



Escola Politécnica - EPBC



31200053662

BT/PEF-8814

ESFORÇOS RESISTENTES DO CONCRETO
SEÇÃO RETANGULAR

Lauro Modesto dos Santos
Professor Assistente Doutor
(recebido em 27/06/88)

EDITOR CHEFE

C.E.N.Mazzilli

COMISSÃO EDITORIAL

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| - Engenharia de Solos | W.Hachich |
| - Estruturas de Concreto | P.B.Fusco |
| - Estruturas Metálicas e de Madeira | P.B.Fusco |
| - Interação Solo-Estrutura | C.E.M.Maffei |
| - Mecânica Aplicada | D.Zagottis |
| - Métodos Numéricos | J.C. André |
| - Pontes e Grandes Estruturas | J.C.Figueiredo Ferraz |
| - Teoria das Estruturas | V.M.Souza Lima |

SEÇÃO RETANGULAR

Lauro Modesto dos Santos

Resumo

Apresenta-se um formulário que permite o cálculo analítico direto da resultante de compressão do concreto e respectivo momento resistente em seções retangulares submetidas a flexão normal composta, não necessariamente no estado limite último. Os esforços resistentes são dados em função da curvatura na seção e do encurtamento máximo do concreto.

As fórmulas apresentadas constituem valioso subsídio para a elaboração de programas para computador relativos a problemas de 2ª ordem, simplificando-os e diminuindo o tempo de processamento.

Abstract

A formulary is given for the direct analytical determination of both the resultant of concrete stresses in the compression zone and its resistant moment, in rectangular cross-sections under axial action-effects, not necessarily at the ultimate limit state. The resisting load effects are determined as a function of the curvature and the maximum compressive strain of the concrete.

The presented formulae constitute a valuable help for computer programs on 2nd order problems, simplifying them and reducing their processing time.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS E OBJETIVO DO TRABALHO.

Na elaboração dos diagramas de interação força normal - momento fletor - curvatura (usualmente denominados "diagramas momento-curvatura"), é necessário conhecer os esforços resistentes da seção em estudo, correspondentes a cada diagrama de deformações imaginado.

Os esforços resistentes oferecidos pelas barras de aço são de cálculo rápido, mas o mesmo não ocorre com a resultante R_{cc} de com-

pressão no concreto e com a sua posição, que exigem, geralmente, integração numérica para sua determinação. No caso da flexão normal composta, entretanto, e para as seções usuais, é relativamente simples o cálculo analítico de R_{cc} e do respectivo momento resistente. As fórmulas diretas assim obtidas constituem valioso subsídio para a composição de programas para computador, simplificando-os e diminuindo o tempo de processamento.

O objetivo deste trabalho é a determinação de fórmulas analíticas para o cálculo dos coeficientes η e η' , com os quais se obtêm imediatamente os esforços resistentes do concreto, de acordo com as equações gerais explicitadas no item 4 e com as notações do item 3. Os esforços resistentes do concreto serão dados em função do encurtamento máximo ϵ_c e da curvatura θ .

Este artigo ocupar-se-á da seção retangular. Trabalhos posteriores abordarão as seções: circular, em coroa de círculo e retangular vazada.

2. CONVENÇÃO DE SINAIS.

O momento fletor é suposto sempre positivo. A força normal e as tensões são positivas quando de compressão. Deformações positivas correspondem a encurtamentos.

3. NOTAÇÕES.

- a = distância da resultante R_{cc} à borda mais encurtada;
- b = largura da seção transversal;
- h = altura da seção transversal;
- c_2 = distância do C.G. O da seção à borda mais encurtada;
- d' = distância do C.G. de uma camada extrema de barras de aço à borda mais próxima;
- d_i = distância do C.G. da camada genérica i de barras de aço à borda mais encurtada;
- f_{cd} = valor de cálculo da resistência do concreto;

- f_{yd} = valor de cálculo da resistência do aço;
 i = camada genérica de barras de aço;
 n = número total de barras de aço;
 n' = "número de linhas", isto é, número de camadas de barras de aço;
 n_i = número de barras de aço da camada i ;
 r = raio de curvatura;
 x = profundidade da linha neutra;
 y = distância da fibra genérica de concreto à borda mais encurtada;
 v = distância da fibra genérica de concreto à linha neutra;
 x' = altura do bloco retangular de tensões no concreto, quando o diagrama de tensões é retangular-parabólico;
 w = altura do trecho parabólico "completo" - isto é, até a linha neutra - no diagrama de tensões retangular-parabólico;
 A_c = área da seção transversal;
 A_{cc} = área de concreto comprimido na seção;
 A_s = área total da seção da armadura;
 A_{si} = área de aço da camada i de barras;
 A, B, C e D = valores dados por expressões matemáticas definidas no texto;
 N = força normal;
 M = momento fletor;
 N_d = força normal de cálculo;
 M_d = momento fletor de cálculo;
 R_{cc} = resultante de compressão no concreto;
 $\beta_a = a / h$;
 $\beta_{c2} = c_2 / h$;
 $\beta_i = d_i / h$;
 $\beta_x = x / h$ = profundidade relativa da linha neutra;
 $\delta = d' / h$;

ϵ_c = encurtamento relativo máximo do concreto (na borda 2);

ϵ_{ci} = encurtamento relativo da fibra genérica de concreto;

ϵ_{c1} = deformação específica da borda 1 (borda tracionada pelo efeito exclusivo de MD;

$\eta = R_{cc} / (\sigma_{cd} \cdot A_c) =$ esforço normal resistente do concreto, reduzido dimensional;

$\eta' = R_{cc} \cdot \alpha / (\sigma_{cd} \cdot A_c \cdot h) =$ momento resistente do concreto, reduzido dimensional;

η_1 e η_2 = funções exclusivas de ϵ_c , que aparecem nas tabelas 1 e 2;

$\nu = N_d / (\sigma_{cd} \cdot A_c) =$ força normal reduzida dimensional;

$\mu = M_d / (\sigma_{cd} \cdot A_c \cdot h) =$ momento fletor reduzido dimensional;

$\sigma_{cd} = 0,85 f_{cd}$;

