

MANOEL HENRIQUE CAMPOS BOTELHO
OSVALDEMAR MARCHETTI

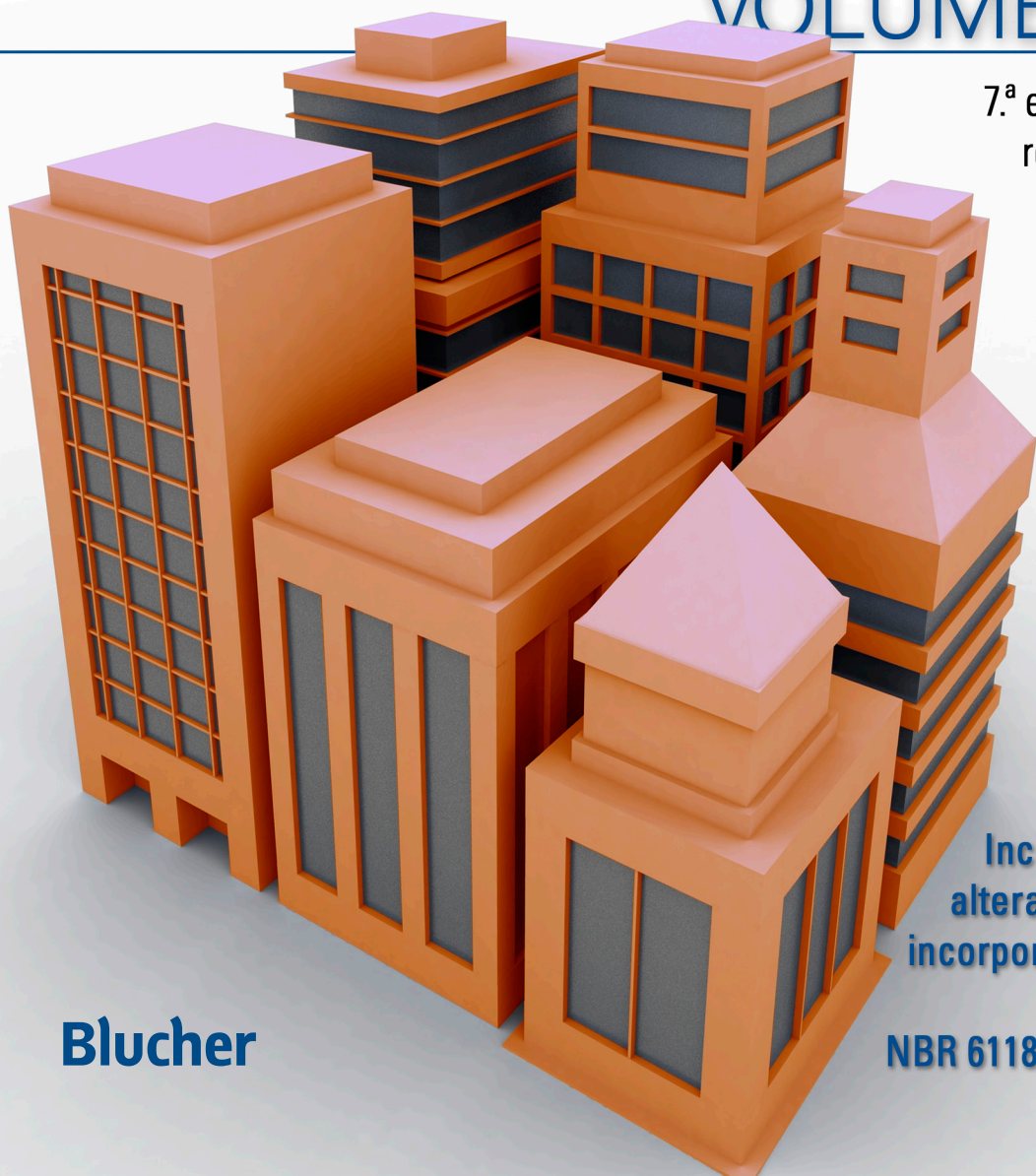
CONCRETO

ARMADO

EU TE AMO

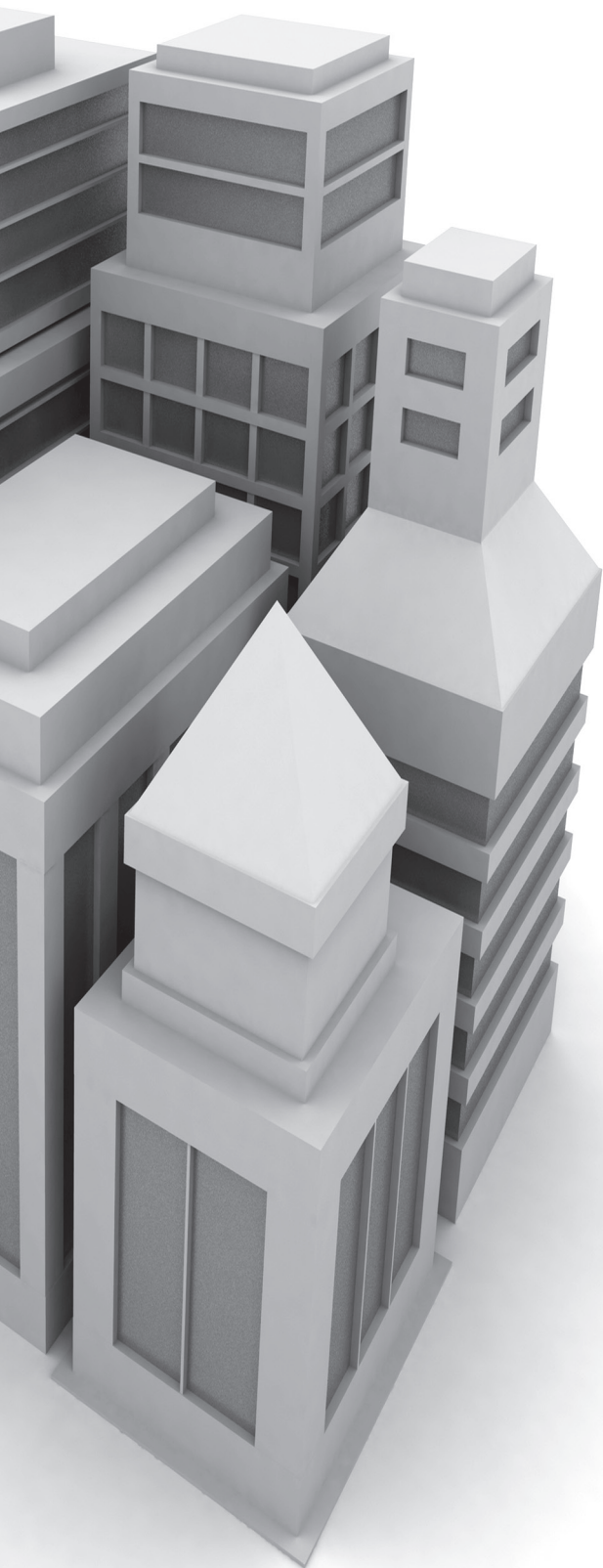
VOLUME 1

7.^a edição
revista



Blucher

Inclui as
alterações
incorporadas
pela
NBR 6118/2007



**CONCRETO
ARMADO
EU TE AMO**

Blucher



**MANOEL HENRIQUE CAMPOS BOTELHO
OSVALDEMAR MARCHETTI**

CONCRETO ARMADO EU TE AMO

VOLUME 1

**7ª EDIÇÃO REVISTA,
SEGUNDO A NOVA NORMA DE
CONCRETO ARMADO
NBR 6118/2007**

Concreto Armado, Eu Te Amo

© 2013 Manoel Henrique Campos Botelho

Osvaldemar Marchetti

7ª edição - 2013

1ª reimpressão - 2013

Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-012 - São Paulo - SP - Brasil

Tel 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo 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.

FICHA CATALOGRÁFICA

Botelho, Manoel Henrique Campos

Concreto armado, eu te amo, vol. 1 / Manoel
Henrique Campos Botelho, Osvaldemar Marchetti -
7ª ed. revista segundo a nova norma de concreto
armado NBR 6118/2007. - São Paulo: Blucher, 2013.

