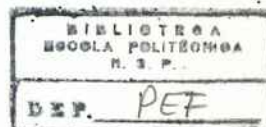




Escola Politécnica - EPBC



31200053631



BT/PEF-8510

LUGARES GEOMÉTRICOS NOTÁVEIS NA
FLEXÃO COMPOSTA. CONCRETO ARMADO

Pietro Candreva
Professor Assistente Doutor

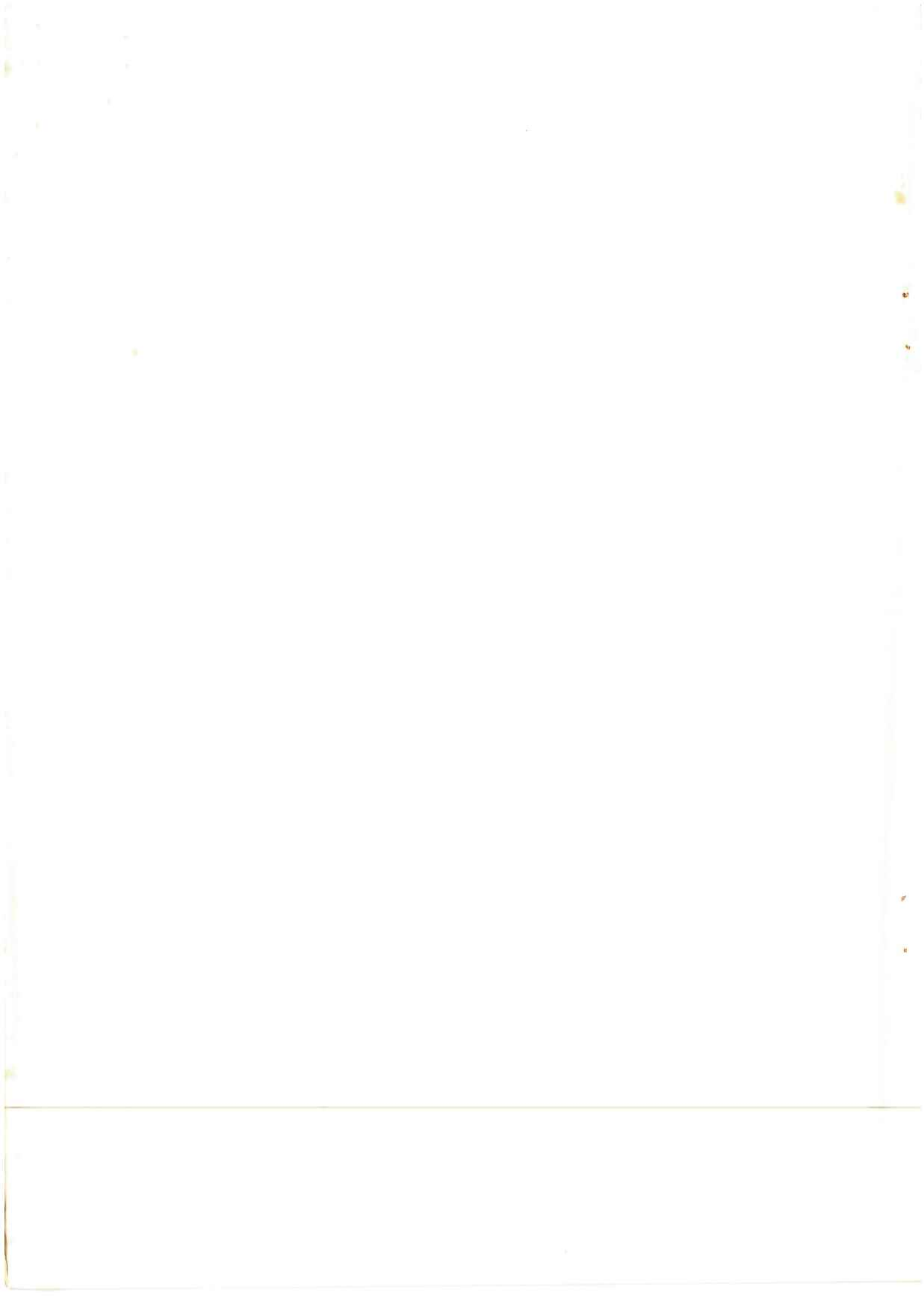
(recebido em 29/10/85)

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 | I.Q.Barros |
| - Pontes e Grandes Estruturas | J.C.Figueiredo Ferraz |
| - Teoria das Estruturas | V.M.Souza Lima |



II

LUGARES GEOMÉTRICOS NOTÁVEIS NA FLEXÃO COMPOSTA-CONCRETO ARMADO

II.1 - APRESENTAÇÃO

Em "Correlação Paramétrica Deformatória - Flexão Composta - Concreto Armado" que constitui o capítulo I, introduzimos como parâmetros definidores de uma situação deformada plana atingida em campo deformatório qualquer (seja de serviço ou de ruína), os valores de:

