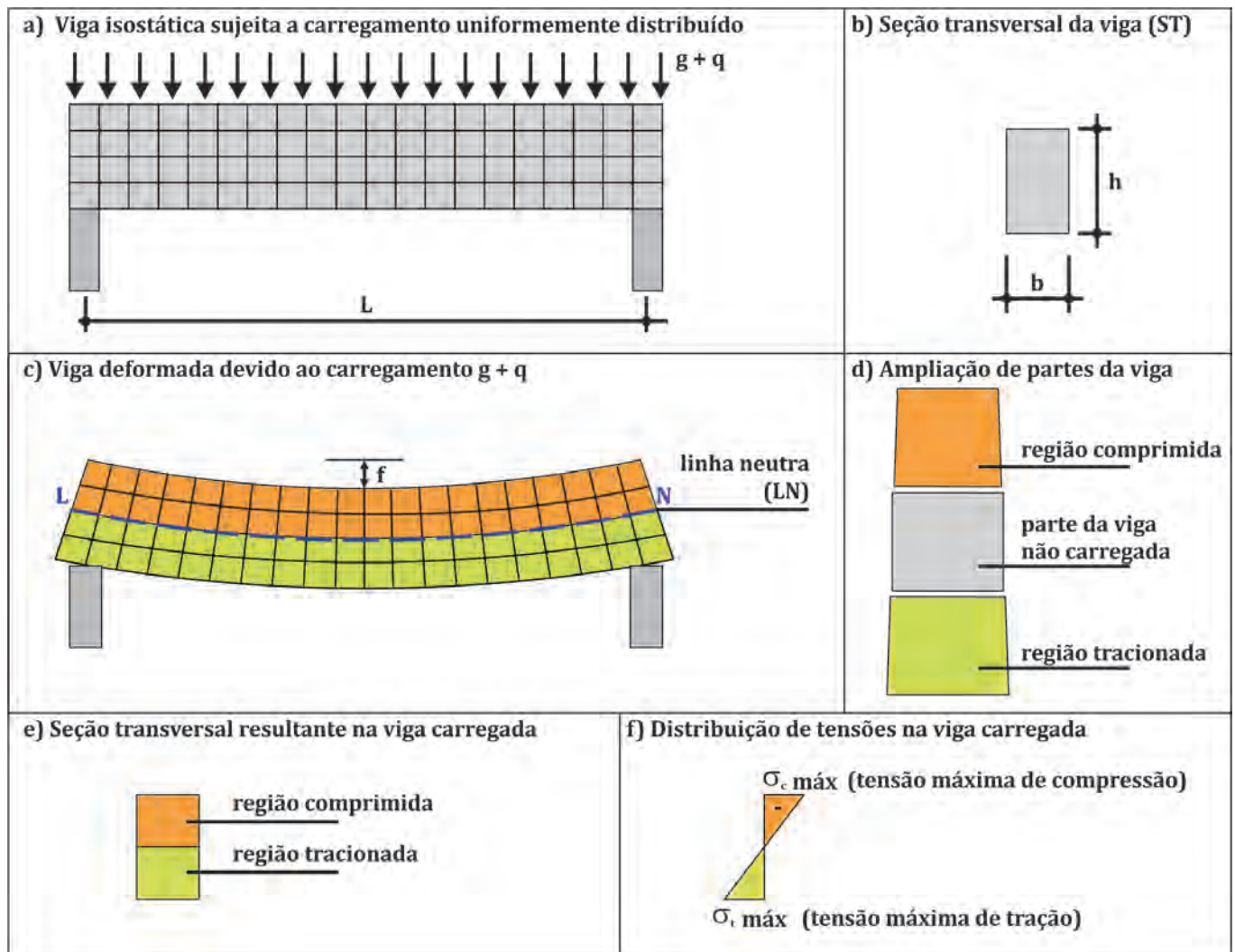
As deformações são uma consequência da flexão – quanto maiores as cargas e/ou menor a rigidez de uma viga, maior a sua probabilidade de ocorrência. As deformações das vigas podem ser um fator limitante na escolha de seus materiais e suas seções transversais. Uma peça sujeita a carregamentos verticais distribuídos e fletida tem o seu eixo longitudinal deformado para baixo, formando uma curva entre os seus vínculos. No ponto de maior deformação entre os vínculos ocorre a flecha máxima da peça, cujos valores devem ser controlados para não extrapolar os limites estabelecidos em normas técnicas. A flexão é um esforço inevitável em vigas e lajes, e, quando se usa um material inerte em sua constituição, as deformações também são inevitáveis.