ISBN 978-85-212-0706-1

Bibliografia

1. Concreto armado 2. Perguntas e respostas
3. Resistência de materiais I. Marchetti, Osvaldemar
- II. Título.

12-0168

CDD-620.137

Índice para catálogo sistemático:

1. Concreto armado: Normas: Engenharia 620.137

NOTA DA 7.^a EDIÇÃO

Para esta 7.^a edição preparamos

- a) revisão;
- b) inserção de muitas chamadas cruzadas de itens internos ao texto e chamadas cruzadas do texto e da norma 6118/2007;
- c) pela sua importância, acrescentamos a crônica “*Como se preparar para uma consulta com um simpático superespecialista de estruturas*” que, entendemos, ajudará o estudo dos jovens leitores.

Boa leitura,
Os autores
Janeiro, 2013

Manoel Henrique Campos Botelho
manoelbotelho@terra.com.br

Osvaldemar Marchetti
Omq.mch@terra.com.br

Observação – A norma 6118 está agora na edição 2007 e é portanto a norma 6118/2007. Mas as alterações introduzidas desde seu lançamento em 2003 não interferem com o escopo e os limites deste livro.

AGRADECIMENTOS

Aos colegas de todo o Brasil, Argentina, Paraguai, Bolívia, Portugal, Guiné Equatorial e Angola que contribuíram com seus comentários, críticas, indicações de enganos, elogios e adendos para esta nova edição do livro.

A lista (alfabética) a seguir é dos colegas que mais se esforçaram nisso.

Como esses colegas não leram as provas desta sétima edição, são de responsabilidade dos autores a ocorrência de alguns pontos a virem a ser corrigidos no futuro;

Destacaram-se, entre outros, os colegas:

Adilson Carneiro
Alexandre Duarte B. Aires
Alexandre Rosa Botelho
Antonio Alves Neto
Antony Nunes
Ariovaldo Torres
Braulio P. Pereira
Carlos Almeida
Celso Santiago
Condeceu R. C. Sobrinho
Dellano Souza
Elias Nelson Manuel Gemusse, *Angola*
Elienai C. Rocha Jr
Ernany Mendes Campos
Francisco Barbosa Couto
Frederico Mendes
Giancarlo Bagnara
Gisele Matias
Guilherme Montenegro
Humberto Magno
João Batista Ribeiro
Jose Luis Cunha
Jose Calvimontes, Santa Cruz, *Bolívia*
José Ortiz, *Guiné Equatorial*
Juan Bautista Rolon Amarilha, *Paraguai*
Lenilson António, *Angola*
Leonardo J. P. Teixeira
Luiz Felipe Garcia de Oliveira
Marcelo Cardoso
Marcelo Murúa, *Argentina*

Marcelo Stefanini
Marcio Nascimento
Marcus Vinicius
P. Ferro, *Angola*
Pablo M. Micheli, *Corrientes, Argentina*
Paulo Paz
Pedro Nogueira
Reynaldo C. Ferreira
Ricardo de Paula Machado
Rosemary Leandro Seixas
Rogerio Chaves
Rudinéia F. Petrini, *Univates – Lageado, RS*
Santa Rita, *Portugal*
Walter Ney
Wellyngton S. Caldas Ferreira
Zilmara V. Grote, *Canadá*

E um agradecimento à Professora Sueli Valesi (Área de Ciências Humanas) que, admirando o texto deste livro, publicou um artigo científico conforme indicado:

“Simpósio Internacional de Estudos de Gêneros Textuais” – Caxias do Sul, RS dias 11 a 14 de agosto de 2009.

“Práticas de linguagem no mundo do trabalho da construção civil – o estilo em gêneros textuais acadêmicos/didáticos e profissionais”

Sueli Correia Lemes Valezi

Mestre em Estudos da linguagem – UFMT IFMT – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Destaca a Professora Sueli face à apresentação deste livro nesse simpósio:

“Vale ressaltar que, durante a apresentação, seu livro chamou muito a atenção dos presentes. Ficaram, da mesma forma que eu, bastante admirados pelo título e pelo conteúdo do livro.”

Participação especial desta 7.ª revisão do Eng. Paulo Mendes formado pela Uninove, São Paulo.

NOTA EXPLICATIVA

Um livro para estudantes de engenharia civil, arquitetura, tecnólogos e profissionais em geral, um livro ABC explicando de forma didática, prática e direta, dirigido à obras de pequeno e médio vulto, como prédios de até quatro andares, ou seja, mais de 90% das obras a executar no país.

A NBR 6118/2003^(*) introduziu muitas modificações no mundo do concreto armado (aspectos de durabilidade das estruturas, aumento do fck mínimo, dimensionamento de pilares, cisalhamento etc). Essa nova norma inaugurou também uma nova filosofia, separando os aspectos de projeto dos aspectos de execução e do controle de qualidade de concretagem. A execução da obra ficou a cargo da NBR 14931.

Muito bem, se as normas optaram pela **divisão de assuntos**, este livro optou pela **união** e, portanto, este livro cobre:

- aspectos de projeto de estruturas de concreto armado;
- aspectos de execução dessas obras;
- aspectos de controle da qualidade do concreto na obra.

Com a nova norma NBR 6118/2007^(*) nada mais é como antes.

Para se conhecer esse novo mundo, leia este livro, escrito na linguagem prática, simples e até coloquial que o tornou famoso (linguagem Botelhana).

Conheça os livros de concreto armado e engenharia estrutural da:

“Coleção concreto armado, eu te amo”:

“Concreto armado, eu te amo Vol. 1”

“Concreto armado, eu te amo Vol. 2”

“Concreto armado, eu te amo para arquitetos” (e que os engenheiros também vão ler).

Também disponíveis as obras do Engenheiro Osvaldemar Marchetti:

“Muros de Arrimo”

“Pontes de Concreto armado”

Disponíveis também outras obras do autor Manoel H. C. Botelho

^(*) A atual denominação dessa norma é NBR 6118/2007, sem alterações para os limites e interesses deste livro.

“Instalações hidráulicas prediais usando tubos de PVC e PPR”

“Quatro edifícios, cinco locais de implantação, vinte soluções de fundações”

“Resistência dos materiais, para entender e gostar”

e proximamente:

“Concreto armado, eu te amo – Perguntas e Respostas”

“Concreto armado, eu te amo – Estruturando as edificações”

“Abc da tecnologia do concreto na obra”

“Abc da topografia, para entender, gostar e usar”

Caro leitor,

Para dialogar com o Eng. Manoel Henrique Campos Botelho, enviar email para:
manoelbotelho@terra.com.br

e com o Eng. Osvaldemar Marchetti, email:

omq.mch@terra.com.br

Para todos que enviarem email de comentários e sugestões, o Eng. Manoel Botelho enviará, via Internet, conjunto de crônicas tecnológicas.

CURRICULUM DOS AUTORES:

Manoel Henrique Campos Botelho é engenheiro civil formado em 1965 na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Hoje é perito, árbitro, mediador e autor de livros técnicos.

email: manoelbotelho@terra.com.br

Osvaldemar Marchetti é engenheiro civil formado em 1975 na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Hoje é engenheiro projetista e consultor estrutural, além de construtor de obras industriais e institucionais.

email: omq.mch@terra.com.br

Nota técnico-didática:

Alguns leitores ponderaram que a precisão a que se chega com as calculadoras é muito maior que a precisão da realidade da nossa construção civil e com os resultados *aparentemente ultraprecisos* contidos nos cálculos. Embora isso seja verdade, mantivemos o critério didático de não alterar resultados parciais *aparentemente ultraprecisos*, pelo fato de ser este um texto didático. Assim, se chegarmos a um ponto onde os cálculos indicam o momento fletor de 41,2 kNm e o repetimos nos cálculos decorrentes, todos então saberão a origem dessa medida.