ϵ_g deformação específica da fibra baricêntrica da seção

e

θ curvatura em relação a seção distante $dx=1$ da seção analisada

conforme evidencia-se na figura 1.1

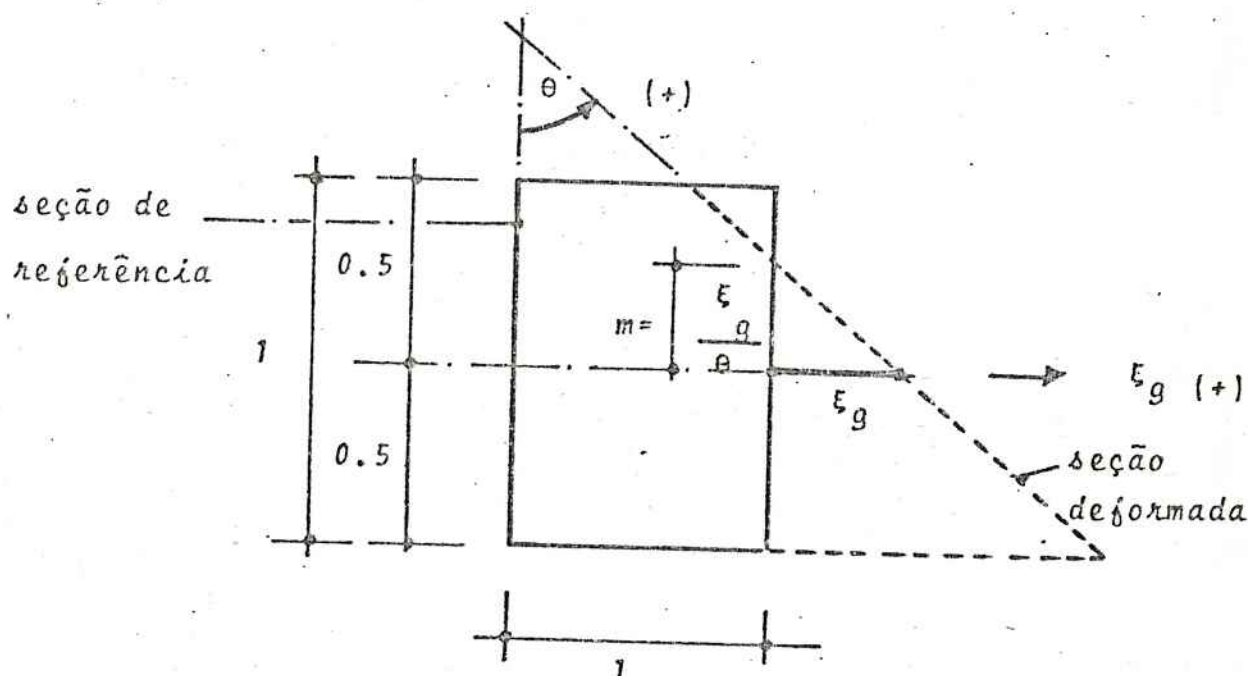


fig. (1.1)

Ao mesmo tempo, salientamos a poligonal " $\epsilon_g = f(\theta)$ " definida por pontos que satisfazem condições do denominado Estado Limite Deformatório Convencional que, quando atingido, caracteriza a ruína da seção.

O ábaco, caracterizado na figura 1.2 pelas respectivas equações confinantes representa a fronteira envolvente de todas as situações deformadas possíveis admissíveis da vida útil da seção analisada.