σ_c = tensão máxima de compressão no concreto;

σ_{ci} = tensão de compressão na fibra genérica de concreto;

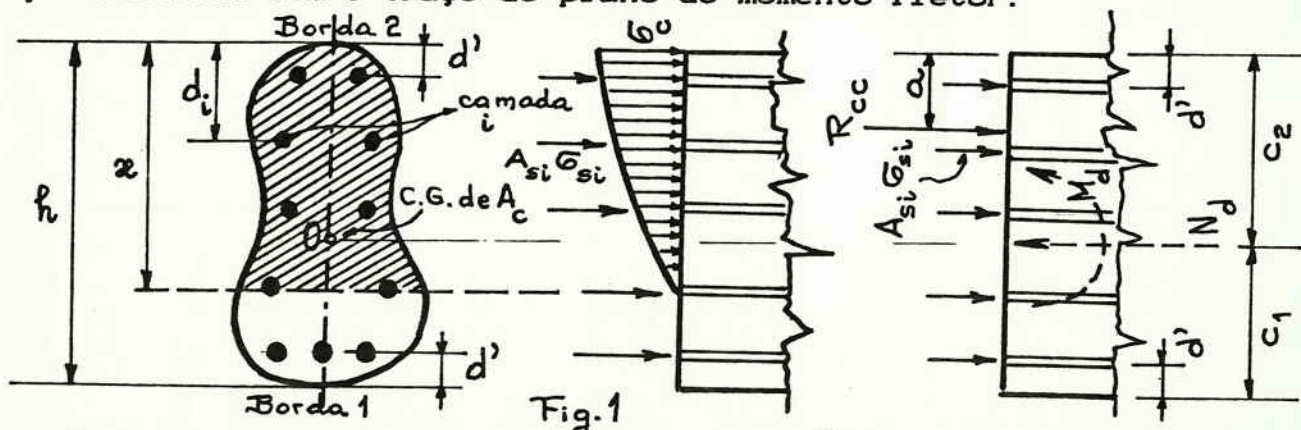
σ_{si} = tensão na camada genérica i de barras de aço;

$\theta = 1000 h / r =$ curvatura majorada dimensional;

$\omega = A_s \cdot f_{yd} / (A_c \cdot \sigma_{cd}) =$ taxa mecânica de armadura.

4. EQUAÇÕES GERAIS.

Seja a seção genérica da fig. 1, dotada de um eixo de simetria, que coincide com o traço do plano do momento fletor.



No ponto O, centro de gravidade da seção transversal de concreto A_c , agem os esforços N e M , ou N_d e M_d (podem ser majorados, mas não são, necessariamente, os últimos).

As equações de equilíbrio se escrevem:

$$N_d = R_{cc} + \sum_1^{n'} A_{si} \cdot \sigma_{si} ;$$

$$M_d = R_{cc} \cdot (c_2 - a) + \sum_1^{n'} A_{si} \cdot \sigma_{si} \cdot (c_2 - d_i) ;$$

Os segundos membros dessas equações são os esforços resistentes da seção. Eles correspondem a um determinado diagrama de deformações na seção. Podem ser escritos na forma adimensional (observando-se que $A_{si} = n_i \cdot A_s / n$, desde que todas as barras sejam de mesma bitola):

$$\nu = \eta + \frac{\omega}{n f_{yd}} \sum_1^{n'} n_i \sigma_{si} \quad (1)$$

$$\mu = \beta_{c2} \cdot \eta - \eta' + \frac{\omega}{n f_{yd}} \sum_1^{n'} n_i \sigma_{si} (\beta_{c2} - \beta_i) \quad (2)$$

onde

$$\nu = \frac{N_d}{\sigma_{cd} A_c} ; \quad \mu = \frac{M_d}{\sigma_{cd} A_c h} ; \quad (3)$$

$$\eta = \frac{R_{cc}}{\sigma_{cd} A_c} ; \quad \eta' = \frac{R_{cc} \cdot a}{\sigma_{cd} A_c h} ; \quad (4)$$

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c \sigma_{cd}} \quad (5)$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 f_{cd} \quad (6)$$

$$\beta_{c2} = \frac{c_2}{h} ; \quad \beta_i = \frac{d_i}{h} \quad (7)$$

Quando a seção tem dupla simetria, como é o caso do retângulo, $\beta_{c2} = 0,5$.

Usar-se-á também a relação básica:

$$\beta_x = \frac{\epsilon_c}{\theta} \quad (8)$$

que relaciona a profundidade relativa β_x da linha neutra e o encurtamento máximo ϵ_c - e, portanto, o diagrama de deformações da seção - com a curvatura θ .

5. PREPARO DE FORMULAS AUXILIARES.

5.1. Deformação ϵ_{ci} da fibra genérica.

A "fibra genérica" (elemento $b.dy$ ou $b.dv$, de área elementar dA_{cc}) é definida pela sua distância y à borda mais encurtada ou pela sua distância v à linha neutra (fig. 2).

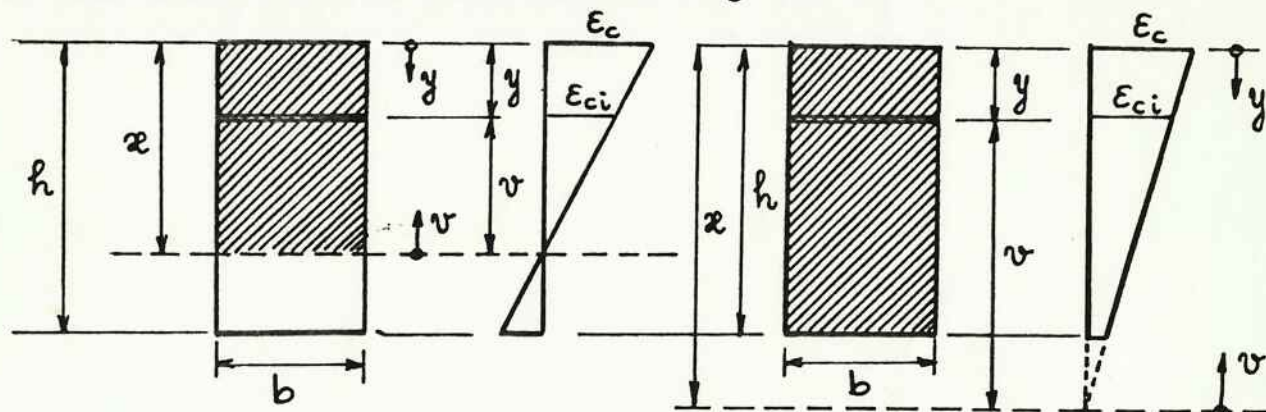


Fig. 2

$$\epsilon_{ci} = \frac{\epsilon_c \cdot v}{x}, \text{ onde } x = \beta_x \cdot h$$