A Figura 1.1 mostra os efeitos da flexão em uma viga de concreto retangular. As Figuras 1.1a e 1.1b mostram a seção longitudinal e a seção transversal da viga antes de sofrer os efeitos do carregamento. Na seção longitudinal, a viga foi dividida em diversos retângulos, para que se possa entender o que acontece quando a peça é carregada. A Figura 1.1c ilustra o que acontece com a peça quando o carregamento atua sobre ela: sua metade superior sofre compressão e sua metade inferior sofre tração, e ocorre uma deformação na peça, que resulta na flecha “f” no meio do vão. Entre essas duas metades, a comprimida e a tracionada, encontra-se um eixo que não sofre tração nem compressão, chamado de linha neutra e representado em azul na figura. Como ali não existem esforços de flexão, conseqüentemente não existe deformação. Os pequenos retângulos usados para a divisão da viga sofrem deformações na flexão: aqueles que estão acima da linha neutra diminuem de tamanho, em virtude dos esforços de compressão, e os que estão abaixo da linha neutra aumentam de tamanho, em virtude dos esforços de tração. Isso pode ser observado na Figura 1.1d, que mostra de forma ampliada os retângulos deformados em comparação com o retângulo sem deformação. Mesmo que a deformação de uma peça seja pequena e não possa ser vista a olho nu, esse comportamento ocorre internamente nela. Quanto mais distante da linha neutra estiver um ponto da peça, maior será

<sup>1</sup> Estas definições iniciais baseiam-se, principalmente, na obra referencial de Leonhardt (1962), que permanece válida e atual.

a sua deformação por compressão ou tração. Assim, as regiões sujeitas aos maiores esforços de tração e compressão são, respectivamente, as faces inferior

e superior da barra, como pode ser observado no diagrama de tensões normais da viga, representado na Figura 1.1f.



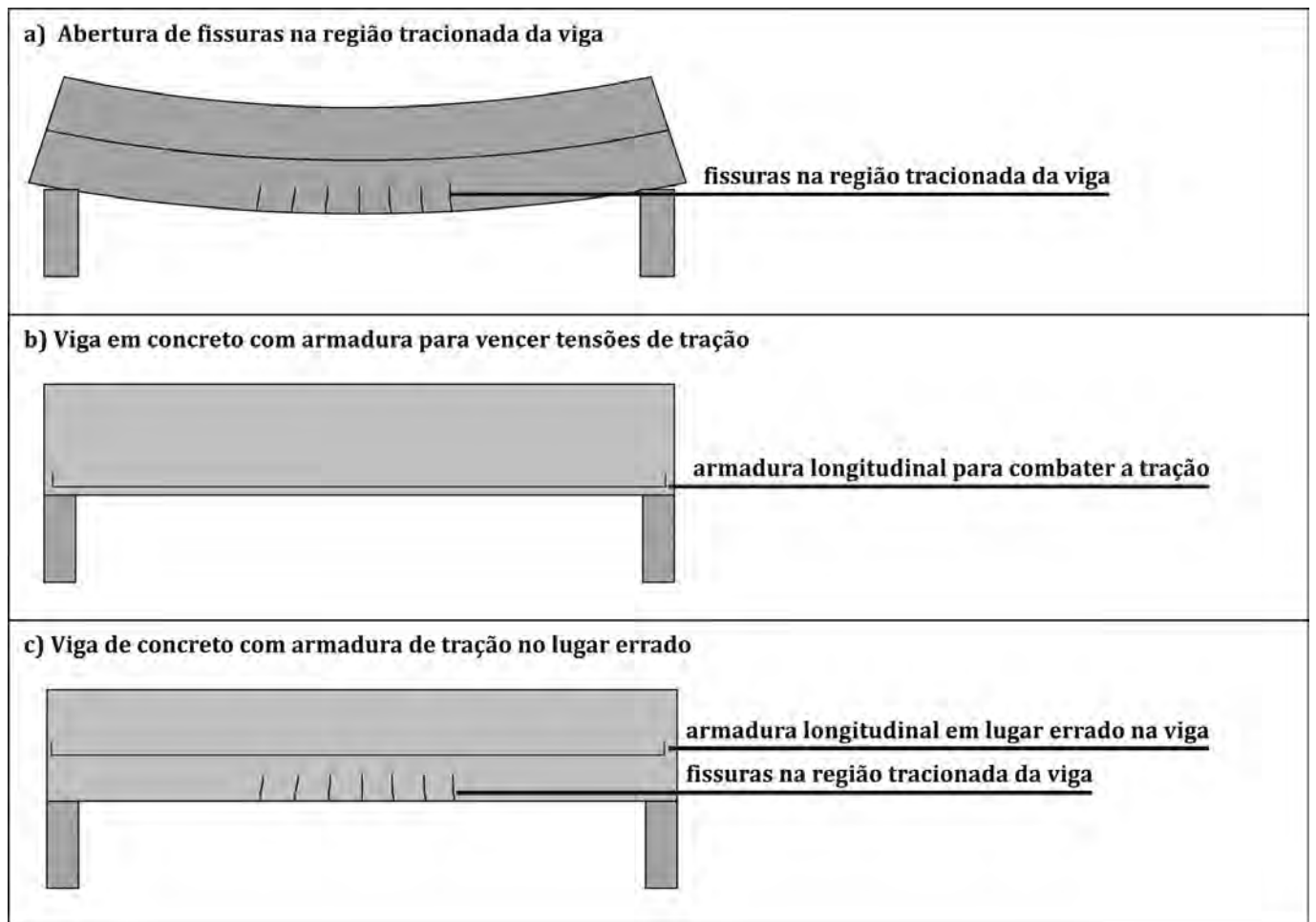
**Figura 1.1** Simulação de comportamento de uma barra sujeita à flexão.