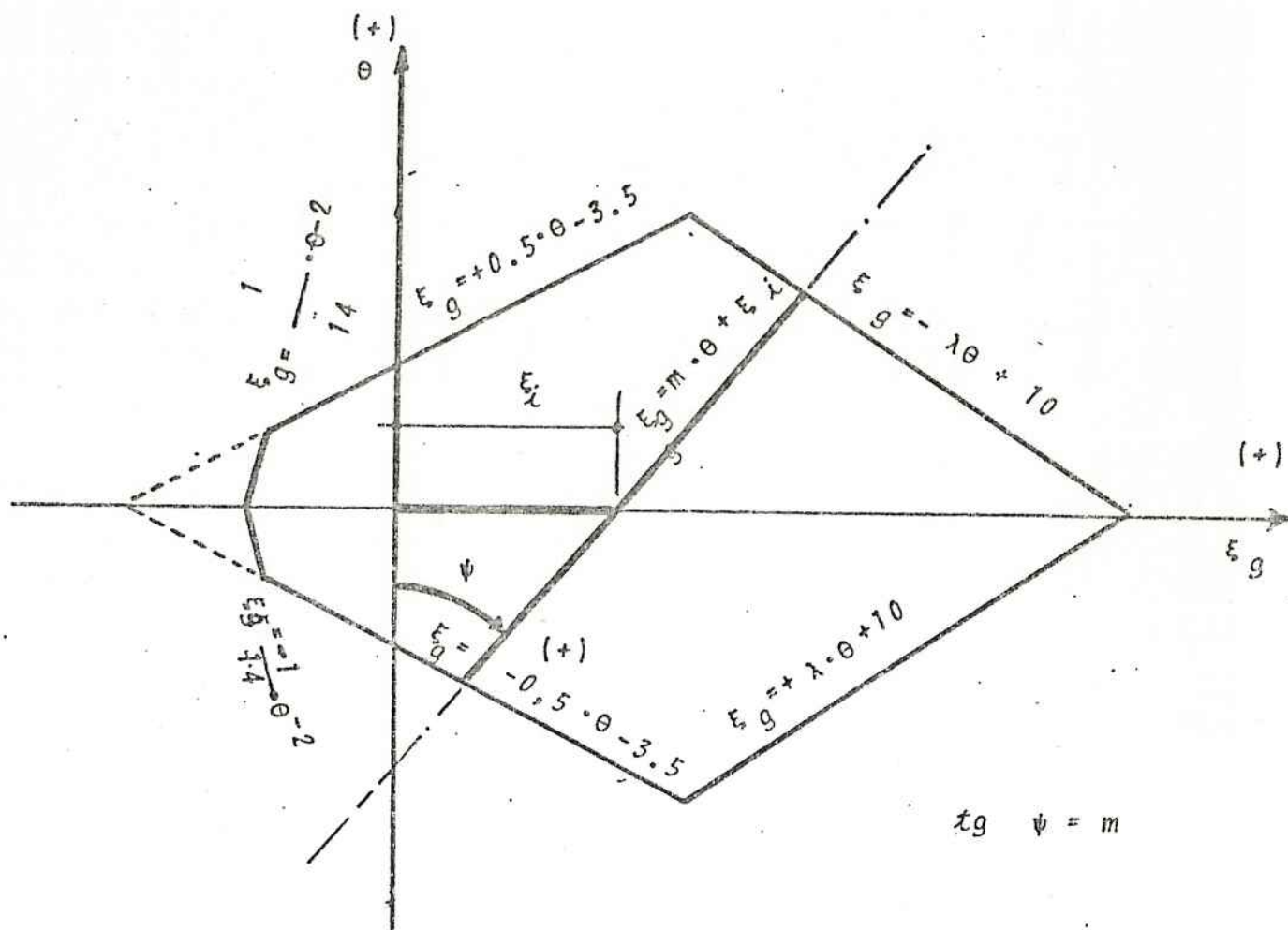


fig. (1.2)

Tem este capítulo a finalidade de comentar a existência de linhas interiores a esta fronteira envolvente que chamaremos de "Lugares Geométricos Notáveis" por serem descritos por pontos que gozam de propriedades características. Suas equações decorrem da imposição das condicionantes que definem o lugar.

De sua existência resultam Regiões internas a envoltória de ruína que definem campos deformatórios onde manifestam-se comportamentos diferenciados característicos *.

*Dai o título do presente capítulo salientando a sua notabilidade

II.2 - LUGARES GEOMÉTRICOS NOTÁVEIS

Um feixe de planos deformados que passa por um determinado centro tem por representação no sistema cartesiano (ξ_g, θ) a equação da reta:

$$\xi_g = m \cdot \theta + \xi_i$$

ou

$$\theta = M \xi_g + \theta_i$$

onde:

$m=1/M$ declive da equação representa a posição da fibra

ξ_i representa a deformação específica da mesma fibra

II.2.1 - LUGARES GEOMÉTRICOS DE FRONTEIRA DE RUÍNA

Assim foram deduzidas as equações dos lugares geométricos componentes da fronteira envoltória de ruína do concreto armado.

Constituem os primeiros exemplos básicos de lugares geométricos notáveis deste material, a saber:

Feixe com centro em "A"

$$\xi_g = -1 \cdot \theta + 10$$

Feixe com centro em "B"

$$\xi_g = +0.5 \cdot \theta - 3.5$$

Feixe com centro em "C"

$$\xi_g = +1/14 \cdot \theta - 2.0$$

Feixe com centro em "A"

$$\epsilon_g = + \lambda \cdot \theta + 10$$

Feixe com centro em "B"

$$\epsilon_g = -0.5 \cdot \theta - 3.5$$

Feixe com centro em "C"

$$\epsilon_g = -1/14 \cdot \theta - 2.0$$

II2.2 - LUGARES GEOMÉTRICOS ASSOCIADOS AS ARMADURAS

II2.2.1 - ARMADURA LOCALIZADA NA BORDA INFERIOR

A sua posição fica definida pelo recobrimento $\delta' = d'/h$ do que decorre $\lambda = 0.5 - \delta'$

O lugar geométrico descrito pelo feixe gerado pelos planos deformados passantes pela armadura inferior, quando esta tem deformação específica igual ao valor $\epsilon_{\delta 1}$, tem por equação:

