

MANOEL HENRIQUE CAMPOS BOTELHO
OSVALDEMAR MARCHETTI

CONCRETO

ARMADO

EU TE AMO

VOLUME 1

10.^a edição



Blucher

Segundo a
nova norma
de concreto
armado
NBR 6118/2014



MANOEL HENRIQUE CAMPOS BOTELHO
OSVALDEMAR MARCHETTI

**CONCRETO
ARMADO
EU TE AMO**
Volume 1

10^a EDIÇÃO
SEGUNDO A NORMA DE
CONCRETO ARMADO
NBR 6118/2014

Concreto armado eu te amo – vol. 1

© 2019 Manoel Henrique Campos Botelho e Osvaldemar Marchetti

10ª edição – 2019

Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil
Tel.: 55 11 3078-5366
contato@blucher.com.br
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 para a Editora Edgard Blücher Ltda.

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

Botelho, Manoel Henrique Campos
Concreto armado eu te amo : volume 1 /
Manoel Henrique Campos Botelho, Osvaldemar
Marchetti. – 10. ed. – São Paulo : Blucher, 2019.
544 p. : il.

10ª edição segundo a norma de concreto
armado
NBR 6118/2014

ISBN 978-85-212-1859-3 (impresso)
ISBN 978-85-212-1860-9 (e-book)

1. Concreto armado - Modelos matemáticos.
2. Resistência de materiais. I. Título. II. Marchetti,
Osvaldemar.

19-1644

CDD 620.137

Índice para catálogo sistemático:
1. Concreto armado – Modelos matemáticos

Conteúdo

Nota da 10^a edição	5
Agradecimentos	7
Nota explicativa	11
Notas introdutórias	19
Aula 1	20
1.1 Algumas palavras, o caso do Viaduto Santa Efigênia, São Paulo.....	20
1.2 Cálculo e tabela de pesos específicos.....	23
1.3 Cálculo e tabela de pesos por área	25
1.4 O concreto armado: o que é?	26
Aula 2	34
2.1 Cálculo e tabela de pesos lineares – Tabela-Mãe	34
2.2 Ação e reação – Princípios.....	36
2.3 Momento fletor ou ação à distância de uma força	38
2.4 Apresentamos o prédio que vamos calcular – Estruturação do prédio	41
2.5 Premissas do projeto estrutural – Desenvolvimento	48
Aula 3	50
3.1 Aplicações do princípio da ação e reação	50
3.2 Condições de equilíbrio de estruturas.....	52
3.3 Vínculos na engenharia estrutural.....	58
3.4 Como as estruturas sofrem, ou seja, apresentamos: a tração, o cisalhamento, a compressão e a torção – As três famosas condições.....	61
Aula 4	65
4.1 Determinação de momentos fletores e forças cortantes em vigas.....	65
4.1.1 Momento fletores.....	65
4.1.2 Forças cortantes (cisalhamento).....	77
4.2 Tensões (estudo de esforços internos)	81
4.3 Determinação de tensões de ruptura e admissíveis	84
4.4 Dos conceitos de tensão de ruptura e tensão admissível aos conceitos de resistência característica e resistência de cálculo.....	88

Aula 5	92
5.1 Massas longe do centro funcionam melhor ou o cálculo do momento de inércia (I) e módulo de resistência (W).....	92
5.2 Dimensionamento herético de vigas de concreto simples	105
5.3 O que é dimensionar uma estrutura de concreto armado?	110
Aula 6	112
6.1 Aços disponíveis no mercado brasileiro	112
6.1.1 Nota 1	112
6.1.2 Nota 2.....	113
6.1.3 Nota 3.....	113
6.1.4 Nota 4.....	113
6.1.5 Nota 5.....	114
6.1.6 Nota 6.....	114
6.1.7 Nota 7.....	115
6.1.8 Nota 8.....	115
6.1.9 Nota 9.....	115
6.2 Normas brasileiras relacionadas com o concreto armado	115
6.3 Abreviações em concreto armado	115
6.4 Cargas de projeto nos prédios.....	117
6.5 Emenda das barras de aço	119
Aula 7	121
7.1 Quando as estruturas se deformam ou a Lei de Mr. Hooke – Módulo de elasticidade (E)	121
7.2 Vamos entender de vez o conceito de Módulo de Elasticidade, ou seja, vamos dar, de outra maneira, a aula anterior	126
7.3 Análise dos tipos de estruturas – estruturas isostáticas, hiperestáticas e as perigosas (e às vezes úteis) hipostáticas	127
Aula 8	130
8.1 Fragilidade ou ductilidade de estruturas (ou por que não se projetam vigas superarmadas, e sim subarmadas)	130
8.2 Lajes – Uma introdução a elas	132
8.2.1 Notas introdutórias às lajes isoladas	132
8.2.2 Notas introdutórias às lajes conjugadas.....	134
Aula 9	140
9.1 Para não dizer que não falamos do conceito exato das tensões.....	140
9.2 Cálculo de lajes	143
9.2.1 Tipos de lajes quanto à sua geometria.....	143
9.2.2 Lajes armadas em uma só direção	144
9.2.3 Lajes armadas em duas direções – Tabelas de cálculo de Barès-Czerny.....	145
9.3 Para usar as Tabelas de cálculo de Barès-Czerny.....	148