Sendo a viga ilustrada na Figura 1.1 de concreto, a deformação resultante da flexão causaria fissuras na sua parte inferior, conforme a Figura 1.2a. Para combater a abertura de fissuras, faz-se a aplicação de barras de aço transversais ao seu sentido de formação, ou seja, se as fissuras abrem-se no sentido vertical, as barras de armadura são dispostas horizontalmente, como se fosse uma costura.

A armadura precisa ser dimensionada para vencer todos os esforços de tração incidentes na peça, mas só isso não garante o seu sucesso nesse papel, pois, para funcionar corretamente, ela deve ser inserida no local correto, onde estão as maiores tensões de tração. A Figura 1.2c mostra o

que poderia acontecer à viga se a armadura para combater a tração fosse colocada mais próxima à região da sua linha neutra: as fissuras continuariam a ocorrer. O posicionamento correto de qualquer armadura em uma peça estrutural de concreto é fundamental para o seu funcionamento adequado.

Assim, o concreto armado nada mais é que o concreto reforçado com armaduras em posições e quantidade adequadas para que aço e concreto trabalhem juntos e ofereçam peças seguras. Armaduras previstas em projetos e colocadas, em obra, em locais errados podem resultar não somente em desperdícios, mas também em situações perigosas.



**Figura 1.2** Fissuras resultantes da flexão na viga de concreto e armadura posicionada para contê-las.

A flexão é constituída por dois esforços principais que atuam em conjunto em uma barra: o momento fletor e a força cortante, conforme diagramas ilustrados nas Figuras 1.3b e 1.3c.

O momento fletor é responsável pelo giro interno das seções transversais da peça, que resulta na sua flecha. A força cortante, por sua vez, é um esforço de cisalhamento na peça – os carregamentos verticais que a solicitam provocam uma tendência de corte em suas partes. Ela tende a provocar o escorregamento dos pedaços longitudinais e transversais da peça, e o seu combate é feito com uma armadura vertical composta por estribos, cujo distanciamento é função da intensidade do esforço cortante na região. Assim, na viga da Figura 1.3a, os estribos são inseridos ao longo de todo o seu comprimento, mas em maior quantidade nas regiões de maiores forças cortantes, ou seja, na região mais próxima dos apoios, conforme a Figura 1.3e.

As barras longitudinais para vencer a tração e os estribos para vencer o cisalhamento são dispostos

ortogonalmente entre si nas vigas. Isso permite pontos de encontro entre diferentes barras, que possibilitam a sua amarração. A amarração é necessária às armaduras para garantir que a concretagem não tire nada do seu lugar devido.

A princípio, essas seriam as principais armaduras necessárias para vencer as deficiências do concreto como material estrutural na viga isostática biapoiada, sem balanços. Contudo, por questões construtivas, a norma brasileira pede que em todos os cantos de estribos seja inserida uma barra longitudinal; por isso, nos cantos superiores, é necessária a presença dessas barras extras. No caso de vigas isostáticas biapoiadas, elas têm, a princípio, uma função construtiva, já que não existe tração naquela região. Assim, a armadura básica da viga da Figura 1.3 seria constituída pela sua armadura inferior, pela sua armadura superior e pelos seus estribos, conforme mostra a Figura 1.3f. A Fotografia 2 mostra um exemplo de montagem desse tipo de armadura, com a execução da amarração entre as diferentes barras.