$$\text{Considerando (8): } \epsilon_{ci} = \frac{\theta \cdot v}{h} \quad (9)$$

Ou também (fig. 2):

$$\frac{\epsilon_c}{x} = \frac{\epsilon_{ci}}{x - y}; \quad \epsilon_{ci} = \epsilon_c - \frac{\epsilon_c \cdot y}{x};$$

$$\epsilon_{ci} = \epsilon_c - \frac{\theta \cdot y}{h} \quad (10)$$

5.2. Tensão σ_{ci} na fibra genérica.

Trabalhando com as deformações em ‰:

$$\text{se } \epsilon_{ci} \geq 2 : \sigma_{ci} = \sigma_{cd}; \quad (11)$$

$$\text{se } \epsilon_{ci} < 2 : \sigma_{ci} = \sigma_{cd} \left(\epsilon_{ci} - \frac{\epsilon_{ci}^2}{4} \right) \quad (12)$$

$$\text{donde: } \sigma_{ci} = \sigma_{cd} \left(\frac{\theta \cdot v}{h} - \frac{\theta^2 \cdot v^2}{4 h^2} \right) \quad (13)$$

Ou então:

$$\sigma_{ci} = \sigma_{cd} \left[\epsilon_c - \frac{\theta \cdot y}{h} - \frac{1}{4} \left(\epsilon_c - \frac{\theta \cdot y}{h} \right)^2 \right];$$

$$\sigma_{ci} = \sigma_{cd} \left[\epsilon_c - \frac{\epsilon_c^2}{4} + \frac{\theta}{h} \left(\frac{\epsilon_c}{2} - 1 \right) \cdot y - \frac{\theta^2}{4 h^2} y^2 \right]$$

Fazendo:

$$A = \epsilon_c - \frac{\epsilon_c^2}{4} \quad (14)$$

$$B = \frac{\theta(\epsilon_c - 2)}{2} \quad (15)$$

$$C = -\frac{\theta^2}{4} \quad (16)$$

resulta:

$$\sigma_{ci} = \sigma_{cd} \left[A + B \frac{y}{h} + C \frac{y^2}{h^2} \right] \quad (17)$$

5.3. Localização da fibra com $\epsilon_{ci} = 2$ (‰)

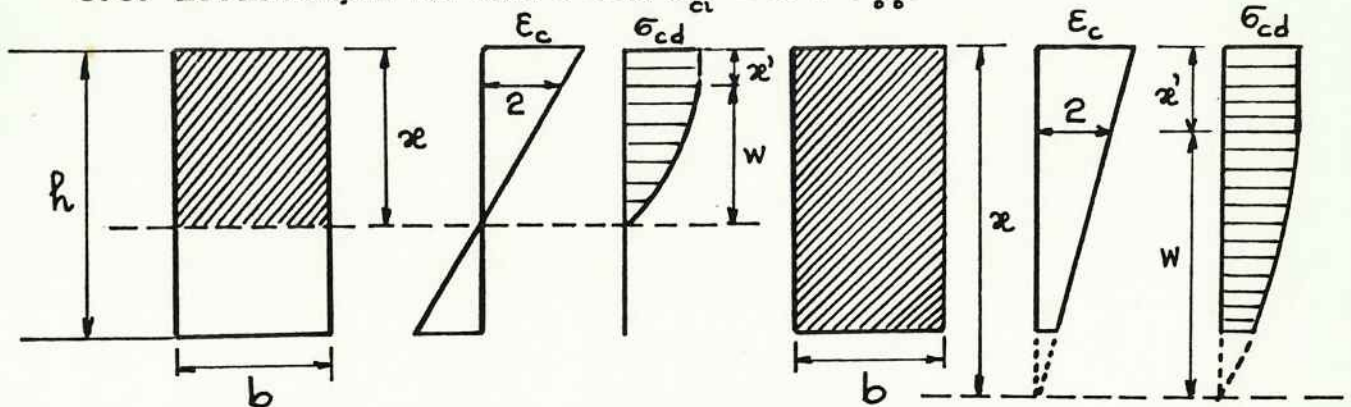


Fig. 3

$$\frac{\epsilon_c}{x} = \frac{\epsilon_c - 2}{x'}; \quad x' = x \cdot \frac{\epsilon_c - 2}{\epsilon_c} = \frac{\epsilon_c - 2}{\epsilon_c} \cdot \beta_x h = \frac{(\epsilon_c - 2) h}{\theta};$$

Com $D = \frac{\epsilon_c - 2}{\theta}, \quad (18)$

$$x' = D \cdot h \quad (19)$$

Ou então:

$$\frac{\epsilon_c}{x} = \frac{2}{w}; \quad w = \frac{2x}{\epsilon_c} = \frac{2 \beta_x h}{\epsilon_c} = \frac{2 h}{\theta};$$

$$w = \frac{2}{\theta} \cdot h \quad (20)$$

6. CASOS A CONSIDERAR.

O estudo analítico compreende 4 casos:

Caso 1) $\epsilon_c \leq 2$ (em ‰); $x \leq h$

Caso 2) $\epsilon_c > 2$ (em ‰); $x \leq h$

Caso 3) $\epsilon_c \leq 2$ (em ‰); $x > h$

Caso 4) $\epsilon_c > 2$ (em ‰); $x > h$

7.1. Caso 1.

Neste caso, é mais simples calcular com o auxílio da fórmula 13.