Aula 10	166
10.1 Vínculos são compromissos (ou o comportamento das estruturas face aos recalques ou às dilatações)	166
10.2 Exemplos reais e imperfeitos de vínculos.....	169
10.3 Cálculos das lajes – Espessuras mínimas	173
Aula 11	176
11.1 O aço no pilar atrai para si a maior parte da carga	176
11.2 Flexão composta normal.....	180
11.3 Lajes – Dimensionamento	183
11.4 Cobrimento da armadura – Classes de agressividade.....	188
Aula 12	190
12.1 Se o concreto é bom para a compressão, por que os pilares não prescindem de armaduras?.....	190
12.2 Como os antigos construíam arcos e abóbadas de igrejas?	193
12.3 Começamos a calcular o nosso prédio – Cálculo e dimensionamento das lajes L-1, L-2 e L-3	196
Aula 13	207
13.1 Vamos entender o fck?.....	207
13.2 Entendendo o teste do abatimento do cone (<i>slump</i>) do concreto.....	211
13.3 Terminou o projeto estrutural do prédio – Passagem de dados para obra	213
13.4 Os vários estágios (estádios) do concreto	213
13.5 Cálculo e dimensionamento das lajes L-4, L-5 e L-6	215
Aula 14	224
14.1 Vamos preparar uma betonada de concreto e analisá-la criticamente? ...	224
14.2 Das vigas contínuas às vigas de concreto dos prédios.....	227
14.3 Cálculo isostático ou hiperestático dos edifícios.....	230
14.4 Cálculo de dimensionamento das lajes L-7 e L-8	232
14.4.1 Cálculo das lajes L-7 = L-8 (lajes dos dormitórios)	232
Aula 15	236
15.1 Cálculo padronizado de vigas de um só tramo para várias condições de carga e de apoio	236
15.2 Os vários papéis do aço no concreto armado.....	245
15.3 Cálculo e dimensionamento das escadas do nosso prédio	248
15.3.1 Cálculo dos degraus	248
Aula 16	252
16.1 Cálculo de vigas contínuas pelo mais fenomenológico dos métodos, o método de Cross	252
16.2 A arte de escorar e a não menor arte de retirar o escoramento	273