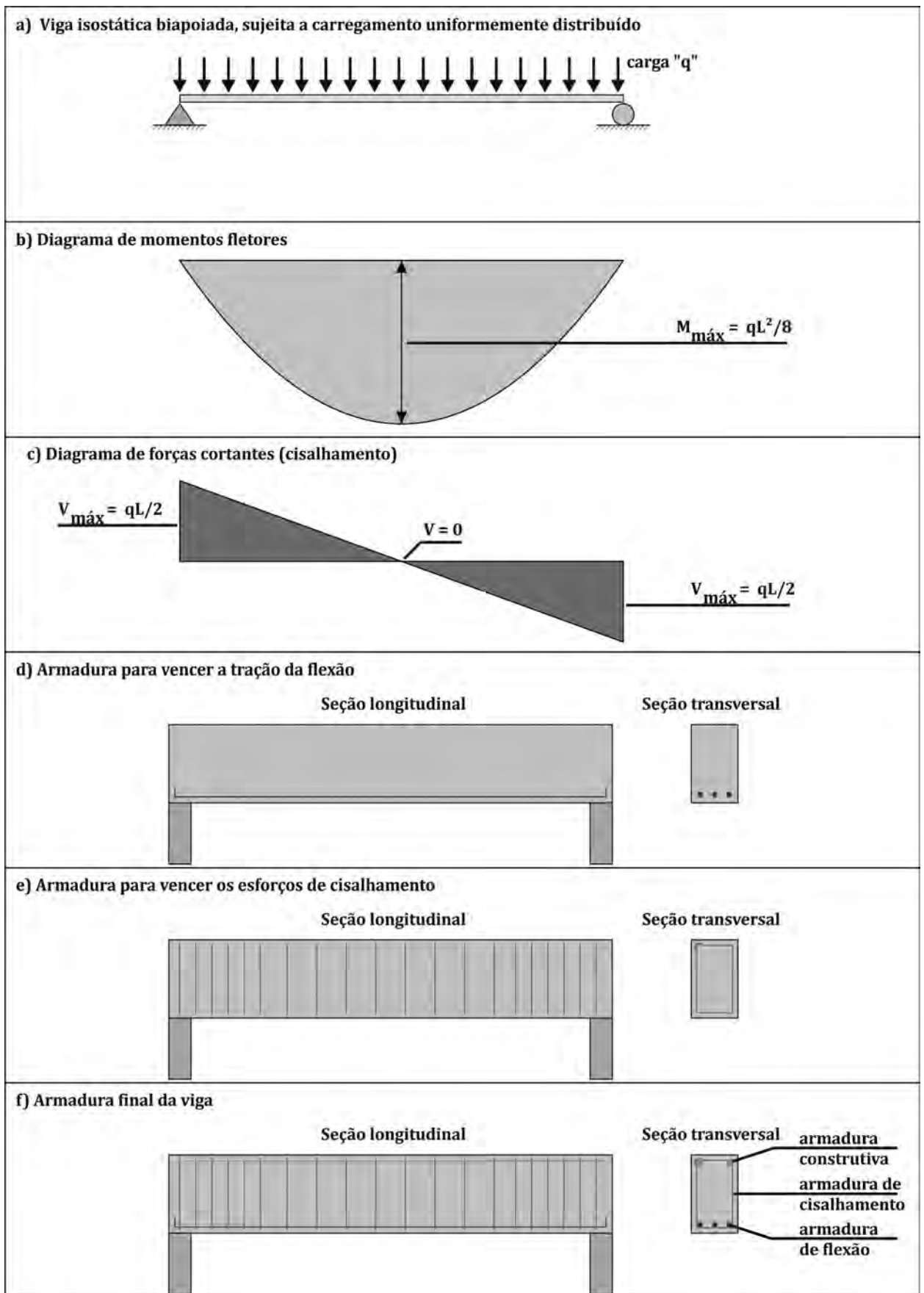


Figura 1.3 Esforços de flexão e armadura resultante em viga de concreto armado.



**Fotografia 2** Montagem de armadura para viga de concreto armado, em processo de amarração de barras. Fotografia adaptada de Budabar, adquirida de <https://br.depositphotos.com/>.

A Fotografia 3 mostra um exemplo de armadura de uma laje em concreto armado sendo montada sobre sua forma. Percebem-se nela elementos de grande importância à execução de peças estruturais de concreto, como sua amarração e o uso de espaçadores, que permitem que a armadura não fique encostada na forma. Isso garante um cobrimento de concreto ao redor da armadura, fundamental para a sua proteção ao longo da vida útil da peça.



**Fotografia 3** Montagem de armadura para laje de concreto armado, já amarrada e afastada da forma. Fotografia adaptada de Koletvinov, adquirida de <https://br.depositphotos.com/>.

Um grande inimigo do concreto armado é o seu peso próprio, que é elevado em relação à resistência do material. Além de sua baixa resistência à tração, o concreto é frágil, rompendo-se facilmente mesmo sem grandes deformações, deficiências que podem ser normalmente reduzidas ou evitadas com o aumento da rigidez das peças. Para serem mais rígidas, as vigas maciças precisam ser mais altas; por serem mais altas, são mais pesadas; por serem mais pesadas, são mais deformáveis. A deformação aumenta à medida que se aumentam as cargas e/ou vãos de uma peça. Chega-se a um limite a partir do qual o aumento da altura da peça não é mais uma

solução, porque a sua deformação proporcional passa a ser mais alta que o admissível por normas técnicas. Quando a deformação causada pelas cargas é maior que valores admissíveis por normas e mais influente, negativamente, que a rigidez causada por variações em sua seção transversal, o concreto armado deixa de ser uma solução possível para as vigas.