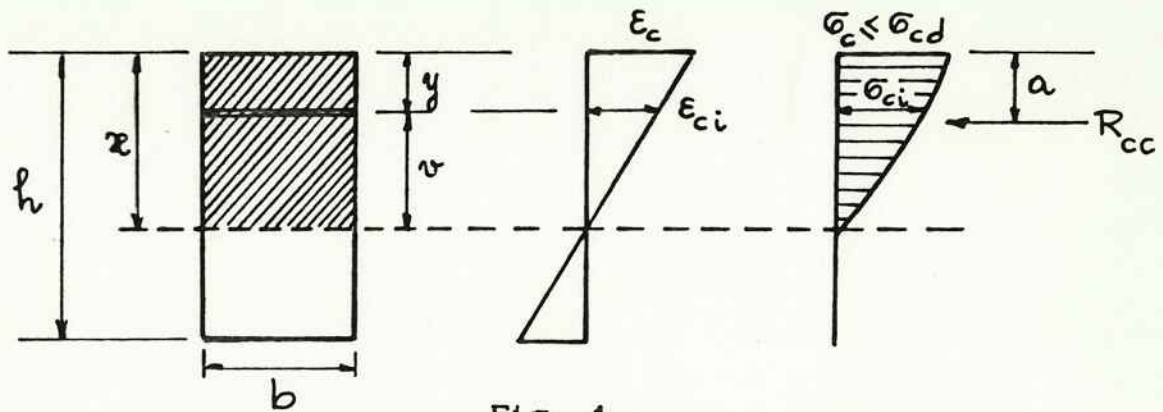


Fig. 4

$$R_{cc} = \int_0^x \sigma_{ci} \cdot b \cdot dv = \int_0^x b \cdot \sigma_{cd} \left(\theta \frac{v}{h} - \frac{\theta^2}{4} \frac{v^2}{h^2} \right) = b \cdot \sigma_{cd} \left(\frac{\theta}{h} \frac{x^2}{2} - \frac{\theta^2}{4h^2} \frac{x^3}{3} \right)$$

$$= R_{cc} = \sigma_{cd} \cdot b \cdot h \left[\frac{\epsilon_c^2}{2\theta} - \frac{\epsilon_c^3}{12\theta} \right] = \sigma_{cd} \cdot b \cdot h \frac{\epsilon_c^2}{12\theta} (6 - \epsilon_c)$$

Sendo, por definição, $R_{cc} = \eta \cdot \sigma_{cd} \cdot b \cdot h$, resulta:

$$\eta = \frac{\epsilon_c^2}{12\theta} (6 - \epsilon_c) \quad (21)$$

O cálculo de $R_{cc} \cdot a$ também será feito a partir da fórmula 13, tendo sempre em mente a relação (8):

$$R_{cc} \cdot a = \int_0^x \sigma_{ci} \cdot b(x-v) \cdot dv = \int_0^x \sigma_{cd} \cdot b \left(\frac{\theta}{h} v - \frac{\theta^2}{4h^2} v^2 \right) (x-v) \cdot dv =$$

$$= \sigma_{cd} \cdot b h^2 \cdot \frac{\epsilon_c^3}{\theta^2} \cdot \frac{(8-\epsilon_c)}{48}$$

donde: $\eta' = \frac{\epsilon_c^3 (8-\epsilon_c)}{48\theta^2} \quad (22)$

7.2. Caso 2.

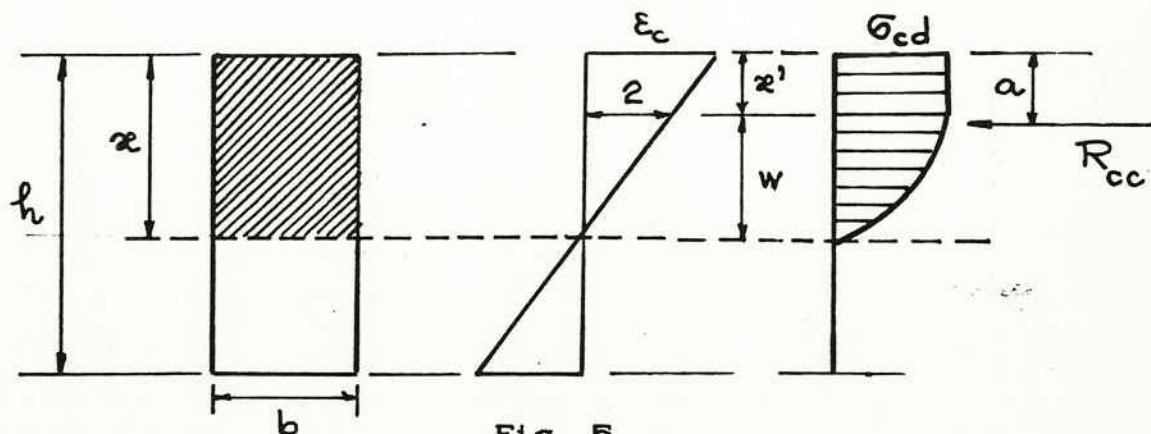


Fig. 5

$$R_{cc} = \sigma_{cd} \cdot b \cdot x' + \frac{2}{3} \sigma_{cd} \cdot b \cdot w = \sigma_{cd} \cdot b \left(x' + \frac{2}{3} w \right)$$