16.3	Atenção: cargas nas vigas!!!.....	274
16.3.1	Lajes armadas em uma só direção.....	275
Aula 17	.....	277
17.1	Flambagem ou a perda de resistência dos pilares quando eles crescem..	277
17.1.1	Flambagem – uma visão fenomenológica.....	277
17.1.2	Flambagem – de acordo com a norma NBR 6118	284
17.2	O concreto armado é obediente, trabalha como lhe mandam.....	315
Aula 18	.....	318
18.1	Dimensionamento de vigas simplesmente armadas à flexão.....	318
18.2	Dimensionamento de vigas duplamente armadas.....	325
18.3	Dimensionamento de vigas T simplesmente armadas	327
18.4	Dimensionamento de vigas ao cisalhamento.....	334
18.5	Disposição da armadura para vencer os esforços do momento fletor	341
Aula 19	.....	343
19.1	Ancoragem das armaduras.....	343
19.1.1	Introdução.....	343
19.1.2	Roteiro de cálculo do comprimento de ancoragem das barras tracionadas.....	344
19.1.3	Ancoragem das barras nos apoios.....	345
19.1.4	Casos especiais de ancoragem	345
19.1.5	Ancoragem de barras comprimidas	348
19.2	Detalhes de vigas – Engastamentos parciais – Vigas contínuas	353
19.3	Cálculo e dimensionamento das vigas do nosso prédio V-1 e V-3	355
Aula 20	.....	369
20.1	Dimensionamento de pilares – Complementos.....	369
20.2	Cálculo de pilares com dimensões especiais	370
20.3	Cálculo e dimensionamento da viga V-7	373
20.4	Detalhes da armadura de uma viga de um armazém	377
Aula 21	.....	379
21.1	Cálculo e dimensionamento das vigas V-1 = V-5	379
21.2	Cálculo e dimensionamento da viga V-4	386
Aula 22	.....	396
22.1	Cálculo e dimensionamento das vigas V-2 e V-6	396
22.1.1	Cálculo da viga V-2.....	396
22.1.2	Cálculo e dimensionamento da viga V-6	407
Aula 23	.....	417
23.1	Cálculo e dimensionamento das vigas V-8 e V-10.....	417
23.1.1	Cálculo e dimensionamento da viga V-8.....	417
23.1.2	Cálculo e dimensionamento da viga V-10.....	427

23.2 Cálculo e dimensionamento dos pilares do nosso prédio P-1, P-3, P-10, P-12	437
23.2.1 Cálculo da armadura desses pilares	437
23.3 Cargas nos pilares	441
Aula 24	442
24.1 Critérios de dimensionamento das sapatas do nosso prédio	442
24.1.1 Tensões admissíveis e área das sapatas	443
24.1.2 Formato das sapatas	447
24.1.3 Cálculo de sapatas rígidas	448
24.1.4 Exemplo de cálculo de uma sapata do nosso prédio (S_1)	448
24.2 Cálculo e dimensionamento dos pilares P-2 e P-11	453
24.3 Cálculo e dimensionamento dos pilares P-4, P-6, P-7 e P-9	456
24.4 Cálculo e dimensionamento dos pilares P-5 e P-8	460
Aula 25	463
25.1 Dimensionamento das sapatas do nosso prédio S-2, S-3 e S-4	463
25.1.1 Cálculo da sapata (S-2) dos pilares P-2 e P-11	463
25.1.2 Cálculo das sapatas (S-3) dos pilares P-4, P-6, P-7 e P-9	467
25.1.3 Cálculo das sapatas (S-4) dos pilares P-5 e P-8	471
25.2 Ábacos de dimensionamento de pilares retangulares	475
Aula 26	480
26.1 A Norma 12655/2006, que nos dá critérios para saber se alcançamos ou não o fck na obra	480
Aula 27	484
27.1 O relacionamento calculista × arquiteto	484
27.2 Construir, verbo participativo, ou melhor, será obrigatório calcular pelas normas da ABNT?	485
27.3 Destrinchemos o BDI!	486
27.4 Por que estouram os orçamentos das obras?	487
27.5 A história do livro <i>Concreto armado eu te amo</i>	491
Aula 28	495
28.1 Ações permanentes	495
28.2 Ações variáveis	495
28.3 Estados-limite	495
28.3.1 Segurança das estruturas frente aos estados-limite	495
28.4 Estado-limite de serviço	496
28.4.1 Raras	496
28.4.2 Combinações usuais no estado-limite de serviço (ELS)	496
28.5 Combinação de ações	497
28.6 Combinação de serviços	497
28.6.1 Quase permanentes – Deformações excessivas	497
28.6.2 Frequentes – Fissuração, vibrações excessivas	497

Anexos	502
Anexo 1 Fotos interessantes de estruturas de concreto.....	502
Anexo 2 Comentários sobre itens da nova norma NBR 6118/2014 e aspectos complementares.....	510
Anexo 3 Revisão das normas de cimento.....	518
Anexo 4 Estimativa de custo da estrutura do prédio	519
Anexo 5 Crônicas estruturais	520
Crônica (parábola) chave de ouro deste livro	531
Índice remissivo de assuntos principais	533
Índice das tabelas	535
Consulta ao público leitor	536

AULA 1

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

Um dos engenheiros autores desta publicação, MHC Botelho, 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 por que as matérias da engenharia eram mostradas de maneira tão insossa e desinteressante. Só um dia, 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, é que houve um estalo. Ao ver aquela estrutura metálica com todas as suas formas 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?