Um dos caminhos para aumentar a rigidez de uma seção transversal de vigas em concreto sem aumentar o seu peso é a consideração de parte da laje maciça de concreto existente sobre elas como mesa colaborante. A ação conjunta de vigas e lajes é prevista na norma NBR 6118:2014, 14.6.2.2, e pode estabelecer um comportamento mais realista na distribuição de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos na estrutura, uma vez que a laje já existe sobre a viga. Armar devidamente a ligação entre vigas e lajes, para possibilitar o funcionamento da seção T às vigas que na realidade são retangulares, pode aumentar consideravelmente a sua rigidez, conforme ilustrado nas Figuras 1.4a e 1.4b. A largura da mesa colaborante é definida pela norma.

Outro caminho possível para aumentar a rigidez de uma viga é a adoção de seções transversais vazadas. A lógica é a mesma da solução citada há pouco – consideração da viga como seção T –, uma vez que tanto a mesa superior das vigas como a adoção de furos no seu interior fazem com que parte do seu material constituinte se afaste do centro de gravidade da sua seção transversal, o que aumenta naturalmente seu momento de inércia. O momento de inércia é uma característica geométrica relacionada à rigidez da peça, e o seu controle permite que se chegue a seções mais resistentes. A Figura 1.4 mostra essa possibilidade – parte-se de uma viga retangular (Figura 1.4a) para vencer o vão de 15,80 m e analisam-se, comparativamente, as opções de seção T (Figura 1.4b), seção retangular mais alta (Figura 1.4c) e seção vazada (Figura 1.4d) para a mesma viga, a partir do seu momento de inércia  $I_x$ . Percebe-se que mantendo a mesma área, ou seja, sem acrescentar peso à viga, é possível obter um aumento considerável na rigidez da sua seção transversal. A adoção de seções inteligentes para vigas é uma escolha do projeto arquitetônico, por isso é importante ao arquiteto a compreensão das possibilidades e de suas consequências construtivas.