Lembrando (19) e (20):

$$R_{cc} = \sigma_{cd} \cdot b \left[\frac{(\epsilon_c - 2)}{\theta} h + \frac{2}{3} \frac{2}{\theta} h \right] = \sigma_{cd} \cdot b \cdot h \frac{3\epsilon_c - 2}{3\theta}$$

$$\eta = \frac{3\epsilon_c - 2}{3\theta} \quad (23)$$

$$R_{cc} \cdot a = \sigma_{cd} \cdot b \cdot \frac{x'^2}{2} + \frac{2}{3} \sigma_{cd} \cdot b \cdot w \left(\frac{3}{\theta} w + x' \right) = \frac{\sigma_{cd} \cdot b \cdot h^2}{6\theta^2} (3\epsilon_c^2 - 4\epsilon_c + 2);$$

$$\eta' = \frac{3\epsilon_c^2 - 4\epsilon_c + 2}{6\theta^2} \quad (24)$$

7.3. Caso 3.

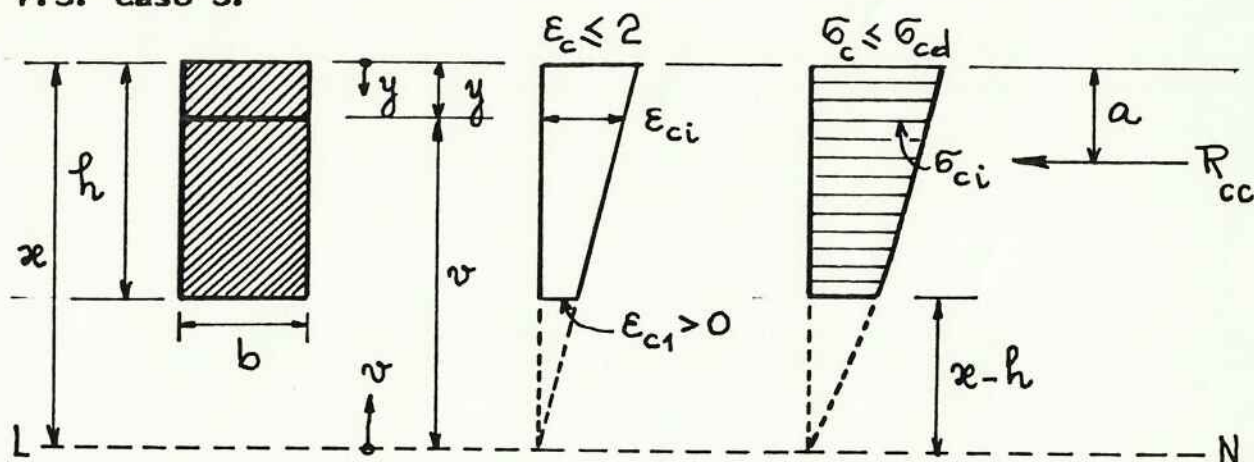


Fig. 6

Neste caso, é mais simples trabalhar com a fórmula (17):

$$R_{cc} = \int_0^h \sigma_{ci} \cdot b \cdot dy = \sigma_{cd} \cdot b \int_0^h \left(A + B \frac{y}{h} + C \frac{y^2}{h^2} \right) dy = \sigma_{cd} \cdot b \cdot h \left(A + \frac{B}{2} + \frac{C}{3} \right)$$

$$\eta = A + \frac{B}{2} + \frac{C}{3} \quad (25)$$

$$R_{cc} \cdot a = \int_0^h \sigma_{ci} \cdot b \cdot y \cdot dy = \sigma_{cd} \cdot b \int_0^h \left(Ay + B \frac{y^2}{h} + C \frac{y^3}{h^2} \right) dy =$$

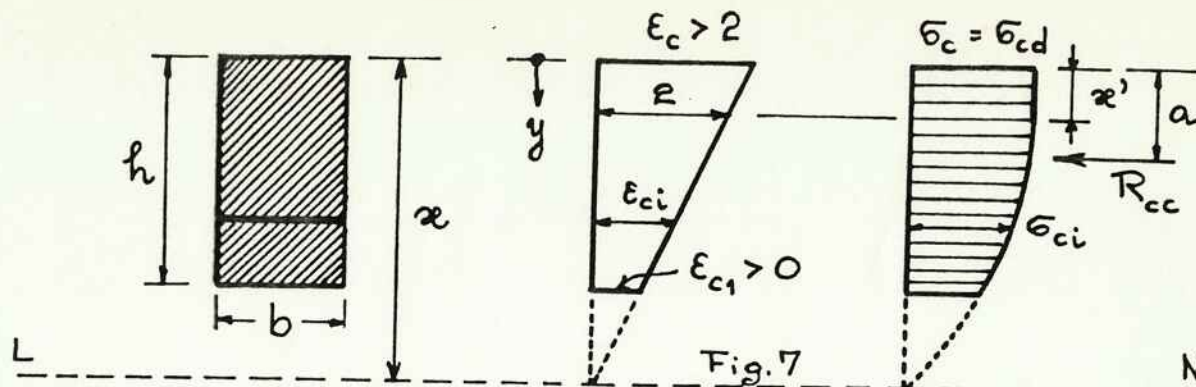
$$R_{cc} \cdot a = \sigma_{cd} \cdot b \cdot h^2 \left(\frac{A}{2} + \frac{B}{3} + \frac{C}{4} \right)$$

$$\eta' = \frac{A}{2} + \frac{B}{3} + \frac{C}{4} \quad (26)$$

7.4. Caso 4.

$$\epsilon_c > 2 \quad (^\circ/\infty); \quad x > h$$

(Vide fig. 7)



$$R_{cc} = \sigma_{cd} b \cdot x' + \int_{x'}^h \sigma_{ci} b \cdot dy = \sigma_{cd} b \left[D \cdot h + \int_{x'}^h \left(A + B \frac{y}{h} + C \frac{y^2}{h^2} \right) dy \right]$$

$$= \sigma_{cd} b \cdot h \left[D + A(1 - D) + \frac{B}{2}(1 - D^2) + \frac{C}{3}(1 - D^3) \right];$$

$$\eta = D + A(1 - D) + \frac{B}{2}(1 - D^2) + \frac{C}{3}(1 - D^3) \quad (27)$$

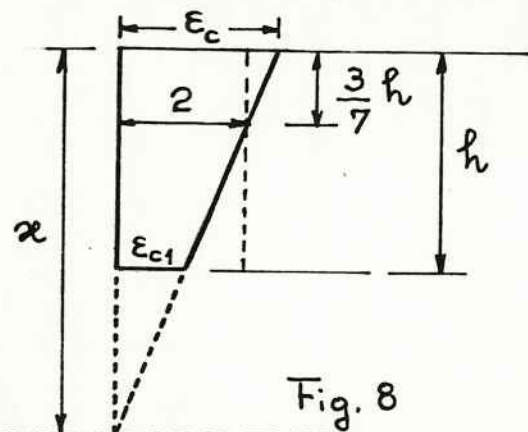
$$R_{cc} \cdot a = \sigma_{cd} b \frac{x'^2}{2} + \int_{x'}^h \sigma_{ci} b \cdot y \cdot dy =$$