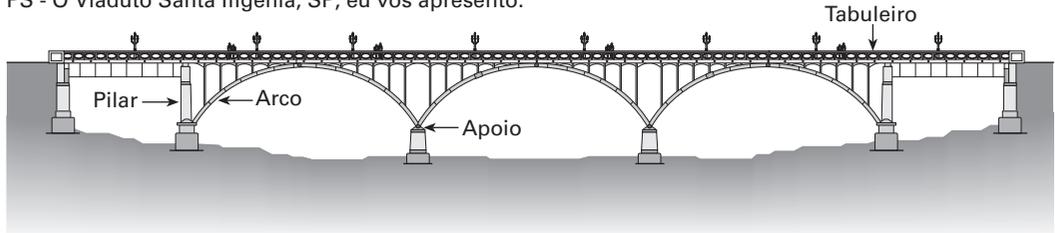
Ele nunca soube.

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.

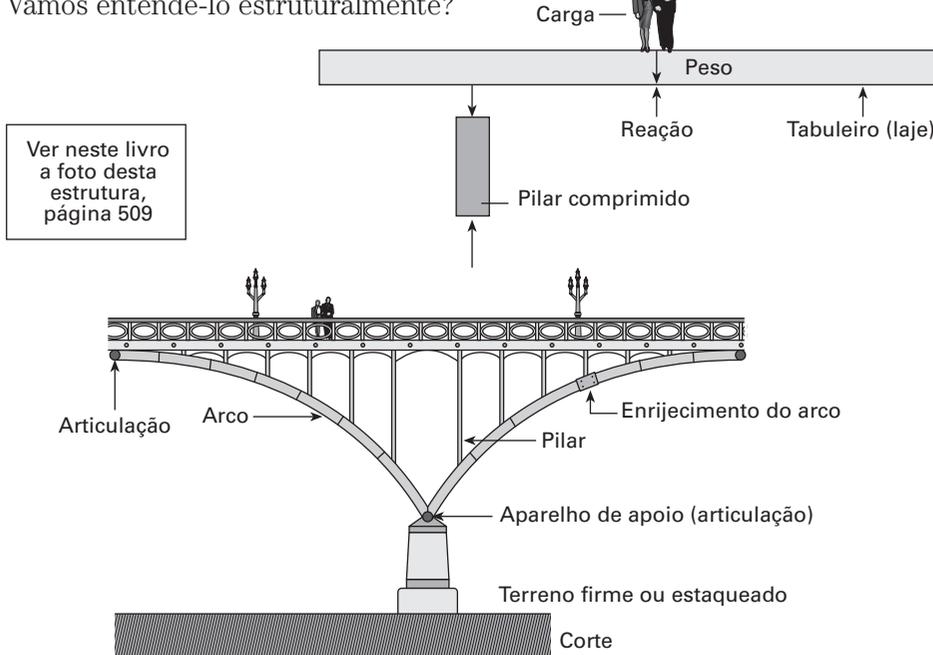
Convido o aluno a começar a olhar, sentir e entender as estruturas, não só as do curso, mas as que estão ao redor de sua casa, no caminho do seu trabalho etc.

PS - O Viaduto Santa Ifigênia, SP, eu vos apresento:



Ano de construção: 1913.

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.

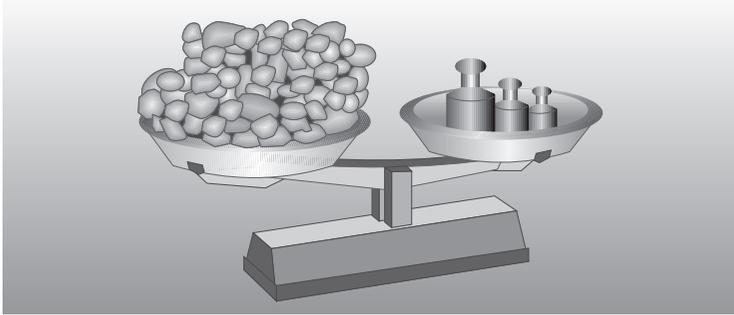


Estrutura de concreto armado (lajes, vigas e pilares) em construção. Formas e escoramento.