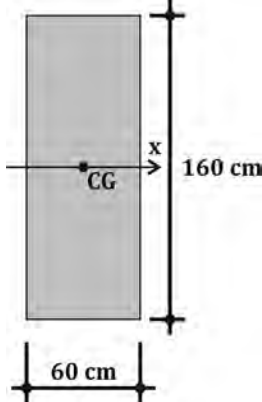
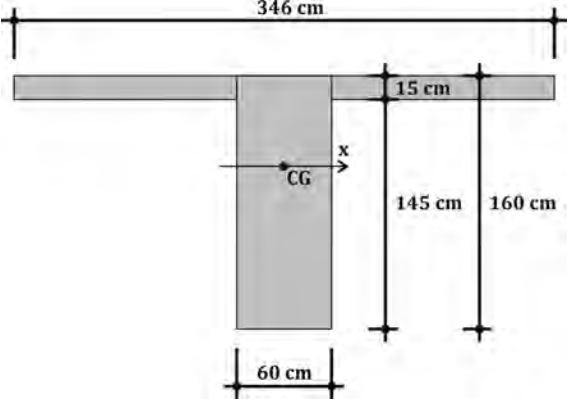
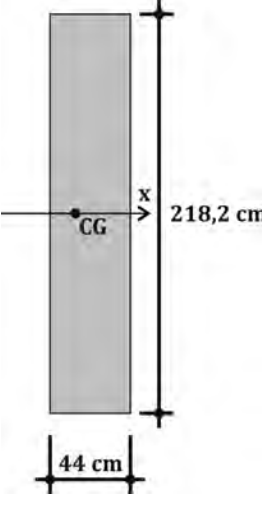
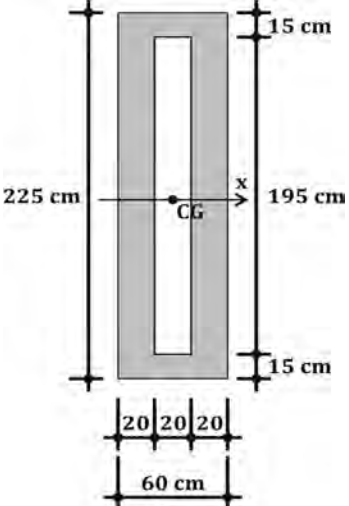
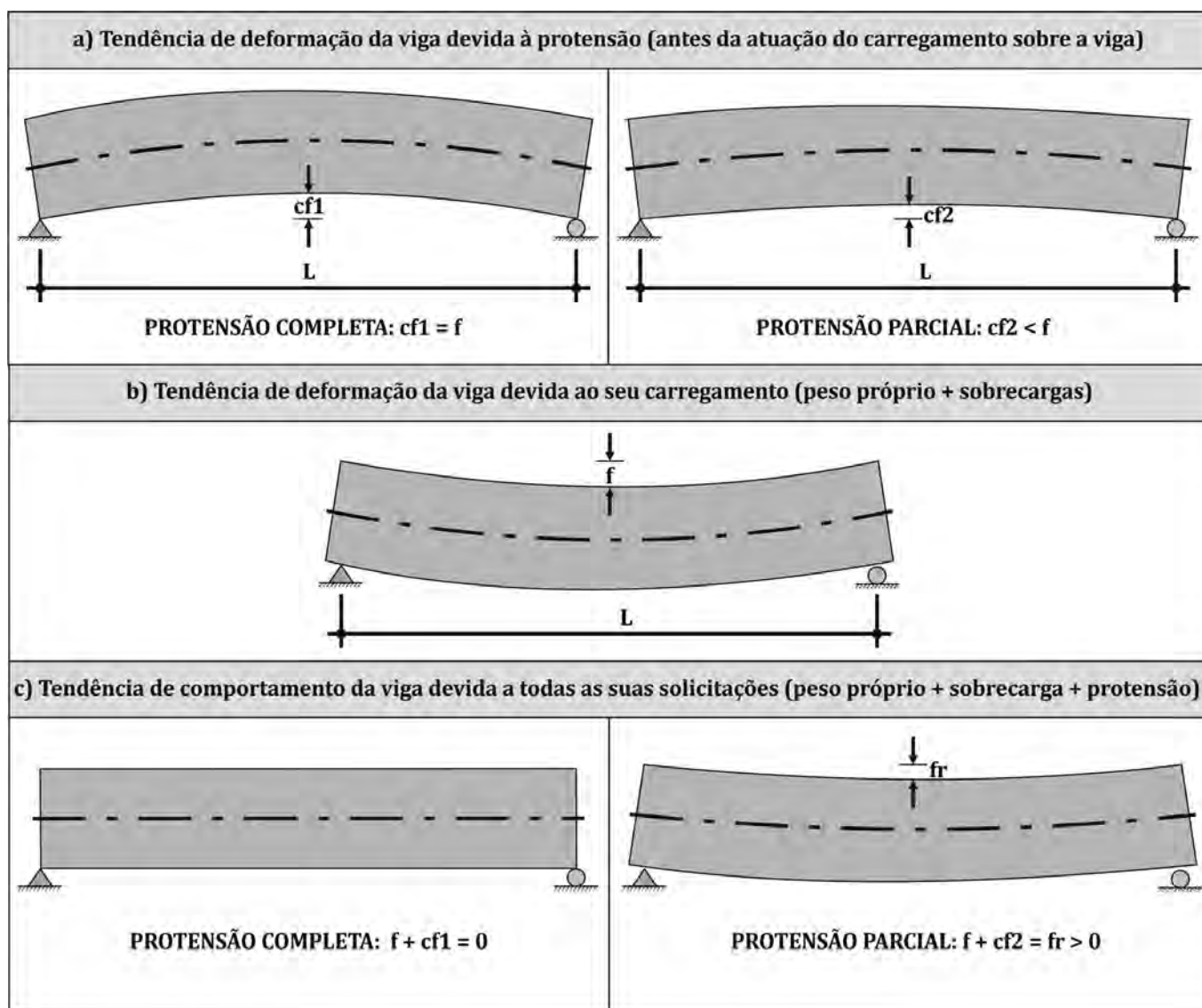
	
<p>Área da ST maciça em concreto armado: 9600 cm<sup>2</sup>  <math>I_x = 20480000 \text{ cm}^4</math> (referência para comparação)</p>	<p>Área da ST: 9600 cm<sup>2</sup>          (sem considerar a área da laje, por já ser carga aplicada sobre a viga)  <math>I_x = 36145904 \text{ cm}^4</math> (aumento de 76%)</p>
<p>a) Viga retangular maciça</p>	<p>b) Viga retangular maciça + mesa colaborante de laje com 15 cm de espessura</p>
	
<p>Área da ST: 9600 cm<sup>2</sup>  <math>I_x = 38092166 \text{ cm}^4</math> (aumento de 85%)</p>	<p>Área da ST: 9600 cm<sup>2</sup>  <math>I_x = 44595000 \text{ cm}^4</math> (aumento de 117%)</p>
<p>c) Viga retangular mais alta e mais estreita</p>	<p>d) Viga retangular em seção vazada, com a mesma largura da viga maciça</p>

Figura 1.4 Estudo da rigidez de diferentes seções transversais de viga em concreto.

Quando se chega ao limite da capacidade do concreto armado de vencer as deformações em uma viga, uma das soluções possíveis para se manter o concreto como material estrutural na peça é o uso da protensão.

O princípio da protensão visa, no caso do concreto, compensar a sua fraca resistência à tração,

comprimindo-o. Protender significa criar tensões internas que se opõem às tensões induzidas pelas cargas externas e melhoram o desempenho da estrutura. A Figura 1.5 ilustra de forma genérica a conceituação associada à protensão aplicada a uma viga de concreto.