$$= \sigma_{cd} b \frac{D^2}{2} h^2 + \int_{x'}^h \sigma_{cd} b \left(A \cdot y + B \frac{y^2}{h} + C \frac{y^3}{h^2} \right) dy =$$

$$= \sigma_{cd} b \cdot h^2 \left[\frac{D^2}{2} + A \left(\frac{1}{2} - \frac{D^2}{2} \right) + B \left(\frac{1}{3} - \frac{D^3}{3} \right) + C \left(\frac{1}{4} - \frac{D^4}{4} \right) \right];$$

$$\eta' = \frac{D^2}{2} + \frac{A}{2}(1 - D^2) + \frac{B}{3}(1 - D^3) + \frac{C}{4}(1 - D^4) \quad (28)$$

Neste caso 4, que acabamos de analisar, o estado limite último de



ruptura é atingido quando $\epsilon_{ci} = 2\text{‰}$ na fibra a $\frac{3}{7}h$ da borda mais encurtada (fig. 8). Comparando a fig. 8 com a fig. 7, vemos que a ruptura ocorre quando $x' = \frac{3}{7}h$.

Tendo em vista (19) e (18), vemos ser necessário para não haver ruptura,

$$\text{que } \frac{(\epsilon_c - 2)}{\theta} h < \frac{3}{7} h, \text{ ou seja:}$$

$$\epsilon_c < 2 + \frac{3}{7} \theta \quad (29)$$

8. TABELAS.

Embora o formulário que se apresenta neste trabalho destine-se prioritariamente à programação em microcomputador, pode haver o ca-

so de um calculo manual, para o que foram acrescentadas as tabelas que se encontram na parte final, correspondentes aos quatro casos examinados.

As tabelas 1 e 2 podem ficar dependentes exclusivamente de ϵ_c . Para isto, faz-se:

$$\eta = \eta_1 \cdot \beta_x \quad (30)$$

$$\eta' = \eta \cdot \beta_a = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \beta_x^2 \quad (31)$$

$$\text{onde } \beta_a = \frac{a}{h} = \eta_2 \cdot \beta_x \quad (32)$$

$$\text{e } \beta_x = \epsilon_c / \theta \quad (8)$$

8.1. Tabela 1.

É fácil verificar que:

$$\eta_1 = \frac{\epsilon_c}{12} (6 - \epsilon_c) \quad (33)$$

$$\eta_2 = \frac{8 - \epsilon_c}{4 (6 - \epsilon_c)} \quad (34)$$

8.2. Tabela 2.

$$\eta_1 = \frac{3 \epsilon_c - 2}{3 \epsilon_c} \quad (35)$$

$$\eta_2 = \frac{3 \epsilon_c^2 - 4 \epsilon_c + 2}{2 \epsilon_c (3 \epsilon_c - 2)} \quad (36)$$

As tabelas 1 e 2 fornecem os valores de η_1 e η_2 , com o que são calculados η e η' pelas (30) e (31). As tabelas 3 e 4 fornecem diretamente η e η' .

9. FORMULÁRIO.

$$R_{cc} = \eta \cdot \sigma_{cd} \cdot b \cdot h$$

$$R_{cc} \cdot a = \eta' \cdot \sigma_{cd} \cdot b \cdot h^2$$

$$A = \frac{\epsilon_c (4 - \epsilon_c)}{4} ; \quad B = \frac{(\epsilon_c - 2) \theta}{2} ; \quad C = - \frac{\theta^2}{4} ; \quad D = \frac{(\epsilon_c - 2)}{\theta}$$

Caso 1.

$$\epsilon_c \leq 2 ; \quad \beta_x \leq 1$$

$$\eta = \frac{\epsilon_c^2 (6 - \epsilon_c)}{12 \theta}$$

$$\eta' = \frac{\epsilon_c^3 (8 - \epsilon_c)}{48 \theta^2}$$

Caso 2.

$$\epsilon_c > 2 ; \quad \beta_x \leq 1$$

$$\eta = \frac{3 \epsilon_c - 2}{3 \theta}$$

$$\eta' = \frac{3 \epsilon_c^2 - 4 \epsilon_c + 2}{6 \theta^2}$$

Caso 3.

$$\epsilon_c \leq 2 ; \quad \beta_x > 1$$

$$\eta = A + \frac{B}{2} + \frac{C}{3}$$

$$\eta' = \frac{A}{2} + \frac{B}{3} + \frac{C}{4}$$

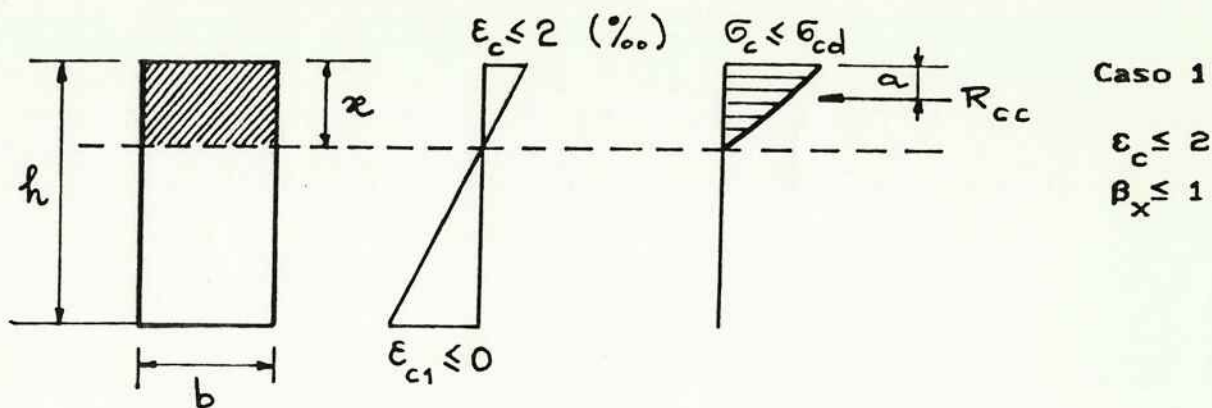
Caso 4.