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 desiguais, 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

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

$$1 \text{ N} \cong 0,1 \text{ kgf}$$

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

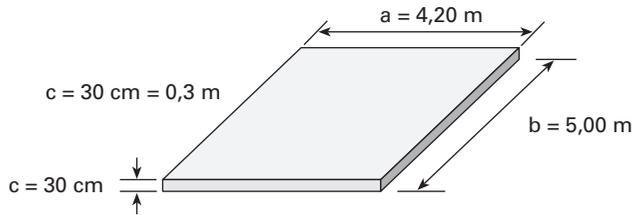
Pelo peso específico achado ($5,71 \text{ kN/m}^3$), essa madeira deve ser cedro. Cabreúva não é, pois seu peso específico (densidade) é $9,80 \text{ kN/m}^3$.

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:

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

- 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 ?

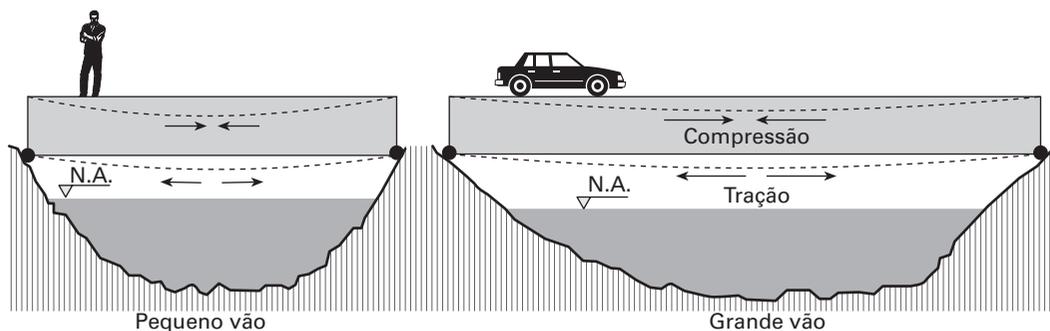
$$P_A = \frac{P}{A} = \frac{314}{110} = 2,85 \text{ kN/m}^2$$

^(*) P_A = peso por área, pode ser chamado de carregamento ou ainda de carga acidental. 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).

Vejamos 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).

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

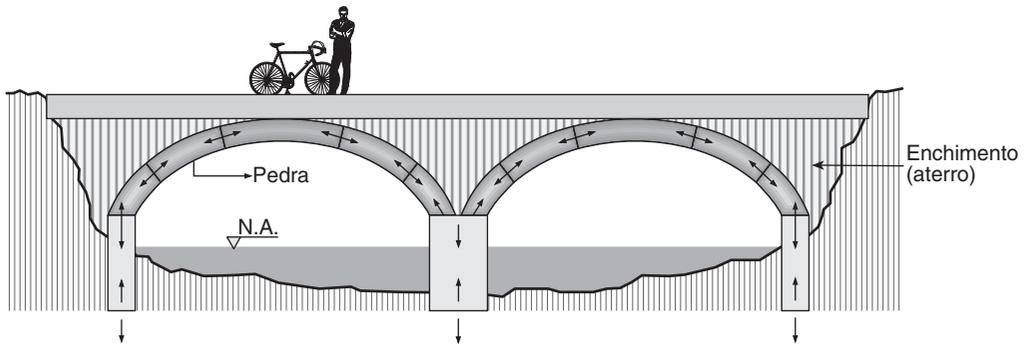
Pequeno vão. No meio da viga, surgem esforços internos, em cima de compressão e embaixo de tração. Como o vão é pequeno, os esforços são pequenos e a pedra resiste.

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 estratagema, o

^(*) Nos dias atuais, isso persiste, por exemplo, em S. Thomé 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.