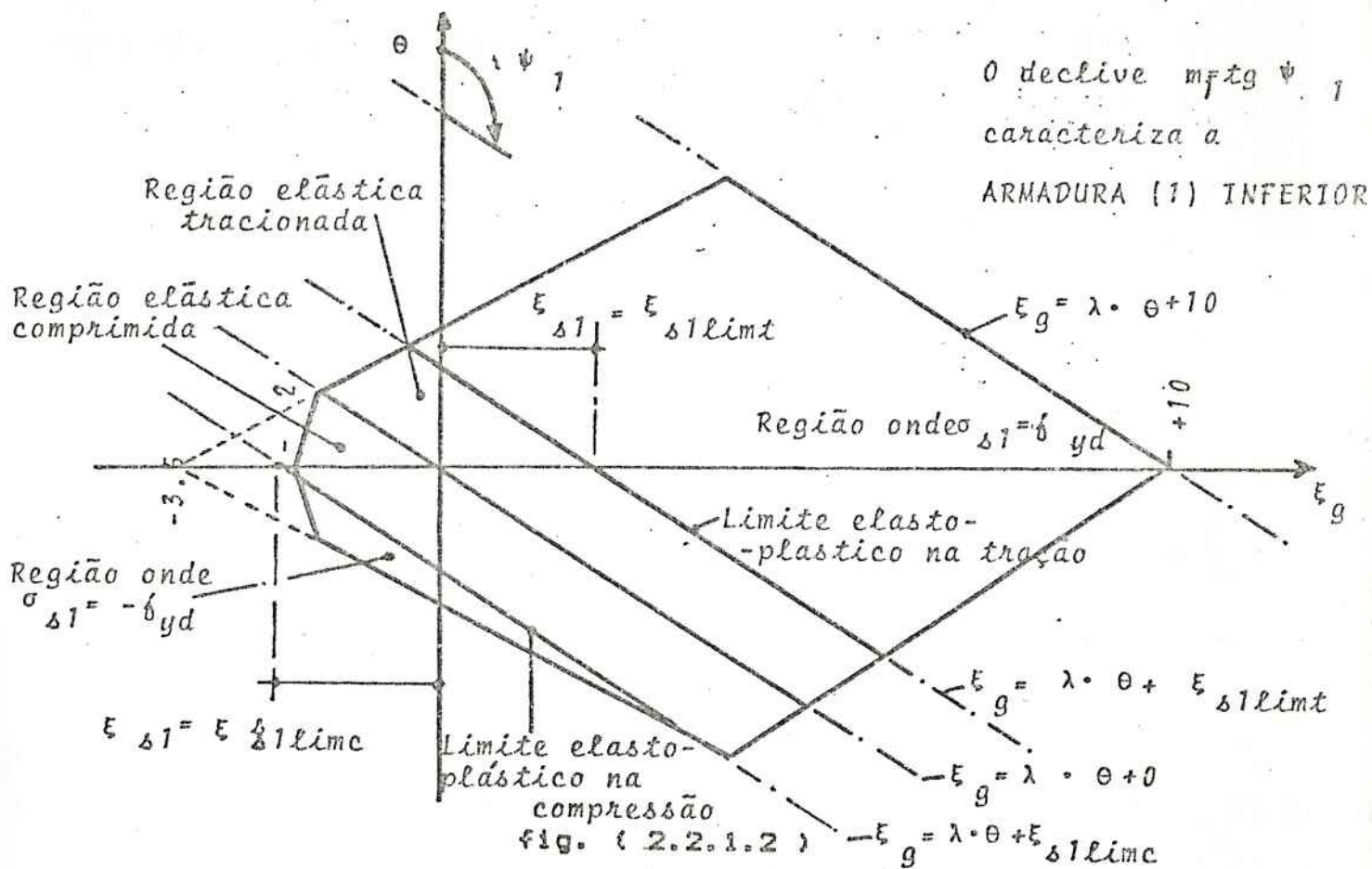
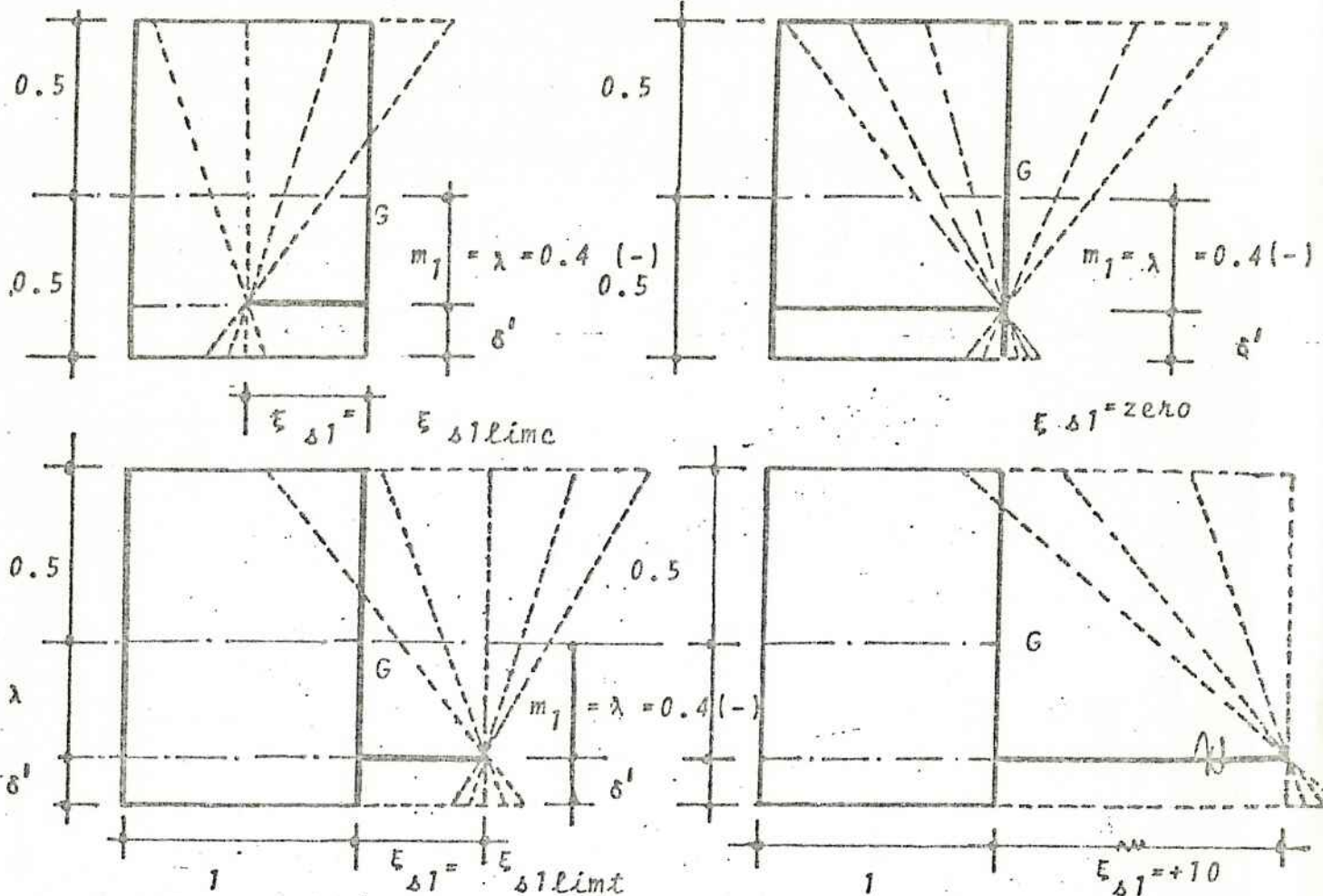
$$\epsilon_g = - \lambda \cdot \theta + \epsilon_{\delta 1}$$