**Figura 1.5** Princípio da protensão em uma viga.

A protensão é aplicada de forma a combater forças de tração atuantes na flexão. Ao fazê-lo, ela naturalmente aplica nas peças deformações contrárias àquelas resultantes da atuação de cargas externas. Isso permite a execução de grandes vãos e balanços feitos em concreto protendido, como mostram as Fotografias 4 a 6. Pode-se escolher, no dimensionamento da viga, se a protensão será responsável pela totalidade de cargas solicitantes sobre ela, com protensão total, ou por uma parte dessas cargas somente, com protensão parcial, conforme ilustrado nas Figuras 1.5a, 1.5b e 1.5c. A protensão resulta em um momento fletor contrário àquele gerado pelas cargas que incidem na viga e, conseqüentemente, as parcelas de cargas não equilibradas pela protensão geram esforços mais baixos,

possibilitando à peça ter menores alturas. Assim, a presença da protensão permite às peças fletidas uma seção transversal menor que a necessária às peças em concreto armado, o que pode representar grandes vantagens à arquitetura, como pode ser visto em diversas fotografias<sup>2</sup> mostradas ao longo deste livro.

É importante que se entenda que a protensão, como esforço ativo dentro do concreto, é direcionada a equilibrar as solicitações incidentes sobre

<sup>2</sup> As fotografias têm a função de ilustrar possibilidades variadas de aplicação da protensão em estruturas de concreto, de forma genérica, sem necessariamente ter uma ligação direta com o conteúdo apresentado no capítulo no qual estão inseridas.

uma peça. Para permitir uma deformação contrária à deformação natural da peça, é fundamental que os cabos de aço de protensão sejam posicionados no local correto. Além disso, a protensão causa esforços elevados às peças e necessita da presença de armaduras nos pontos onde as tensões são localizadas, para o concreto não fissurar e para a estrutura funcionar de forma adequada. Cabos de protensão e armaduras de reforço devidamente posicionados podem permitir estruturas esbeltas, com flechas reduzidas ou até mesmo zeradas. Cabos de protensão e armaduras de reforço posicionados fora do seu lugar correto podem resultar em verdadeiras catástrofes, aumentando a deformação das peças em vez de combatê-la. Projetistas e construtores precisam ter consciência disso para fazer da protensão uma aliada, e não uma inimiga.



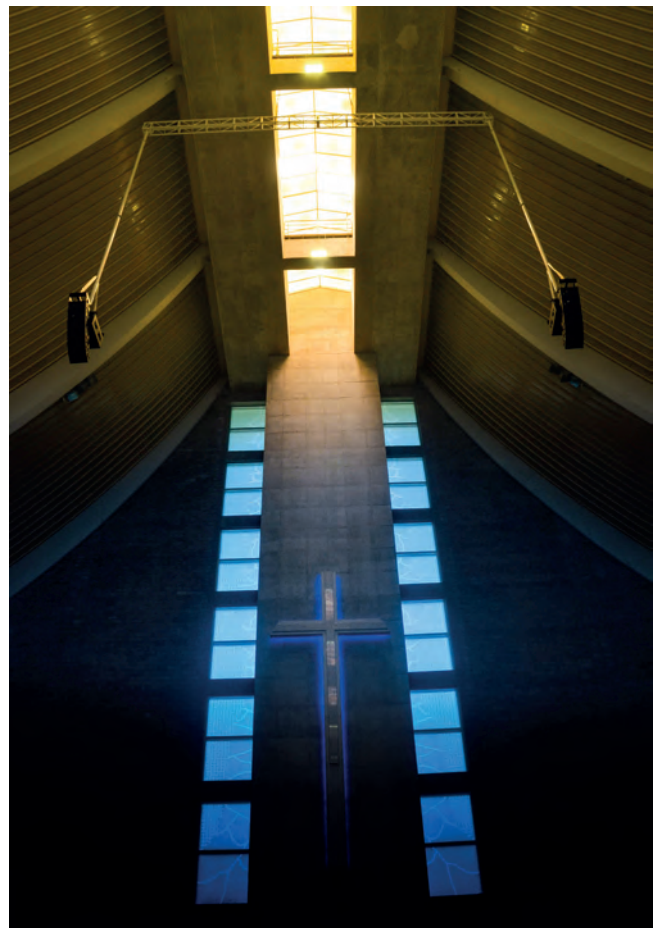
**Fotografia 4** Anfiteatro do Parque Villa-Lobos (São Paulo/SP, 2009). Pórtico em concreto protendido, com balanço de 24 m. Projeto arquitetônico do arq. Decio Tozzi; projeto estrutural do eng. Ugo Tedeschi. Fotografia de Mike Peel ([www.mikepeel.net](http://www.mikepeel.net)), Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0.