$$\epsilon_c > 2 ; \quad \beta_x > 1$$

$$\eta = D + A (1 - D) + \frac{B}{2} (1 - D^2) + \frac{C}{3} (1 - D^3)$$

$$\eta' = \frac{D^2}{2} + \frac{A}{2} (1 - D^2) + \frac{B}{3} (1 - D^3) + \frac{C}{4} (1 - D^4)$$

RESULTANTE R_{cc} E SUA POSIÇÃO
EM FUNÇÃO DO ENCURTAMENTO ϵ_c E DA CURVATURA θ .



$$R_{cc} = \eta \cdot \sigma_{cd} \cdot b \cdot h ; \quad \sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd} ; \quad \eta = \eta_1 \cdot \beta_x = \eta_1 \cdot \epsilon_c / \theta$$

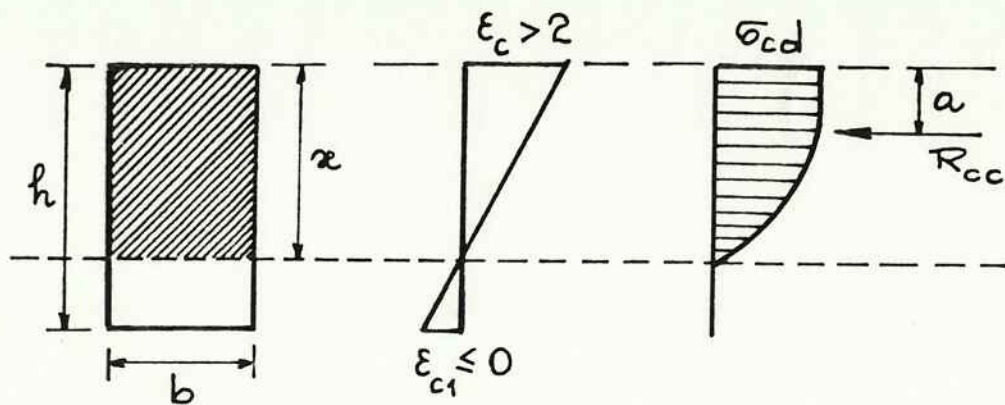
$$R_{cc} \cdot a = \eta' \cdot \sigma_{cd} \cdot b \cdot h^2 ; \quad \eta' = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \beta_x^2 = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \epsilon_c^2 / \theta^2$$

VALORES DE η_1 E η_2

ϵ_c	η_1	η_2
0,1	0,0492	0,3347
0,2	0,0967	0,3362
0,3	0,1425	0,3377
0,4	0,1867	0,3393
0,5	0,2292	0,3409
0,6	0,2700	0,3426
0,7	0,3092	0,3443
0,8	0,3467	0,3462
0,9	0,3825	0,3480
1,0	0,4167	0,3500
1,1	0,4492	0,3520
1,2	0,4800	0,3542
1,3	0,5092	0,3564
1,4	0,5367	0,3587
1,5	0,5625	0,3611
1,6	0,5867	0,3636
1,7	0,6092	0,3663
1,8	0,6300	0,3690
1,9	0,6492	0,3720
2,0	0,6667	0,3750

TABELA 2

RESULTANTE R_{cc} E SUA POSIÇÃO
EM FUNÇÃO DO ENCURTAMENTO ϵ_c E DA CURVATURA θ



$$R_{cc} = \eta \cdot \sigma_{cd} \cdot b \cdot h ; \quad \sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$\eta = \eta_1 \cdot \beta_x = \eta_1 \cdot \epsilon_c / \theta$$

$$R_{cc} \cdot a = \eta' \cdot \sigma_{cd} \cdot b \cdot h^2 ;$$

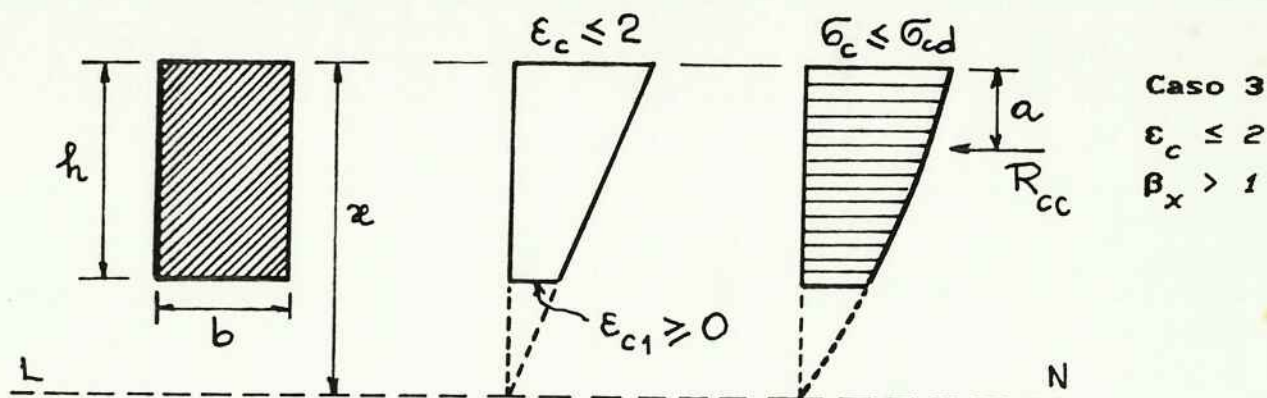
$$\eta' = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \beta_x^2 = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \epsilon_c^2 / \theta^2$$

VALORES DE η_1 e η_2

ϵ_c	η_1	η_2
2,1	0,6825	0,3782
2,2	0,6970	0,3814
2,3	0,7101	0,3846
2,4	0,7222	0,3878
2,5	0,7333	0,3909
2,6	0,7436	0,3939
2,7	0,7531	0,3968
2,8	0,7619	0,3996
2,9	0,7701	0,4022
3,0	0,7778	0,4048
3,1	0,7849	0,4072
3,2	0,7917	0,4095
3,3	0,7980	0,4118
3,4	0,8039	0,4139
3,5	0,8095	0,4160