Quando $\epsilon_{\delta 1} = \epsilon_{\delta 1l}$ teremos definido o lugar geométrico que marca a passagem do estado elástico para o estado plástico. Isto pode ocorrer tanto na compressão, quando $\epsilon_{\delta 1} = \epsilon_{\delta 1lc}$, como na tração, quando $\epsilon_{\delta 1} = \epsilon_{\delta 1lt}$.

Quando $\epsilon_{\delta 1} = 0$, ou seja, a equação do lugar notável é $\epsilon_g = - \lambda \cdot \theta$ teremos caracterizada a passagem, na fase elástica, da compressão para tração ou vice-versa.

As figuras (2.2.1.1 e 2.2.1.2) dão a imagem dos feixes e lugares comentados *.

*Incluiu-se o feixe de ruína passante por A cuja equação é $\epsilon_g = - \lambda \cdot \theta + 10$, já comentada anteriormente.



As equações seguintes particularizadas a direita para o aço CA 50-A são representativas dos lugares geométricos comentados. O valor $\lambda = 0.5$ - δ' foi particularizado para o recobrimento $\delta' = 0.10$.

$$\epsilon_g = -\lambda \cdot \theta + \epsilon_{slc}$$

$$\epsilon_g = -0.4 \cdot \theta - 2.07$$

$$\epsilon_g = -\lambda \cdot \theta$$

$$\epsilon_g = -0.4 \cdot \theta$$

$$\epsilon_g = -\lambda \cdot \theta + \epsilon_{slt}$$

$$\epsilon_g = -0.4 \cdot \theta + 2.07$$

$$\epsilon_g = -\lambda \cdot \theta + 10$$

$$\epsilon_g = -0.4 \cdot \theta + 10$$

A figura (2.2.1.2), onde tais lugares estão traçados, define quatro regiões notáveis onde a armadura 1 tem comportamento peculiar característico. Nestas regiões, as fases elástica e plástica da armadura 1, estão qualitativa e quantitativamente caracterizadas tanto na tração como na compressão para todo e qualquer estado deformatório ϵ_g, θ .

II.2.2 - ARMADURA LOCALIZADA NA BORDA SUPERIOR

Com posição definida pelo recobrimento $\delta'' = d''/h$ que pode inclusive ser diferente do $\delta' = d'/h$, para armadura 2, teremos lugares geométricos notáveis análogos aos comentados para a armadura oposta no item (II.2.2.1).

As respectivas equações são as seguintes, adquirindo sua representação a imagem da figura (2.2.2.1).