CONTEÚDO

Notas introdutórias	16
Aula 1	17
1.1 Algumas palavras, o caso do Viaduto Santa Efigênia, São Paulo.....	17
1.2 Cálculo e tabela de pesos específicos.....	20
1.3 Cálculo e tabela de pesos por área.....	22
1.4 O concreto armado: o que é?	23
Aula 2	31
2.1 Cálculo e tabela de pesos lineares — Tabela-Mãe	31
2.2 Ação e reação — Princípios.....	33
2.3 Momento fletor ou ação à distância de uma força.....	35
2.4 Apresentamos o prédio que vamos calcular — Estruturação do prédio	38
2.5 Premissas do projeto estrutural — Desenvolvimento	45
Aula 3	47
3.1 Aplicações do princípio da ação e reação	47
3.2 Condições de equilíbrio de estruturas.....	49
3.3 Vínculos na engenharia estrutural.....	55
3.4 Como as estruturas sofrem, ou seja, apresentamos: a tração, o cisalhamento, a compressão e a torção — As três famosas condições.....	58
Aula 4	62
4.1 Determinação de momentos fletores e forças cortantes em vigas.....	62
4.1.1 Momento fletores.....	62
4.1.2 Forças cortantes (cisalhamento).....	74
4.2 Tensões (estudo de esforços internos)	78
4.3 Determinação de tensões de ruptura e admissíveis	81
4.4 Dos conceitos de tensão de ruptura e tensão admissível aos conceitos de resistência característica e resistência de cálculo.....	85
Aula 5	89
5.1 Massas longe do centro funcionam melhor, ou o cálculo do momento de inércia (I) e módulo de resistência (W).....	89
5.2 Dimensionamento herético de vigas de concreto simples	102
5.3 O que é dimensionar uma estrutura de concreto armado?	108

Aula 6	109
6.1 Aços disponíveis no mercado brasileiro	109
6.2 Normas brasileiras relacionadas com o concreto armado	112
6.3 Abreviações em concreto armado	112
6.4 Cargas de projeto nos prédios.....	114
6.5 Emenda das barras de aço	116
Aula 7	118
7.1 Quando as estruturas se deformam ou a Lei de Mr. Hooke — Módulo de elasticidade (E)	118
7.2 Vamos entender de vez o conceito de Módulo de Elasticidade, ou seja, vamos dar, de outra maneira, a aula anterior	123
7.3 Análise dos tipos de estruturas — estruturas isostáticas, hiperestáticas e as perigosas (e às vezes úteis) hipostáticas	124
Aula 8	127
8.1 Fragilidade ou ductilidade de estruturas ou por que não se projetam vigas superarmadas, e, sim, subarmadas.....	127
8.2 Lajes — Uma introdução a elas	129
8.2.1 Notas introdutórias às lajes isoladas	129
8.2.2 Notas introdutórias às lajes conjugadas.....	131
Aula 9	137
9.1 Para não dizer que não falamos do conceito exato das tensões.....	137
9.2 Cálculo de lajes	140
9.2.1 Tipos de lajes quanto à sua geometria.....	140
9.2.2 Lajes armadas em uma só direção	141
9.2.3 Lajes armadas em duas direções — Tabelas de Barës-Czerny	142
9.3 Para usar as Tabelas de cálculo de Barës-Czerny	145
Aula 10	163
10.1 Vínculos são compromissos ou o comportamento das estruturas, face aos recalques ou às dilatações.....	163
10.2 Exemplos reais e imperfeitos de vínculos.....	166
10.3 Cálculos das lajes — Espessuras mínimas	170
Aula 11	172
11.1 O aço no pilar atrai para si a maior parte da carga	172
11.2 Flexão composta normal.....	176
11.3 Lajes — dimensionamento.....	179
11.4 Cobrimento da armadura — Classes de agressividade.....	184

Aula 12	186
12.1 Se o concreto é bom para a compressão, por que os pilares não prescindem de armaduras?.....	186
12.2 Como os antigos construíam arcos e abóbodas de igrejas?	189
12.3 Começamos a calcular o nosso prédio — Cálculo e dimensionamento das lajes L-1, L-2 e L-3	192
Aula 13	203
13.1 Vamos entender o fck?.....	203
13.2 Entendendo o teste do abatimento do cone (<i>slump</i>) do concreto.....	207
13.3 Terminou o projeto estrutural do prédio – Passagem de dados para obra	209
13.4 Os vários estágios (estádios) do concreto	209
13.5 Cálculo e dimensionamento das lajes L-4, L-5 e L-6	211
Aula 14	220
14.1 Vamos preparar uma betonada de concreto e analisá-la criticamente? ...	220
14.2 Das vigas contínuas às vigas de concreto dos prédios.....	223
14.3 Cálculo isostático ou hiperestático dos edifícios.....	226
14.4 Cálculo de dimensionamento das lajes L-7 e L-8	228
Aula 15	232
15.1 Cálculo padronizado de vigas de um só tramo para várias condições de carga e de apoio	232
15.2 Os vários papéis do aço no concreto armado.....	241
15.3 Cálculo e dimensionamento das escadas do nosso prédio	244
Aula 16	248
16.1 Cálculo de vigas contínuas pelo mais fenomenológico dos métodos, o método de Cross	248
16.2 A arte de escorar e a não menor arte de retirar o escoramento	269
16.3 Atenção: cargas nas vigas!!!.....	270
16.3.1 Lajes armadas em uma só direção.....	271
Aula 17	273
17.1 Flambagem ou a perda de resistência dos pilares quando eles crescem..	273
17.1.1 Flambagem — uma visão fenomenológica.....	273
17.1.2 Flambagem — de acordo com a norma NBR 6118 – Cálculo de pilares.....	280
17.2 O concreto armado é obediente, trabalha como lhe mandam.....	311

Aula 18	314
18.1 Dimensionamento de vigas simplesmente armadas à flexão.....	314
18.2 Dimensionamento de vigas duplamente armadas.....	321
18.3 Dimensionamento de vigas <i>T</i> simplesmente armadas	323
18.4 Dimensionamento de vigas ao cisalhamento.....	330
18.5 Disposição da armadura para vencer os esforços do momento fletor	337
 Aula 19	 339
19.1 Ancoragem das armaduras.....	339
19.1.1 Introdução.....	339
19.1.2 Roteiro de cálculo do comprimento de ancoragem das barras tracionadas.....	340
19.1.3 Ancoragem das barras nos apoios.....	341
19.1.4 Casos especiais de ancoragem	341
19.1.5 Ancoragem de barras comprimidas	344
19.2 Detalhes de vigas — engastamentos parciais — vigas contínuas	349
19.3 Cálculo e dimensionamento das vigas do nosso prédio V-1 e V-3	351
 Aula 20	 365
20.1 Dimensionamento de pilares — complementos	365
20.2 Cálculo de pilares com dimensões especiais	366
20.3 Cálculo e dimensionamento da viga V-7	369
20.4 Detalhes da armadura de uma viga de um armazém	372
 Aula 21	 374
21.1 Cálculo e dimensionamento das vigas V-1 = V-5	374
21.2 Cálculo e dimensionamento da viga V-4	381
 Aula 22	 391
22.1 Cálculo e dimensionamento das vigas V-2 e V-6	391
22.1.1 Cálculo da viga V-2.....	391
22.1.2 Cálculo e dimensionamento da viga V-6	402
 Aula 23	 412
23.1 Cálculo e dimensionamento das vigas V-8 e V-10.....	412
23.1.1 Cálculo e dimensionamento da viga V-8.....	412
23.1.2 Cálculo e dimensionamento da viga V-10.....	422
23.2 Cálculo e dimensionamento dos pilares do nosso prédio P-1, P-3, P-10 e P-12	432
23.2.1 Cálculo da armadura desses pilares.....	432

Aula 24	437
24.1 Critérios de dimensionamento das sapatas do nosso prédio	437
24.1.1 Tensões admissíveis e área das sapatas	438
24.1.2 Formato das sapatas	442
24.1.3 Cálculo de sapatas rígidas	443
24.1.4 Exemplo de cálculo de uma sapata do nosso prédio (S_1)	443
24.2 Cálculo e dimensionamento dos pilares P-2 e P-11	448
24.3 Cálculo e dimensionamento dos pilares P-4, P-6, P-7 e P-9	451
24.4 Cálculo e dimensionamento dos pilares P-5 e P-8	455
Aula 25	458
25.1 Dimensionamento das sapatas do nosso prédio S-2, S-3 e S-4	458
25.1.1 Cálculo da sapata (S-2) dos pilares P-2 e P-11	458
25.1.2 Cálculo das sapatas (S-3) e dos pilares P-4, P-6, P-7 e P-9	462
25.1.3 Cálculo das sapatas (S-4) e dos pilares P-5 e P-8	466
25.2 Ábacos de dimensionamento de pilares retangulares	470
Aula 26	475
26.1 A Norma 12655/06 que nos dá critérios para saber se alcançamos, ou não, o fck na obra	475
Aula 27	479
27.1 O relacionamento calculista × arquiteto	479
27.2 Construir, verbo participativo, ou melhor, será obrigatório calcular pelas normas da ABNT?	480
27.3 Destrinchemos o BDI!	482
27.4 Por que estouram os orçamentos das obras?	483
27.5 A história do livro “Concreto armado, eu te amo”	487
Anexos	491
Anexo 1 Fotos interessantes de estruturas de concreto	491
Anexo 2 Cartilha para facilitar a compreensão da Norma de Concreto NBR 6118/2007	499
Anexo 3 Crônicas estruturais	508
Crônica (Parábola) Chave de ouro deste livro	519
Índice remissivo de assuntos principais	521
Índice das tabelas	523
Consulta ao público leitor	524