TABELA 3

RESULTANTE R_{cc} E SUA POSIÇÃO
EM FUNÇÃO DO ENCURTAMENTO ϵ_c E DA CURVATURA θ



$$R_{cc} = \eta \cdot \sigma_{cd} \cdot b \cdot h ; \quad \sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$R_{cc} \cdot a = \eta' \cdot \sigma_{cd} \cdot b \cdot h^2 ;$$

Valores de η

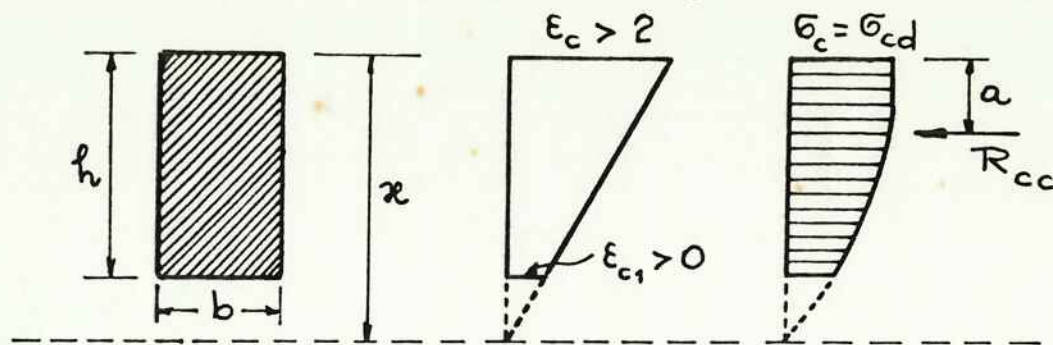
θ ϵ_c	0,5	1,0	1,5	2,0
0,5	0,2292	****	****	****
0,6	0,3142	****	****	****
0,7	0,3942	****	****	****
0,8	0,4692	****	****	****
0,9	0,5392	****	****	****
1,0	0,6042	0,4167	****	****
1,1	0,6642	0,4892	****	****
1,2	0,7192	0,5567	****	****
1,3	0,7692	0,6192	****	****
1,4	0,8142	0,6767	****	****
1,5	0,8542	0,7292	0,5625	****
1,6	0,8892	0,7767	0,6225	****
1,7	0,9192	0,8192	0,6775	****
1,8	0,9442	0,8567	0,7275	****
1,9	0,9642	0,8892	0,7725	****
2,0	0,9792	0,9167	0,8125	0,6667

Valores de η'

θ ϵ_c	0,5	1,0	1,5	2,0
0,5	0,0781	****	****	****
0,6	0,1227	****	****	****
0,7	0,1648	****	****	****
0,8	0,2044	****	****	****
0,9	0,2415	****	****	****
1,0	0,2760	0,1458	****	****
1,1	0,3081	0,1862	****	****
1,2	0,3377	0,2242	****	****
1,3	0,3648	0,2596	****	****
1,4	0,3894	0,2925	****	****
1,5	0,4115	0,3229	0,2031	****
1,6	0,4310	0,3508	0,2394	****
1,7	0,4481	0,3763	0,2731	****
1,8	0,4627	0,3992	0,3044	****
1,9	0,4748	0,4196	0,3331	****
2,0	0,4844	0,4375	0,3594	0,2500

TABELA 4

RESULTANTE R_{cc} E SUA POSIÇÃO
EM FUNÇÃO DO ENCURTAMENTO ϵ_c E DA CURVATURA θ



Caso 4

 $\epsilon_c > 2$ $\beta_x > 1$

$$R_{cc} = \eta \cdot \sigma_{cd} \cdot b \cdot h ; \quad \sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd} ;$$

$$R_{cc} \cdot a = \eta' \cdot \sigma_{cd} \cdot b \cdot h^2 ;$$

Valores de η

ϵ_c^θ	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
2,1	0,9893	0,9392	0,8476	0,7142	*****	*****	*****
2,2	0,9955	0,9573	0,8779	0,7570	*****	*****	*****
2,3	*****	0,9714	0,9040	0,7953	*****	*****	*****
2,4	*****	0,9820	0,9261	0,8293	*****	*****	*****
2,5	*****	*****	0,9444	0,8594	0,7333	*****	*****
2,6	*****	*****	0,9595	0,8857	0,7714	*****	*****
2,7	*****	*****	*****	0,9085	0,8056	*****	*****
2,8	*****	*****	*****	0,9280	0,8362	*****	*****
2,9	*****	*****	*****	*****	0,8635	*****	*****
3,0	*****	*****	*****	*****	0,8875	0,7778	*****
3,1	*****	*****	*****	*****	*****	0,8095	*****
3,2	*****	*****	*****	*****	*****	0,8380	*****
3,3	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3,4	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3,5	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0,8095

Valores de η'

ϵ_c^θ	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
2,1	0,4915	0,4529	0,3831	0,2821	*****	*****	*****
2,2	0,4962	0,4659	0,4044	0,3117	*****	*****	*****
2,3	*****	0,4764	0,4232	0,3388	*****	*****	*****
2,4	*****	0,4847	0,4396	0,3635	*****	*****	*****
2,5	*****	*****	0,4537	0,3857	0,2867	*****	*****
2,6	*****	*****	0,4656	0,4057	0,3148	*****	*****
2,7	*****	*****	*****	0,4233	0,3406	*****	*****
2,8	*****	*****	*****	0,4388	0,3641	*****	*****
2,9	*****	*****	*****	*****	0,3853	*****	*****
3,0	*****	*****	*****	*****	0,4044	0,3148	*****
3,1	*****	*****	*****	*****	*****	0,3396	*****
3,2	*****	*****	*****	*****	*****	0,3623	*****
3,3	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3,4	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
3,5	*****	*****	*****	*****	*****	*****	0,3367