$$\epsilon_g = \lambda \cdot \theta + \epsilon_{slc}$$

$$\epsilon_g = 0.4 \cdot \theta - 2.07$$

$$\epsilon_g = \lambda \cdot \theta$$

$$\epsilon_g = 0.4 \cdot \theta$$

$$\epsilon_g = \lambda \cdot \theta + \epsilon_{s2l\lim}$$

$$\epsilon_g = 0.4 \cdot \theta + 2.07$$

$$\epsilon_g = \lambda \cdot \theta + 10$$

$$\epsilon_g = 0.4 \cdot \theta + 10$$

O declive $m = \operatorname{tg} \psi_2$
caracteriza a
ARMADURA (2) SUPERIOR

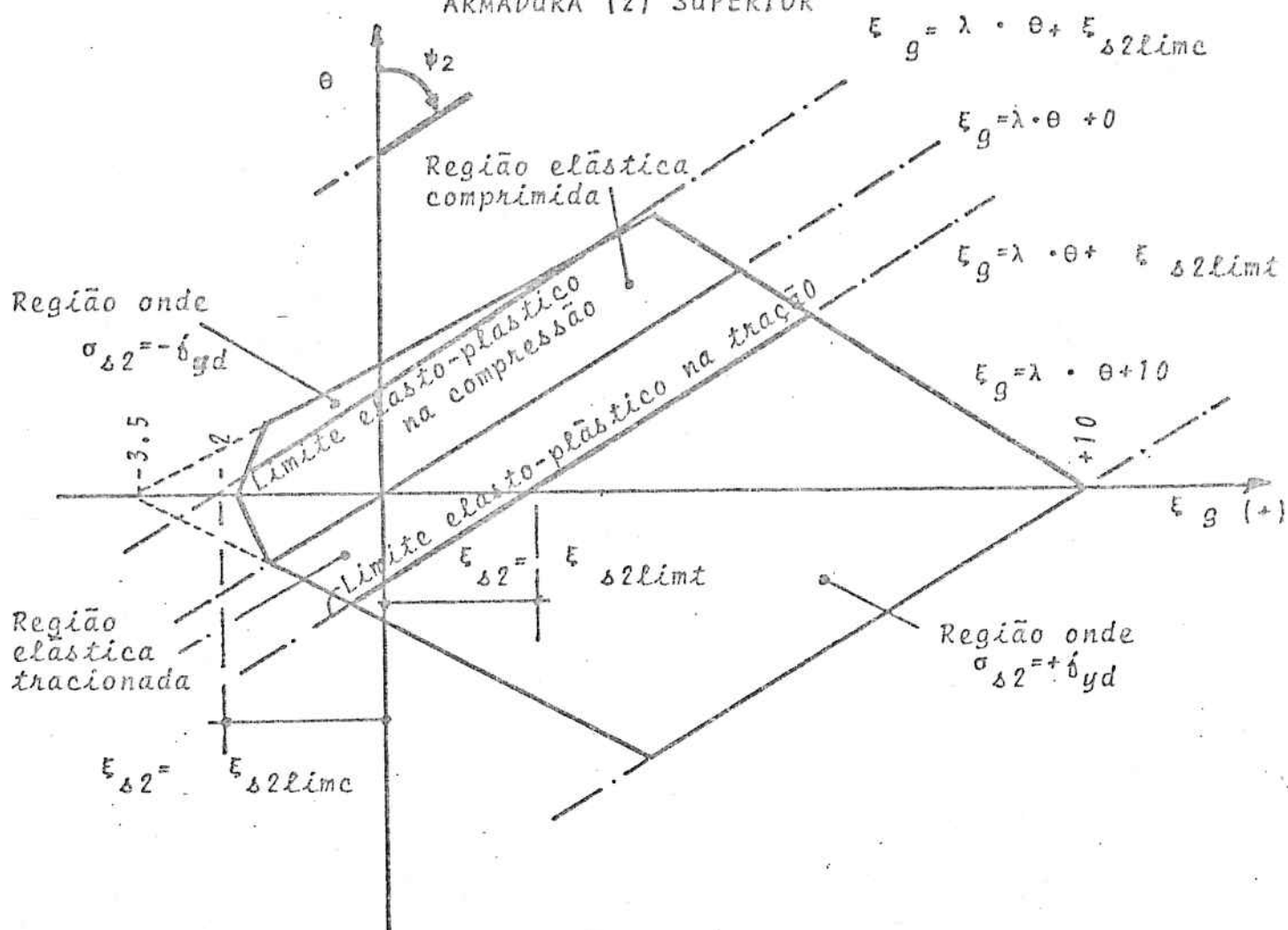


fig. (2.2.2.1)

Os lugares geométricos lineares planos anteriores são representação dos feixes deformatórios seguintes associados a armadura 2.