NOTAS INTRODUTÓRIAS

1. As normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 6118/2007 referente à projetos e NBR 14931/2003, referente à obras, englobam os assuntos concreto simples, concreto armado e concreto protendido. Neste livro só abordaremos o concreto armado.
2. De acordo com as orientações dessas normas, a unidade principal de força é o N (Newton) que vale algo como 0,1 kgf.

Usaremos neste livro as novas unidades decorrentes, mas, para os leitores que estão acostumados com as velhas unidades, elas aparecerão aqui e ali, sempre valendo a conversão seguinte:

1 kgf \cong 10 N	1 MPa \cong 10 kgf/cm ² \cong 100 N/cm ²
1 N \cong 0,1 kgf	1 tfm = 10 kNm
10 N \cong 1kgf	1 tf = 1.000 kgf \cong 10 kN
1 kN \cong 100 kgf	100 kgf/cm ² = 1 kN/cm ²
1 MPa \cong 10 kgf/cm ²	M (mega) = 1.000.000 = 10 ⁶
k (quilo) = 1.000 = 10 ³	G (giga) = 10 ⁹
1 Pa = 1 N/m ²	1 G = 10 ³ M

Também aqui e ali aparece a unidade kg, devendo ser entendida como kgf, ou seja, 10 N.

Por razões práticas

$$1\text{kgf} \cong 9,8\text{ N} \cong 10\text{ N}$$

Alguns também usam:

$$1\text{ da N} \cong 1\text{ kgf, pois } 1\text{ da} = 10$$

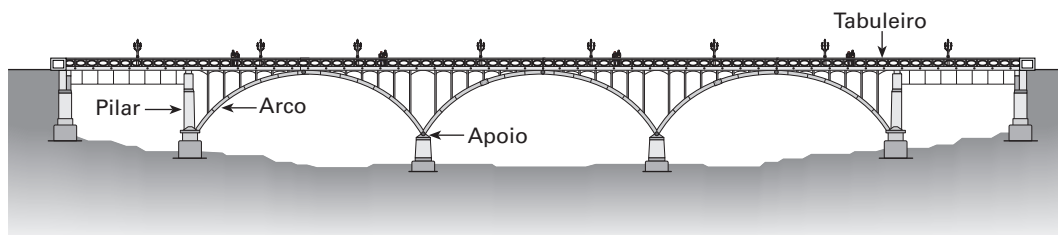
essa é uma medida correta, mas não corriqueira.

Lembrete — Usamos como símbolos as letras minúsculas (m, kg, ha etc.). Quando a unidade homenageia grandes nomes da Física e da Química, usamos como símbolos, letras maiúsculas como A (Ampère), N (newton), Pa (pascal), C (celsius). São exceções para evitar confusões os símbolos maiúsculos: M (mega), G (giga).

AULA 1

1.1 ALGUMAS PALAVRAS, O CASO DO VIADUTO SANTA EFIGÊNIA, SÃO PAULO

Um dos engenheiros, autor desta publicação, (M.H.C.B.), cursou todos os anos de sua escola de engenharia acompanhado de uma singular coincidência. Ele nunca entendia as aulas e nem era por elas motivado. Fruto disso, ele ia sempre mal nas provas do primeiro semestre e só quando as coisas ficavam pretas, no segundo semestre, é que ele, impelido e desesperado pela situação, punha-se a estudar como um louco e o suficiente para chegar aos exames e lá então, regra geral, tirar de boas a ótimas notas. Só quando do fim do curso, é que ele era atraído pela beleza do tema e do assunto, mas nunca pela beleza didática (ou falta de didática) com que a matéria fora ensinada. Ele demorou a descobrir porque as matérias da engenharia eram mostradas de maneira tão insossa e desinteressante. Só um dia descobriu, ao sair de uma aula de Resistência dos Materiais, em que mais uma vez não entendera nada de tensões principais, condições de cisalhamento, flambagem e índice de esbeltez, e passar ao lado do Viaduto Santa Efigênia, no Vale do Anhangabaú, em São Paulo. Houve um estalo. Ao ver aquela estrutura metálica com todas as suas fôrmas tentadoras e sensualmente à vista, ele viu, e pela primeira vez entendeu, tabuleiros (lajes) sendo carregados pelo peso das pessoas e veículos que passavam (carga); viu pilares sendo comprimidos, arcos sendo enrijecidos e fortalecidos nas partes onde recebiam o descarregamento dos pilares (dimensionamento ao cisalhamento); viu peças de apoio no chão que permitiam algumas rotações da estrutura (aparelho de apoio articulado).



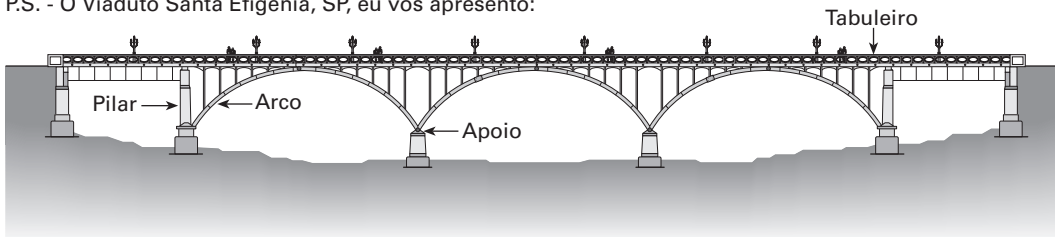
Ele viu, sentiu e amou uma estrutura em trabalho, a que podia aplicar toda a verborragia teórica que ouvia e lutava por aprender na escola. Desse dia em diante, ele começou a se interessar pela matéria e a estudá-la nos seus aspectos conceituais e práticos. Uma dúvida ficou. Por que os professores de Resistência dos Materiais não iniciavam o curso discutindo e analisando uma estrutura tão conhecida como aquela, para, a partir dela, construir o castelo mágico da teoria?

Ele nunca soube.

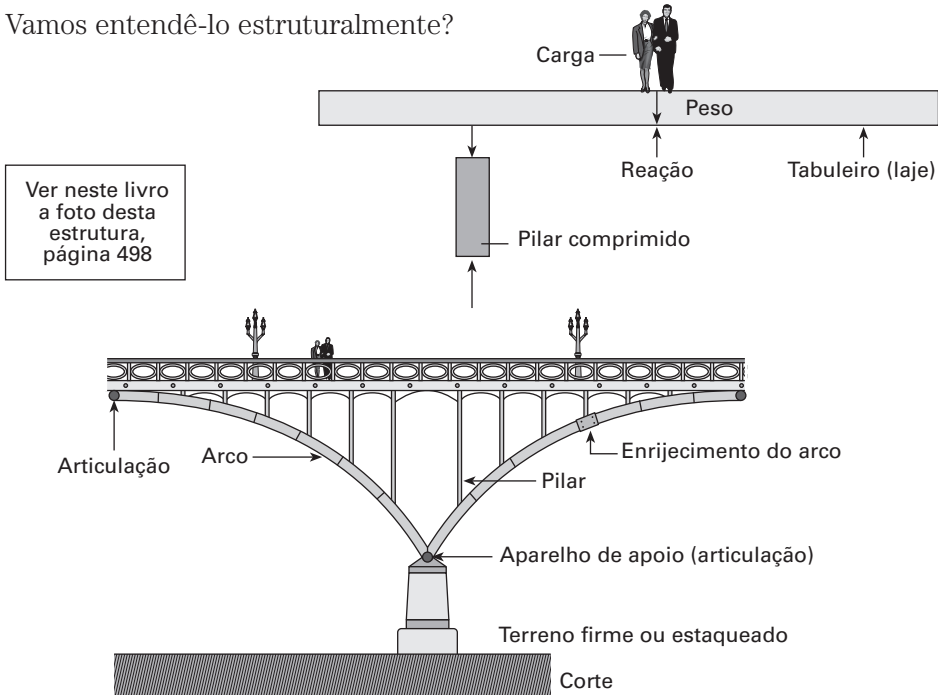
Jurei, já que o autor sou eu, que, se convidado um dia a lecionar, qualquer que fosse a matéria, partiria de conceitos, conceitos claros, escandalosamente claros e precisos, e daí, a partir daí, construiria didaticamente uma matéria lógica e concatenada. Nunca me convidaram para dar aula em faculdade. Idealizei este curso, curso livre, livre, livre, que não dá título, diplomas ou comenda; um curso para quem queira estudar e aprender, com os pés no chão, concreto armado.