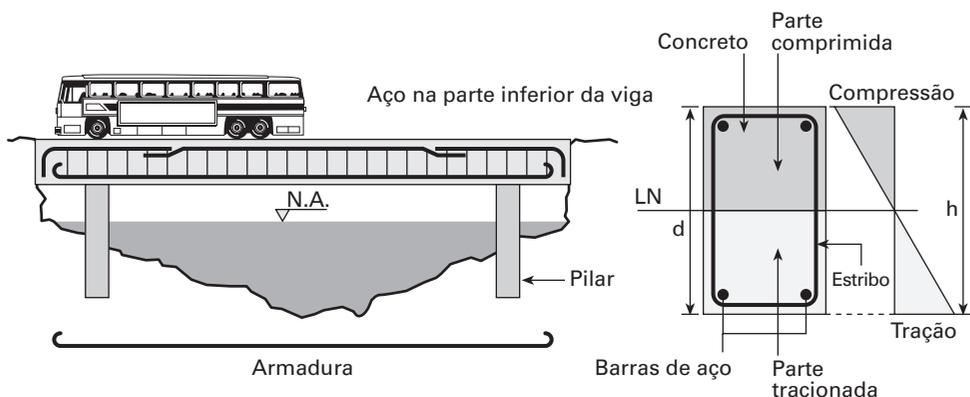


Procure sentir que todas as pedras, devido à forma da ponte em arco, estão sendo comprimidas, e aí elas resistem bem. A explicação de como essas peças de pedra só funcionam à compressão é dada em outra aula (Aula 12.2).

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.

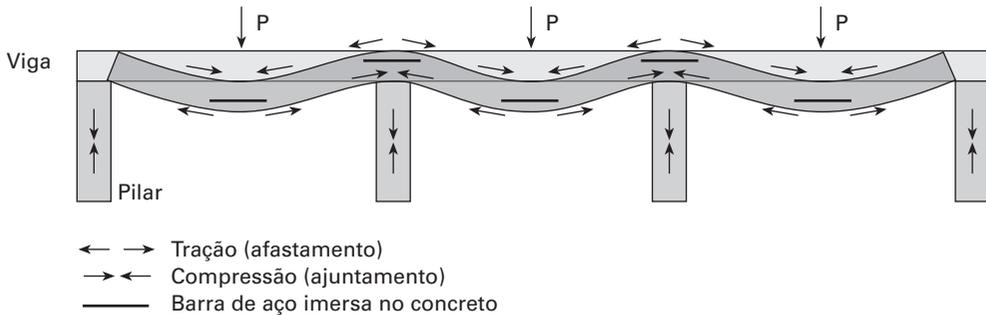


Observação: LN – Linha Neutra: nem tração nem compressão.

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 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 viga chega a fissurar (trincar, fala-se de fissuras no limite de perceptibilidade visual)^(*) 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:



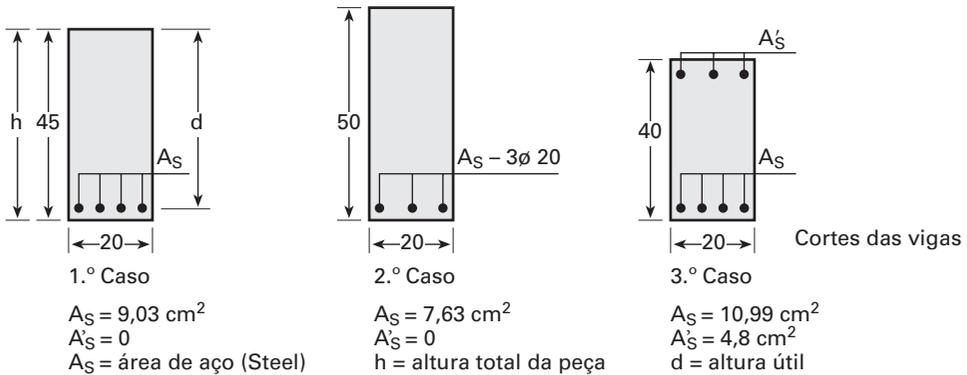
Observa-se que as deformações das vigas estão mostradas exageradas no desenho, tendo apenas o objetivo de melhor esclarecer.

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

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 $f_{ck} = 20$ MPa, aço CA-50.

^(*) Fissuras de ordem de 0,2 a 0,4 mm. Ver NBR 6118, item 13.4.2, p. 79 da norma.