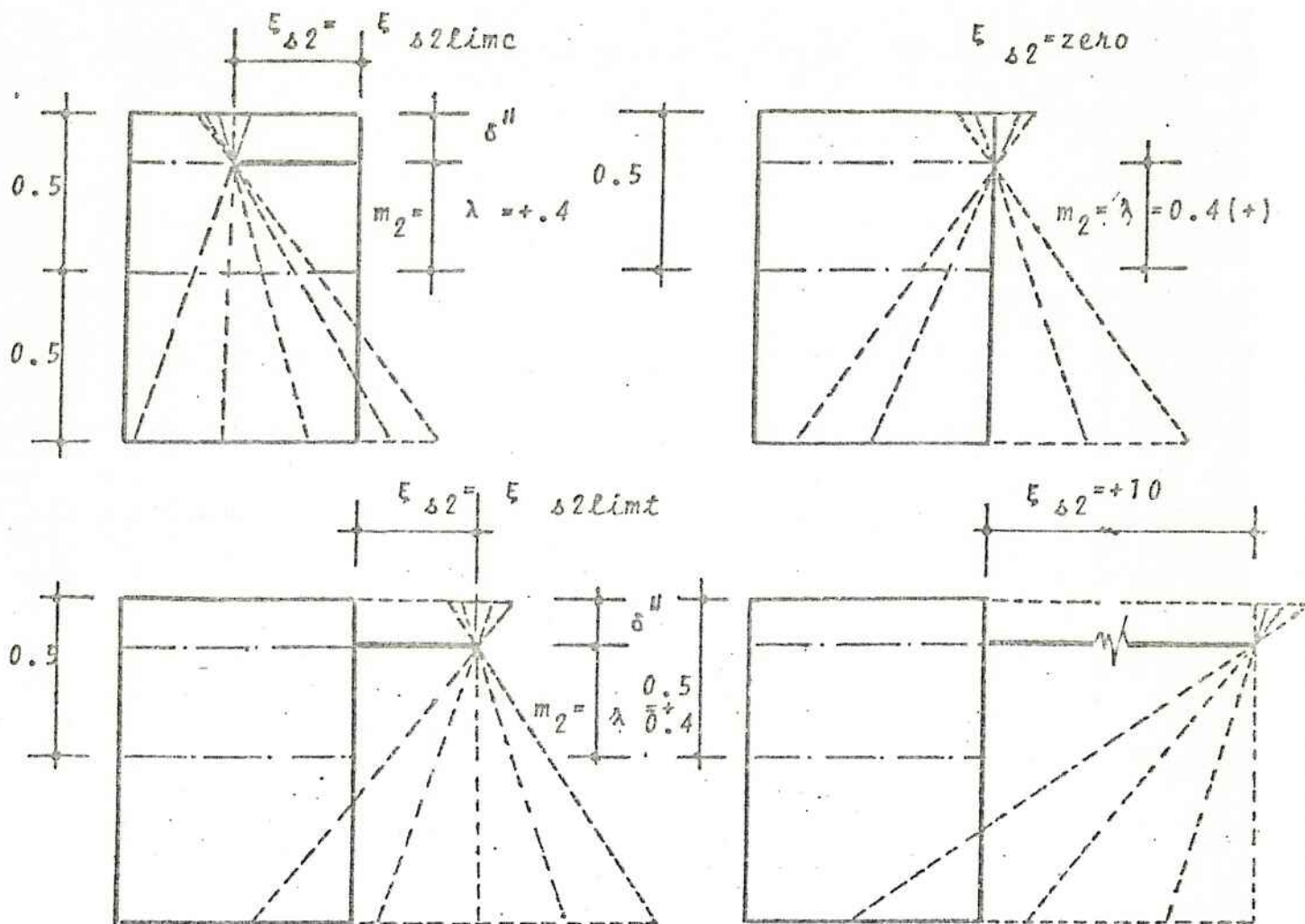


fig. (2.2.2.2)

II.2.3 - LUGARES GEOMÉTRICOS ASSOCIADOS AS FIBRAS MAIS SOLICITADAS DO CONCRETO

Vamos procurar agora lugares geométricos impostos por condicionantes ligados ao concreto. Em particular as fibras do concreto onde os regulamentos impõem transições características.

São as fibras localizadas nas bordas superior e inferior que tem suas posições respectivamente definidas analiticamente pelos declives:

$m=0.5$	Fibra Superior 2
$m=-0.5$	Fibra Inferior 1

Os valores onde ocorrem transições nas equações constitutivas do material são as deformações específicas de compressão:

$$\epsilon_c = 0$$

$$\epsilon_c = -2$$

$$\epsilon_c = -3.5$$

Decorrem:

11.2.3.1 - LUGARES GEOMÉTRICOS LIGADOS A BORDA SUPERIOR DO CONCRETO

As equações são:

$$\epsilon_g = 0.5 \cdot \theta \quad \text{o concreto começa a ser solicitado}$$

$$\epsilon_g = 0.5 \cdot \theta - 2 \quad \text{transição entre trecho parabólico para trecho retangular}$$

$$\epsilon_g = 0.5 \cdot \theta - 3.5 \quad \text{feixe envoltório de ruína passante pelo ponto "p"}$$

11.2.3.2 - LUGARES GEOMÉTRICOS LIGADOS A BORDA INFERIOR DO CONCRETO

Analogamente, as equações são as seguintes:

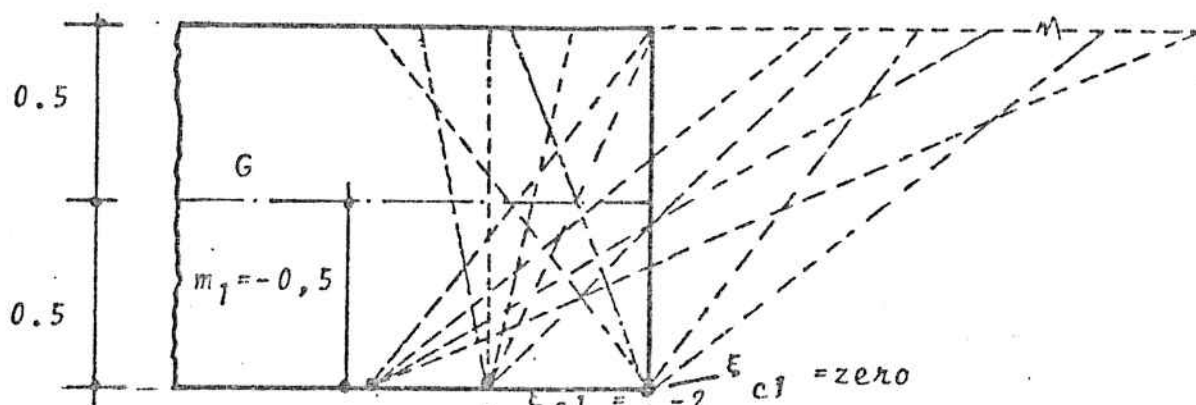
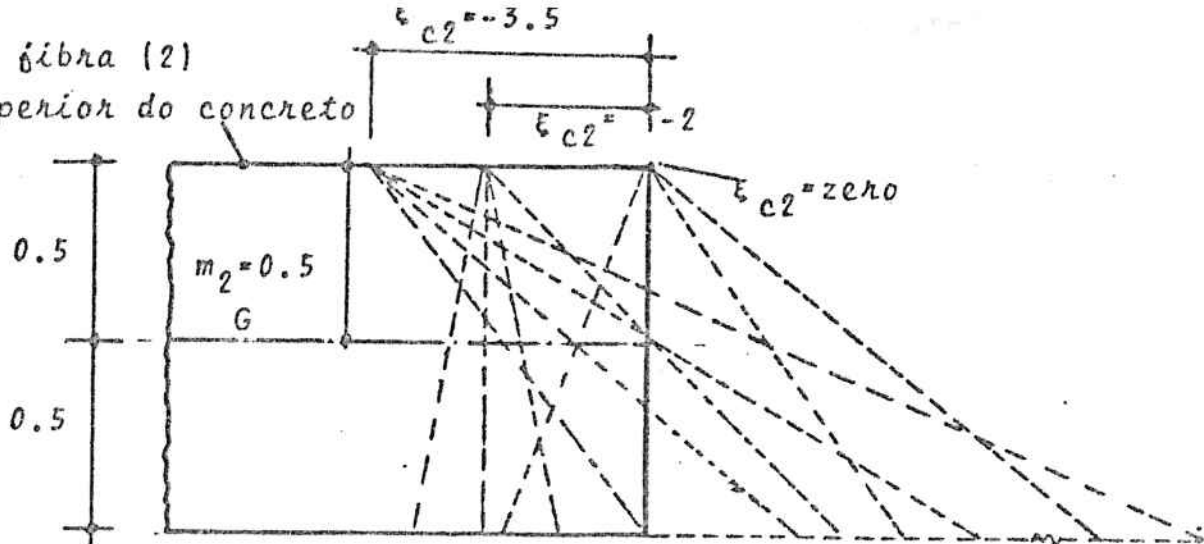
$$\epsilon_g = -0.5 \cdot \theta$$