Convido o aluno a começar a olhar, sentir e entender as estruturas, não só as do curso, mas as que estão ao redor de sua casa, no caminho do seu trabalho etc.

P.S. - O Viaduto Santa Efigênia, SP, eu vos apresento:



Vamos entendê-lo estruturalmente?



Leia este livro e se habilite depois, ou em paralelo, a estudar o complemento de teoria necessária. Este é um convite para estudarmos juntos, trabalharmos juntos, vivermos juntos.

Boa sorte e um abraço.

Se você não for de São Paulo ou não conhecer este viaduto, procure na sua cidade um galpão metálico ou mesmo uma estrutura de madeira.

As estruturas estarão à sua vista para entendê-las. As razões pelas quais indicamos aos alunos procurarem estruturas metálicas ou de madeira são pelo fato de que, nas estruturas de concreto armado, seus elementos estruturais não são visíveis, didáticos e compreensíveis, como nos outros dois tipos de estruturas.

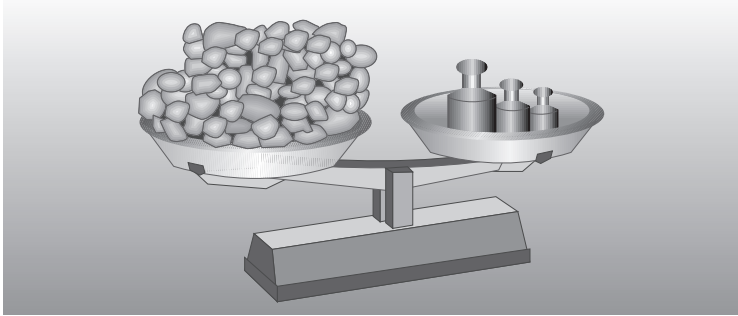


Estrutura de concreto armado (lajes, vigas e pilares) em construção. Fôrmas e escoramento.



Estrutura de concreto pronta.

1.2 CÁLCULO E TABELA DE PESOS ESPECÍFICOS



Todos sabemos que peças de vários materiais de igual volume podem ter pesos diferentes, ou seja, uns têm maior densidade (peso específico) que outros.

Associam-se, neste curso, como conceitos iguais, densidade e peso específico, que para efeitos práticos é a relação entre peso e o volume (divisão entre peso e volume de uma peça).

Assim, peças de ferro pesam mais que peças do mesmo tamanho de madeira.

O índice, que mede o maior peso por unidade de volume, chama-se peso específico (densidade) (símbolo γ).

Assim, se tivermos uma peça que meça um metro de largura, por um metro de comprimento, por um metro de altura, ela pesará os seguintes valores, conforme for feita de:

Tabela T-1 — Pesos específicos		
Material	Peso específico γ (kN/m ³)	Peso específico γ (kgf/m ³)
Granito	27,00	2.700
Madeira cedro	5,40	540
Ferro	78,50	7.850
Terra apiloada	18,00	1.800
Madeira cabreúva	9,80	980
Concreto armado	25,00	2.500
Concreto simples	24,00	2.400
Angico	10,50	1.050
Água	10,00	1.000

$$1 \text{ kN/m}^3 = 100 \text{ kgf/m}^3$$

A fórmula que relaciona peso específico (γ), peso (P) e volume (V) é:

$$\gamma = \frac{P}{V} \quad \text{ou} \quad P = \gamma \times V \quad \text{ou} \quad V = \frac{P}{\gamma}$$

ACOMPANHEMOS OS EXERCÍCIOS

1. Qual o peso de uma peça de cabreúva de $2,7 \text{ m}^3$?

Da fórmula $P = \gamma \times V \Rightarrow P = 9,80 \text{ kN/m}^3 \times 2,7 \text{ m}^3 = 26,46 \text{ kN}$

2. Qual o peso de uma peça de ferro de $15,8 \text{ m}^3$?

Da fórmula $P = \gamma \times V \Rightarrow P = 78,50 \text{ kN/m}^3 \times 15,8 \text{ m}^3 = 1.240,3 \text{ kN}$

3. Qual o volume de uma peça de cedro que pesou 17 kN ?

Da fórmula $V = \frac{P}{\gamma} \Rightarrow V = \frac{17}{5,4} = 3,15 \text{ m}^3$

4. Qual o volume de uma pedra de granito que pesou 6 kN ?

Da fórmula $V = \frac{P}{\gamma} \Rightarrow V = \frac{6}{27} = 0,22 \text{ m}^3$

5. Qual o peso específico de um pedaço de madeira que pesou 24 kN , tendo um volume de $4,2 \text{ m}^3$?

Da fórmula $\gamma = \frac{P}{V} \Rightarrow \gamma = \frac{24}{4,2} = 5,71 \text{ kN/m}^3$

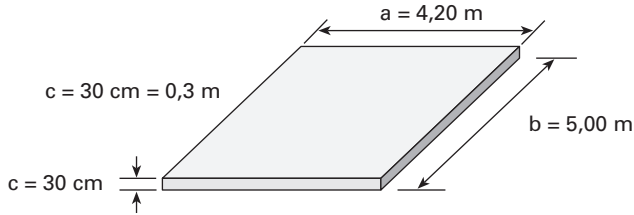
Pelo peso específico achado ($5,71 \text{ kN/m}^3$), essa madeira deve ser cedro. Cabreúva não é, pois seu peso específico (densidade) é $9,80 \text{ kN/m}^3$.

6. Qual o peso específico de uma madeira que apresentou, em uma peça, um peso de 21 kN para um volume de 2 m^3 ?

Da fórmula $\gamma = \frac{P}{V} \Rightarrow \gamma = \frac{21}{2} = 10,5 \text{ kN/m}^3$

Pelo peso específico ($10,5 \text{ kN/m}^3$), a madeira pode ser angico.

7. Qual o peso de uma laje de concreto armado que tem 30 cm de altura, por 5 m de largura e $4,20 \text{ m}$ de comprimento? Façamos o desenho:



O volume da laje é:

$$V = a \times b \times c = 4,20 \times 5,00 \times 0,3 = 6,30 \text{ m}^3$$

O peso específico do concreto armado é de 25 kN/m^3 . Logo, o peso pela fórmula é: $P = \gamma \times V = 25 \text{ kN/m}^3 \times 6,30 \text{ m}^3 = 157,5 \text{ kN}$.

1.3 CÁLCULO E TABELA DE PESOS POR ÁREA

Vimos, na aula 1.2, os métodos para uso do peso específico (peso por volume). Semelhantemente, agora, vamos ver o conceito de peso por área (P_A)^(*).

Para carregamentos que têm altura relativamente constante (tacos, tijolos, telhas), podemos usar o conceito de peso por área, já que a altura não varia muito na prática.

Assim, por exemplo, o pavimento de tacos (com argamassa) tem o peso por área de $0,65 \text{ kN/m}^2$, enquanto o soalho de madeira tem um peso por área de $0,15 \text{ kN/m}^2$.

A fórmula que relaciona peso por área, peso (P) e área (A) de uma peça é:

$$P_A = \frac{P}{A} \quad \text{ou} \quad P = P_A \times A \quad \text{ou} \quad A = \frac{P}{P_A}$$

Vamos aos exemplos:

1. Qual o peso que se transmite a uma laje, se esta for coberta por uma área de $5,2 \times 6,3 \text{ m}$ de ladrilho? O peso por área desse material é de $0,7 \text{ kN/m}^2$.