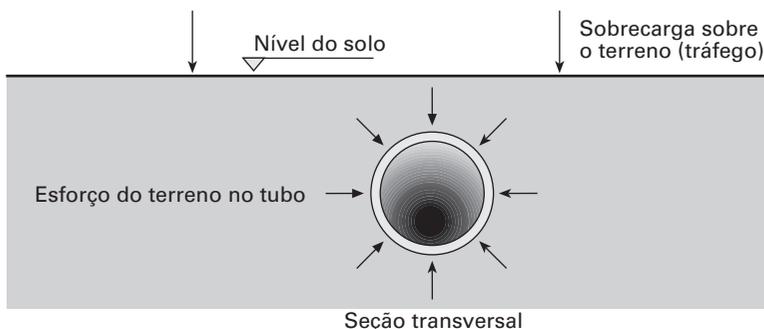


Notemos que no 1.º caso, onde temos uma altura de 45 cm, usamos $A_s = 9,03 \text{ cm}^2$ como armadura. Quando, no 2.º caso, temos maior altura (50 cm), a área de aço pode diminuir para $A_s = 7,63 \text{ cm}^2$. Quando, no 3.º caso, reduzimos a altura da viga para 40 cm, temos que “ajudar” o concreto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

Nas vigas de prélio, 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 periféricamente 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 neles geram, em geral, só esforços de compressão.

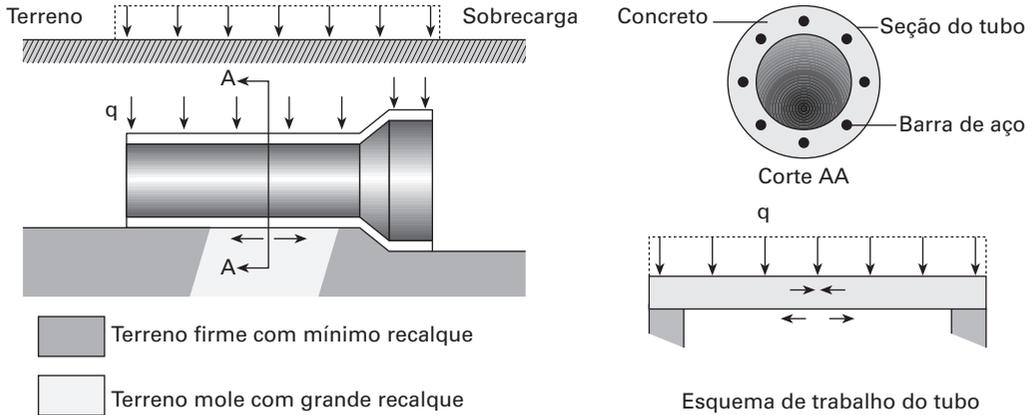


(*) Na Região Sul do Brasil, constroem-se casas usando exclusivamente blocos de concreto simples. Somente no espaldar da casa (topo das paredes) é que se usam barras de aço formando cintas e nas vergas sobre aberturas (janelas e portas) nas alvenarias.

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.

Vejam os 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 junto) 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.

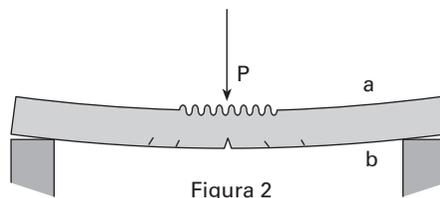
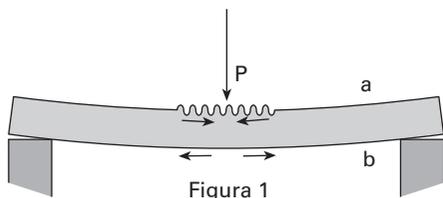
Normalmente, a peça tem só concreto na parte comprimida e tem aço na parte tracionada. Às vezes, alivia-se o concreto da parte comprimida, colocando-se aí umas barras de aço.

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) exageraremos 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.