**Fotografia 5** Santuário Madre Paulina (Nova Trento/SC, 2006). Telhado sustentado por grandes vigas em concreto protendido, com vão de aproximadamente 60 m, permitindo a inexistência de pilares na área de circulação de público do Santuário. Projeto estrutural de OA Engenharia Especial e M. Schmid Engenharia Estrutural. Fotografia adaptada de Vinicius Lannes Duer...; Wikimedia Commons, CC-BY-AS-3.0.



(a)



(b)

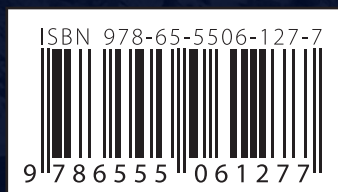
**Fotografias 6a e 6b** Vista interna do santuário mostrando em detalhe as vigas superiores protendidas que sustentam o telhado. Projeto estrutural de OA Engenharia Especial e M. Schmid Engenharia Estrutural. Fotografia adaptada de Gaspar Rocha Gaspar, disponível em <https://pixabay.com>.



**ESTA OBRA OFERECE A ESTUDANTES E  
PROJETISTAS DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
UMA ORIENTAÇÃO INICIAL PARA O USO DA  
PROTENSÃO DO CONCRETO EM SEUS ESTUDOS  
E PROJETOS.**

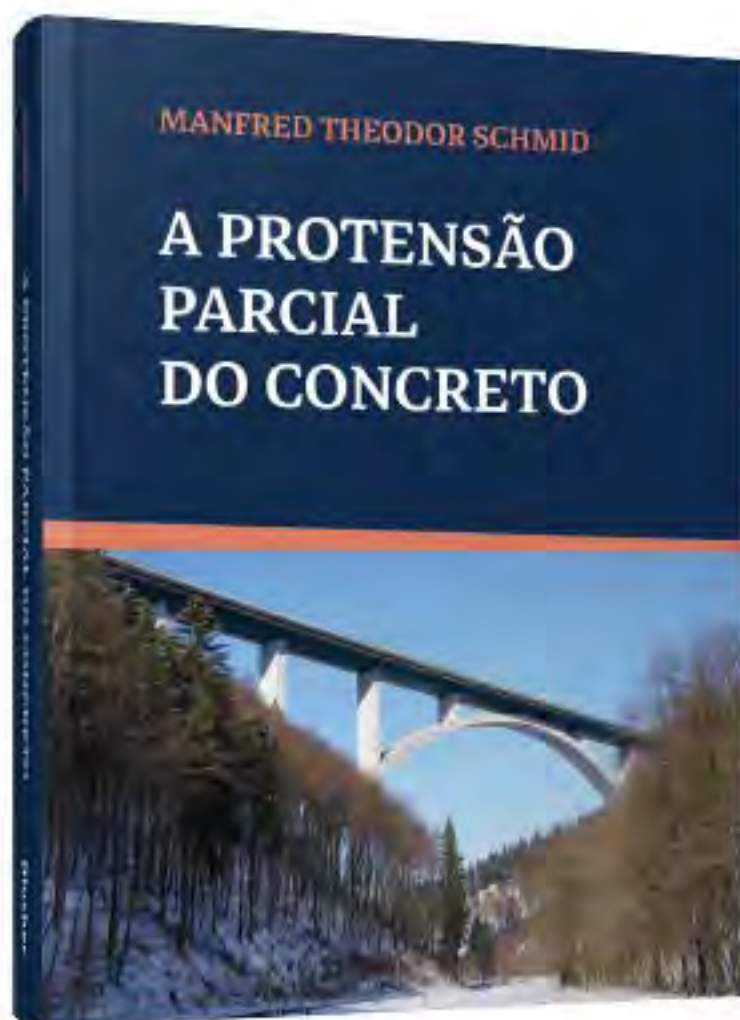
A técnica de cálculo apresentada é a protensão parcial, um caminho coerente e objetivo para a consideração da força de protensão e das suas consequências em vigas de concreto. A lógica das equações de cálculo aqui apresentadas possibilita ao projetista fazer o balanceamento das solicitações internas de uma peça com mais ou menos protensão, a sua escolha, permitindo o equilíbrio perfeito de uma peça com a interação segura entre suas armaduras passivas e ativas.

Além disso, o livro traz uma introdução sobre a conceituação de protensão e a sua relevância em projetos arquitetônicos, mostrando aspectos importantes que podem influenciar as decisões arquitetônicas, como a diferença entre concreto armado e protendido, a influência de diferentes seções transversais na rigidez de uma peça, o comportamento interno dos esforços em peças com ou sem balanços e a análise de construções existentes que usam a protensão no seu equilíbrio estrutural.



[www.blucher.com.br](http://www.blucher.com.br)

**Blucher**



Clique aqui e:

[VEJA NA LOJA](#)

## **A Protensão Parcial do Concreto**

---

**Manfred Thodor Schmid**

ISBN: 9786555061277

Páginas: 178

Formato: 28 x 21 cm

Ano de Publicação: 2022

---