Da fórmula: $P = P_A \times A = 0,7 \text{ kN/m}^2 \times 5,2 \text{ m} \times 6,3 \text{ m} = 22,93 \text{ kN}$

2. Qual o peso por área de um soalho de tábuas, macho e fêmea, sobre sarrafões de madeira de lei, incluindo enchimento e laje de concreto, tendo uma área de 110 m^2 e transmitindo um peso de 314 kN ?

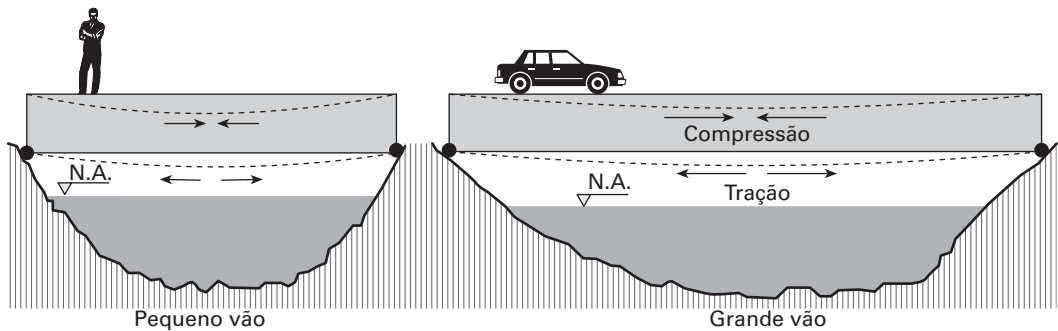
$$P_A = \frac{P}{A} = \frac{314}{110} = 2,85 \text{ kN/m}^2$$

^(*) P_A = peso por área, pode ser chamado de carregamento ou ainda de carga. O símbolo de área é A .

1.4 O CONCRETO ARMADO: O QUE É?

Os antigos utilizavam à larga a pedra como material de construção^(*), seja para edificar suas moradias, seja para construir fortificações, para vencer vãos de rios, ou para construir templos onde se recolhiam para tentar buscar o apoio de seus deuses. Uma coisa ficou clara: a pedra era ótimo material de construção; era durável e resistia bem a esforços de compressão (quando usada como pilares). Quando a pedra era usada como viga para vencer vãos de médio porte (pontes, por exemplo), então surgiam forças de tração (na parte inferior) e a pedra se rompia. Por causa disso, eram limitados os vãos que se podiam vencer com vigas de pedra. Observações para quem ainda não saiba: comprimir uma peça é tentar encurtá-la (aproximar suas partículas), tracionar uma peça é tentar distendê-la (afastar suas partículas), cisalhar é tentar cortar uma peça (como cortar manteiga com uma faca).

Vejamus um exemplo dessa limitação. À esquerda, um vão pequeno que gera pequenos esforços. Ao lado na figura da direita temos um grande vão onde os esforços são grandes, exercendo compressão na parte de cima da viga e a tendência à distensão na parte de baixo desta viga.



Observação: As deformações (linhas tracejadas) neste desenho estão exageradas (função didática).

Vejamus, agora, a situação em cada caso correspondente às ilustrações acima.

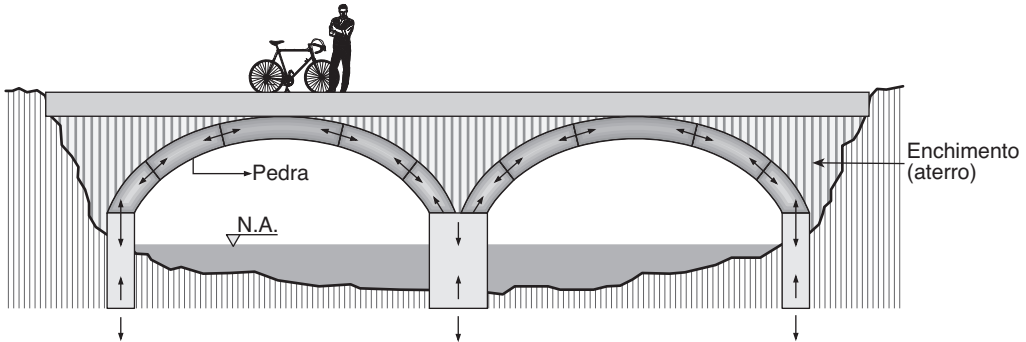
Pequeno vão. No meio da viga, surgem esforços internos em cima de compressão e embaixo, de tração. Como o vão é pequeno, os esforços são pequenos e a pedra resiste.

Grande vão. Para os vãos maiores, os esforços de compressão e os de tração crescem. A pedra resiste bem aos de compressão e mal aos de tração. Se aumentar o vão, a pedra rompe por tração.

Os romanos foram mestres na arte de construir pontes de pedra em arco. Se não podiam usar vigas para vencer vãos maiores, usavam ao máximo um estratagemas, o

^(*) Nos dias atuais, isso persiste, por exemplo, em S. Tomé das Letras, sul de Minas Gerais e em algumas cidades do nordeste onde aflora o terreno rochoso.

uso de arcos, onde cada peça de pedra era estudada para só trabalhar em compressão, como se vê na ilustração a seguir.

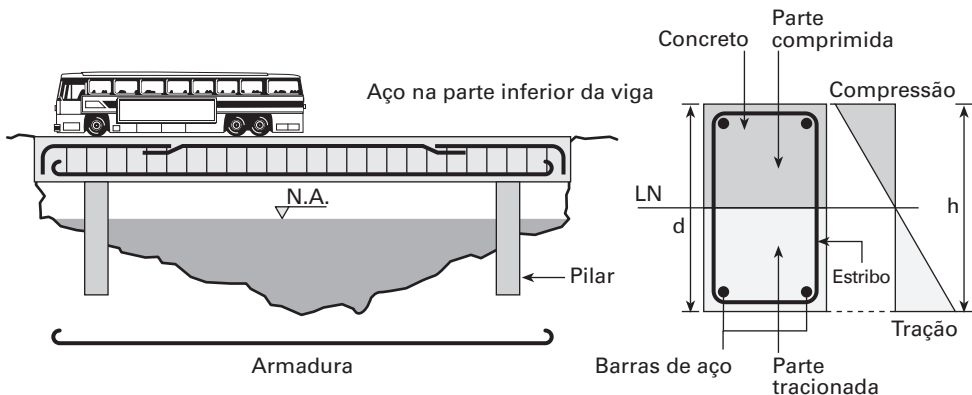


Procure sentir que todas as pedras, devido à forma da ponte em arco, estão sendo comprimidas, e aí elas resistem bem. A explicação de como essas peças de pedra só funcionam à compressão é dada em outra aula (aula 12.2).

Para se vencer grandes vãos, os antigos eram obrigados a usar múltiplos arcos. Vê-se que essas eram limitações da construção em pedra.

Quando o homem passou a usar o concreto (que é uma pedra artificial através de ligação pelo cimento, de pedra, areia e água), a limitação era a mesma. As vigas de eixo reto eram limitadas no seu vão pelo esforço de tração máximo que podiam suportar, tração essa que surgia no trecho inferior da viga.

Em média, o concreto resiste à compressão dez vezes mais que à tração. Uma ideia brotou: por que não usar uma mistura de material bom para compressão na parte comprimida e um bom para tração na parte tracionada? Essa é a ideia do concreto armado. Na parte tracionada do concreto, mergulha-se aço e, na parte comprimida, deixa-se só concreto (o aço resiste bem à tração). Assim, temos a ideia da viga de concreto armado.

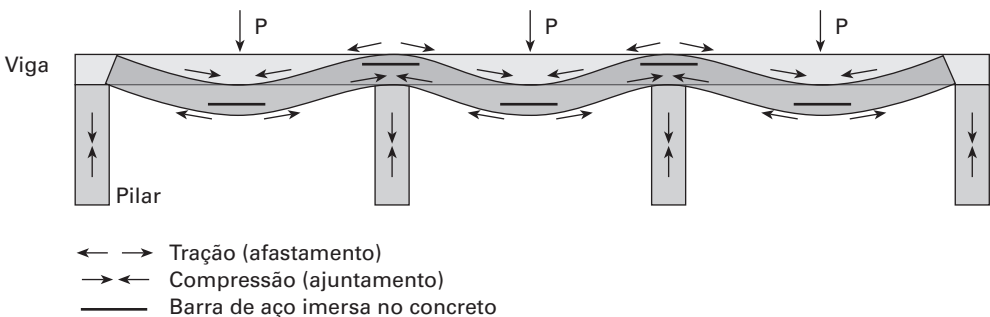


Observação: LN - Linha Neutra: nem tração nem compressão.