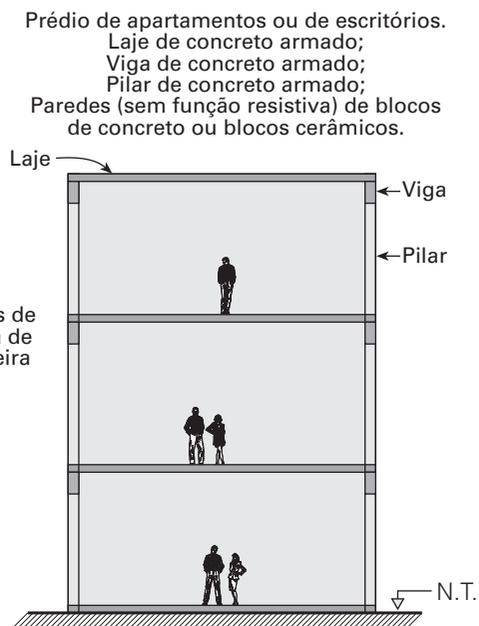
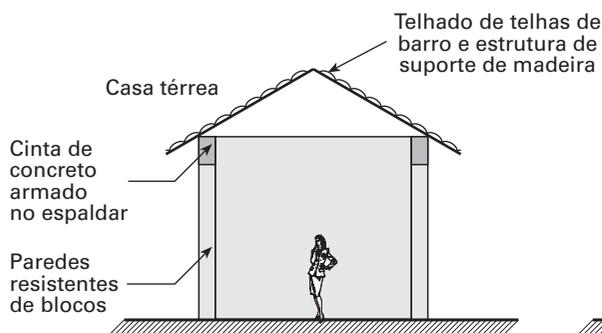


Notar que, na borda a (Figura 1), há um encurtamento (zona comprimida) e, na borda b, há uma distensão (zona tracionada). Alguns materiais resistem igualmente bem tanto ao encurtamento como ao alongamento (distensão, tração), como, por exemplo, o aço e a madeira.

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, p. 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 junho de 2013 dá os seguintes custos parciais da estrutura de concreto para uma construtora. Para entregar essa estrutura de concreto armado como seu produto ao cliente, a construtora deve acrescentar ao preço de custo o BDI, ou seja, 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 – Junho/2013</i>	
Especificação	Custo unitário por 1 m ³ de concreto
Concreto fck 25 MPa	R\$ 378,34
Armadura CA50 – 100 kg/m ³	R\$ 659,70
Formas de chapa de madeira ^(*)	R\$ 612,91
Lançamento e aplicação	R\$ 37,37
Total	R\$ 1.688,31

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

(*) média de 12 m²/m³ de concreto.

Portanto, o preço de venda da construtora para o cliente final será R\$ 1.688,31 × 1,35 = R\$ 2.279,21 para cada 1 m³ de concreto fornecido e lançado na obra pela construtora.

ASSUNTOS

1. Formas e escoramento

Material das formas

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

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

O critério de escolha do tipo de material das formas 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 formas e sua estrutura de apoio, que é o escoramento;
- colocam-se as armaduras nas formas;
- produz-se ou compra-se o concreto;
- o concreto é lançado nas formas;
- o concreto é vibrado e sofre cura, ganhando resistência e forma definitiva nas formas;
- após certo tempo (7, 14, 28 dias), parte do escoramento é retirada;
- após certo tempo, as formas 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.

Especificamente em relação ao material concreto, 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 formas, competindo, assim, em termos de ocupação do espaço, com a armadura interna às formas.

Para um concreto ocupar bem as formas, 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 formas 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.

CONCRETO ARMADO EU TE AMO

Volume 1

Este livro foi desenvolvido para estudantes de Engenharia Civil e Arquitetura, tecnólogos e profissionais da construção em geral. Trata-se de um ABC explicativo, didático e prático sobre o mundo do concreto armado e tem aplicação prática em construções de até quatro andares, ou seja, a maior parte das edificações brasileiras.

A obra incorpora várias fotos e uma cartilha que explica a norma do concreto armado, seguindo a NBR 6118 (antiga NBR 1/78) e a NBR 14931. Aborda também aspectos de projetos de estruturas de concreto armado, de execução das obras e de controle de qualidade do concreto.

Para conhecer o mundo da NBR 6118, leia este livro escrito em linguagem prática e fácil, quase coloquial, fator relevante na aceitação e no sucesso do livro no mercado nacional, estabelecendo a “linguagem botelhana”.



Blucher



Clique aqui e:

VEJA NA LOJA

Concreto Armado - Eu te Amo - Vol. 1

Manoel Henrique Campos Botelho , Osvaldemar Marchetti

ISBN: 9788521218593

Páginas: 544

Formato: 17 x 24 cm

Ano de Publicação: 2019

Peso: 0.880 kg