A armadura superior da viga e os estribos serão explicados ao longo deste livro.

Notamos que as barras de aço não ficam soltas e, sim, ficam amarradas, como que soldadas ao concreto da viga na sua parte inferior (essa solidariedade é fundamental). Dependendo das condições de solicitação e cálculo de viga, e sem maiores problemas de segurança, a parte inferior do concreto da mesma chega a fissurar (trincar, fala-se de fissuras no limite de perceptibilidade visual)^(*) e sem maiores problemas, já que quem está aguentando aí é o aço, e o concreto já foi (a parte tracionada do concreto trincou). Na parte superior, o concreto galhardamente resiste em compressão (sua especialidade).

Numa viga de muitos tramos (muitos vãos), onde as solicitações de tração são por vezes nas partes inferiores e às vezes nas partes superiores, o aço vai em todas as posições onde há tração, como no exemplo a seguir:



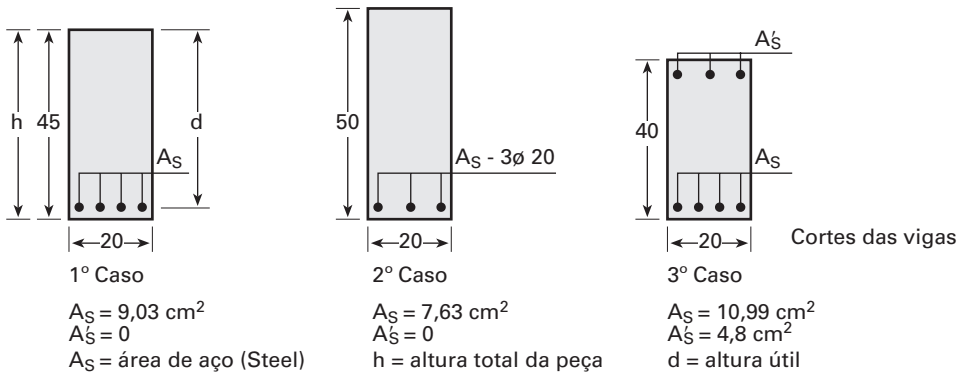
Observa-se que as deformações das vigas estão mostradas exageradas no desenho, tendo apenas o objetivo de melhor esclarecer.

Nota-se que nos pontos onde as partículas da viga tendem a se afastar (tração ← →), colocamos barras de aço. Nos trechos das vigas onde as partículas tendem a se aproximar (compressão → ←), não há necessidade (embora às vezes se usem) de colocar barras de aço.

Dissemos que não há necessidade de usar aço na parte comprimida das estruturas. Devido aos conceitos que introduziremos mais tarde (Módulo de Elasticidade do aço comparado com o do concreto), o aço é um material mais “nobre” que o concreto e o uso do aço na parte comprimida do concreto economiza bastante área de concreto, tornando mais esbeltas as estruturas.

Assim, como veremos mais adiante, para se vencer um vão de cinco metros com uma carga de 30 kN/m, usando-se uma viga de concreto armado, teremos as seguintes soluções, conforme sejam as dimensões da viga. Concreto fck = 20 MPa, aço CA-50.

^(*) Fissuras de ordem de 0,2 a 0,4 mm. Ver NBR 6118, item 13.4.2, pág. 71 da norma.

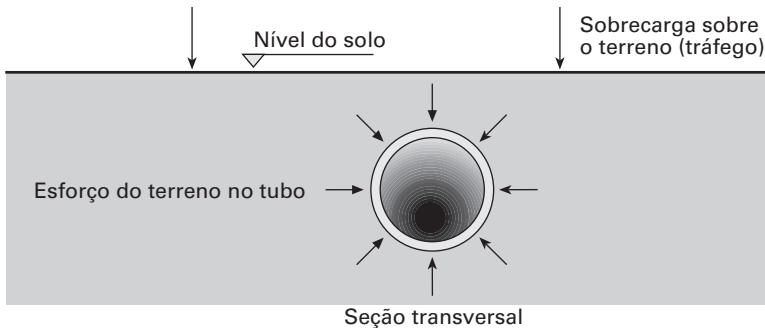


Notemos que no 1.º caso, onde temos uma altura de 45 cm, usamos $A_s = 9,03 \text{ cm}^2$ como armadura. Quando, no 2.º caso, temos maior altura (50 cm), a área de aço pode diminuir para $A_s = 7,63 \text{ cm}^2$. Quando, no 3.º caso, reduzimos a altura da viga para 40 cm, temos que “ajudar” o concreto no trabalho à compressão com $A'_s = 4,8 \text{ cm}^2$ e $A_s = 10,99 \text{ cm}^2$.

Nas vigas de prédio, e quando do cálculo, usando armadura inferior, chegamos a alturas demasiadas e que criam problemas com a arquitetura; podemos tirar partido de colocar aço na parte comprimida do concreto. O aço, sendo mais nobre, alivia a parte comprimida do concreto o que resulta em menores alturas das vigas. Voltaremos com mais detalhes em outras aulas. As vigas com dupla armação chamam-se duplamente armadas (lógico, não?). Também por razões que se verão mais adiante, devemos afastar ao máximo o aço do eixo horizontal de sistema de simetria da viga.

Analogamente, nos pilares, o aço é colocado o mais perifericamente possível.

Fica uma dúvida. Não se usam mais, hoje em dia, estruturas de concreto simples, ou seja, estruturas de concreto sem aço? Há casos de utilização^(*). Um exemplo de estruturas de concreto simples são alguns tubos de concreto de água pluvial de diâmetros pequenos. Os esforços do terreno nos mesmos geram, em geral, só esforços de compressão.

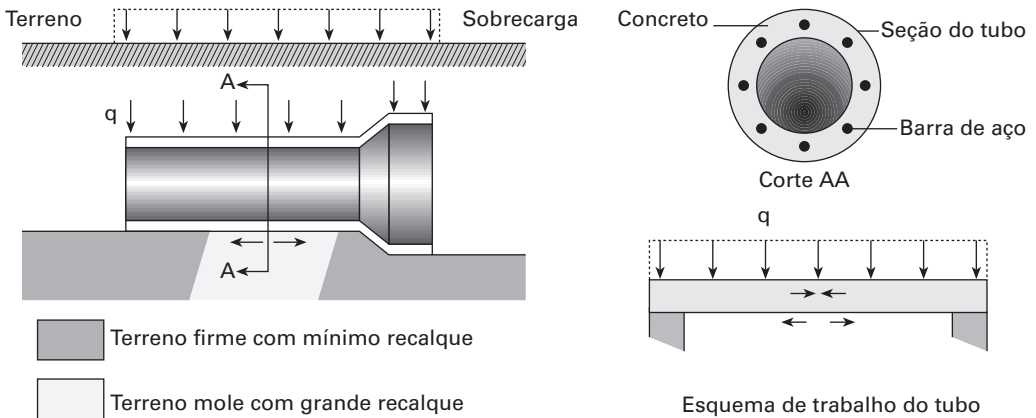


^(*) Na região sul do Brasil, constroem-se casas usando exclusivamente blocos de concreto simples. Somente no espaldar da casa (topo das paredes) é que se usam barras de aço formando cintas e nas vergas sobre aberturas (janelas e portas) nas alvenarias.

O tubo de concreto simples (sem armadura) resiste aos esforços externos que são de compressão. Portanto, não há necessidade de armadura, já que não há, a rigor, esforços de tração.

Claro que essa estrutura de concreto simples tem pequena resistência aos recalques do terreno. Se existirem recalques diferenciais (recalque grande em um ponto e pequeno em outro), o tubo funcionará como viga e daí, quem resiste à tração na parte inferior? O tubo pode então se romper. Colocamos então armadura no concreto. São os tubos de concreto armado.

Vejamus esse exemplo da seção longitudinal do tubo:



Nesses casos, a armadura do tubo seria necessária para vencer os efeitos da tração na parte inferior do tubo, já que temos, na prática, uma pequena viga.

Conclusão:

Uma estrutura de concreto armado (lajes, vigas, pilares, bancos de jardim, tubos, vasos etc.) é uma ligação solidária (fundida junta) de concreto (que nada mais é do que uma pedra artificial composta por pedra, areia, cimento e água), com uma estrutura resistente à tração, que, em geral, é o aço.

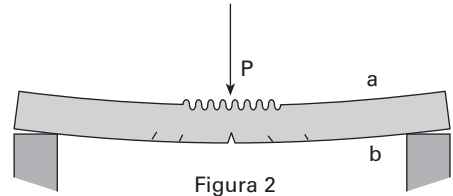
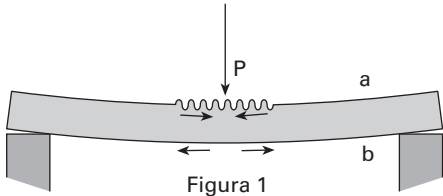
Normalmente, a peça tem só concreto na parte comprimida e tem aço na parte tracionada. Às vezes, alivia-se o concreto da parte comprimida, colocando-se aí umas barras de aço.

O aço, entretanto, não pode estar isolado ou pouco íntimo com o concreto que o rodeia. O aço deve estar solidário, atritado, fundido junto, trabalhando junto e se deformando junto e igualmente com o concreto.

Quanto mais atrito tivermos entre o concreto e o aço, mais próximos estaremos do concreto armado. Existem vários tipos de aço com saliências, fugindo de superfícies lisas, exatamente para dar melhores condições de união do aço e concreto.

Para explicar melhor por que aparecem trações (afastamentos) e compressões (encurtamentos) exageremos a deformação que ocorre em uma viga de pedra (ou de qualquer material), quando recebe um esforço vertical.

O aluno pode (deve) fazer um exemplo de viga, usando borracha, régua de plástico etc.

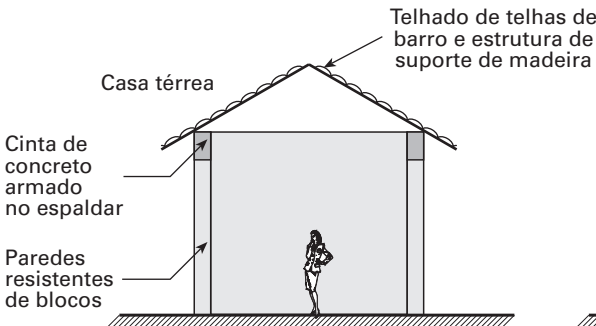
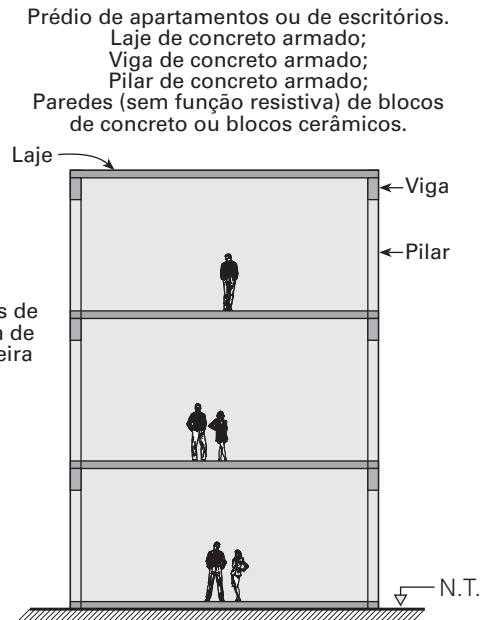


Notar que na borda a (Figura 1), há um encurtamento (zona comprimida) e na borda b, há uma distensão (zona tracionada). Alguns materiais resistem igualmente bem, tanto ao encurtamento como ao alongamento (distensão, tração), como, por exemplo, o aço e a madeira.

A pedra, que nada mais é do que o concreto natural, resiste bem à compressão e muito mal à tração, ou seja, quando os vãos das pontes eram grandes ou as cargas eram grandes, a pedra se rompia, pelo rompimento da parte inferior (Figura 2). Notemos que nas vigas de concreto armado podem aparecer fissuras na parte inferior da viga, indicando que o concreto já foi. Não há problema, pois aí quem resiste é o aço.

Nota: Pela norma NBR 6118, item 3, pág. 4

- estrutura de concreto armado usando concreto e armadura passiva (quando a estrutura recebe cargas);
- estrutura de concreto simples, só concreto sem armadura ou com pouca armadura.



CUSTOS DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

A Revista Construção e Mercado de setembro de 2008 dá os seguintes custos parciais da estrutura de concreto para uma construtora. Para entregar essa estrutura de concreto armado como seu produto ao um cliente deve-se acrescentar ao preço de custo o BDI ou sejam Benefícios e Despesas Indiretas.

Assim:

Preço de venda para o cliente = Preço de custo para a construtora + BDI

Como média: BDI = 35% do preço de custo para a construtora.

Estrutura de concreto armado <i>Preços de custo para a construtora</i>	
Especificação	Custo unitário por 1 m ³ de concreto
Concreto fck 25 MPa	R\$ 274,80
Armadura CA50 – 100 kg/m ³	R\$ 611,33
Fôrmas de chapa de madeira	R\$ 500,28
Lançamento e aplicação	R\$ 26,80
Total	R\$ 1.413,21

Esses custos incluem: materiais, mão de obra com leis sociais, equipamentos etc.

ASSUNTOS

1. Fôrmas e escoramento

Material das fôrmas

Para que a estrutura de concreto armado venha a ter o formato desejado, é necessário usar fôrmas que dão forma ao concreto. Atualmente, as fôrmas mais comuns são dos seguintes materiais possíveis:

- fôrmas de madeira – chapa plastificada, espessuras a escolher de 10, 12, 15 e 18 mm;
- fôrmas de madeira – chapa resinada;
- fôrmas de madeira – chapa tipo naval;
- fôrmas metálicas;
- fôrmas de papel cilíndricas;
- fôrmas de plástico.

O critério de escolha do tipo de material das fôrmas leva em conta, entre outros critérios, custos iniciais e possibilidades de reúso.

Escoramento:

- estruturas de madeira;
- estruturas de aço.

Sequência de atividades:

- constroem-se as fôrmas e sua estrutura de apoio que é o escoramento;
- colocam-se as armaduras nas fôrmas;
- produz-se ou compra-se o concreto;
- o concreto é lançado nas fôrmas;
- o concreto é vibrado e sofre cura, ganhando resistência e forma definitiva nas fôrmas;
- após certo tempo (7, 14, 28 dias), parte do escoramento é retirada;
- após certo tempo, as fôrmas são retiradas;
- após certo tempo, o escoramento é retirado.

2. O concreto e suas características

O concreto é a união de pedras, areia, cimento e água. Às vezes, usam-se adicionalmente produtos químicos (aditivos).

A primeira qualidade do concreto é sua resistência à compressão.

Quanto especificamente ao material concreto e sua principal característica é sua resistência à compressão, e isso é governado por duas características principais:

- teor de cimento por m^3 de concreto;
- relação água/cimento da mistura.

O concreto, quando de sua produção, é uma massa sem forma (quase fluida), e deverá ocupar o espaço interno nas fôrmas, competindo, assim, em termos de ocupação do espaço, com a armadura interna às fôrmas.

Para um concreto ocupar bem as fôrmas, ele tem de ter plasticidade (trabalhabilidade). Consegue-se isso com a seleção dos tipos de pedra, do teor de água da mistura e, eventualmente, com o uso de aditivos químicos. A trabalhabilidade do concreto antes de ser lançado nas fôrmas pode ser medida pelo teste do abatimento do cone (*slump test*).

Se pusermos muita água na mistura do concreto com o objetivo de aumentar sua plasticidade, isso pode diminuir a resistência e durabilidade da estrutura. Mas se pusermos mais água, uma maneira de compensar isso, sem a perda de resistência à compressão, será adicionar mais cimento. Isso aumenta o custo do concreto. O estudo da tecnologia do concreto procura resolver esses conflitos.