$$\epsilon_g = -0.5 \cdot \theta - 2$$

$$\epsilon_g = -0.5 \cdot \theta - 3.5$$

Os feixes respectivos são representados nas figuras (2.3.2.1 e 2.3.2.2) da página seguinte.

fibra (2)
Superior do concreto



fibra (1)
Inferior do concreto

0 declive $m_2 = \tan \psi_2$
caracteriza a
FIBRA (2) SUPERIOR
DO CONCRETO

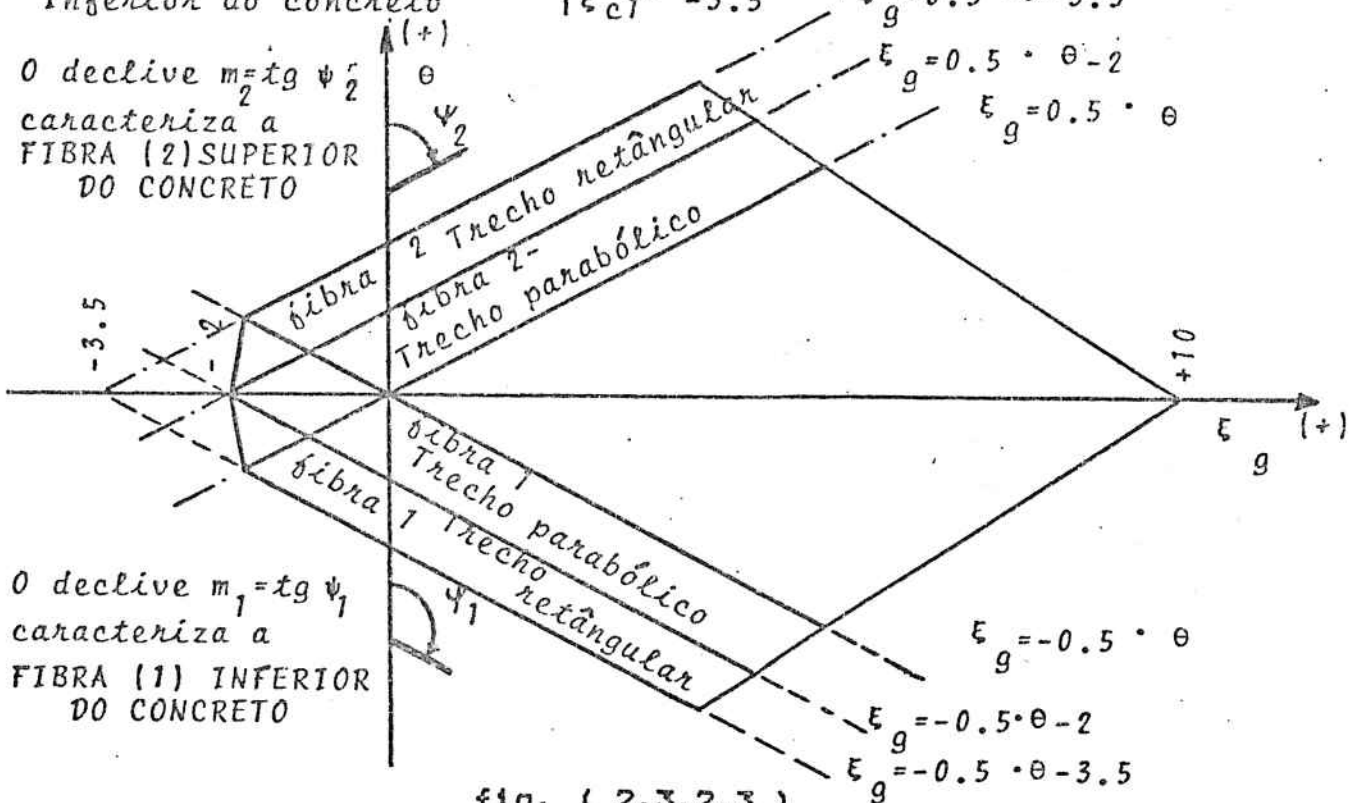


fig. (2.3.2.3)

A fig. (2.3.2.3) tem salientada a representação dos seis lugares geométricos notáveis ligados ao comportamento do material concreto.

Decorrem regiões delimitadas com comportamento característico.

Considerando, por exemplo, a delimitação das regiões onde o concreto participa ou não na resistência da seção teremos as duas regiões notáveis da figura (2.3.2.4).

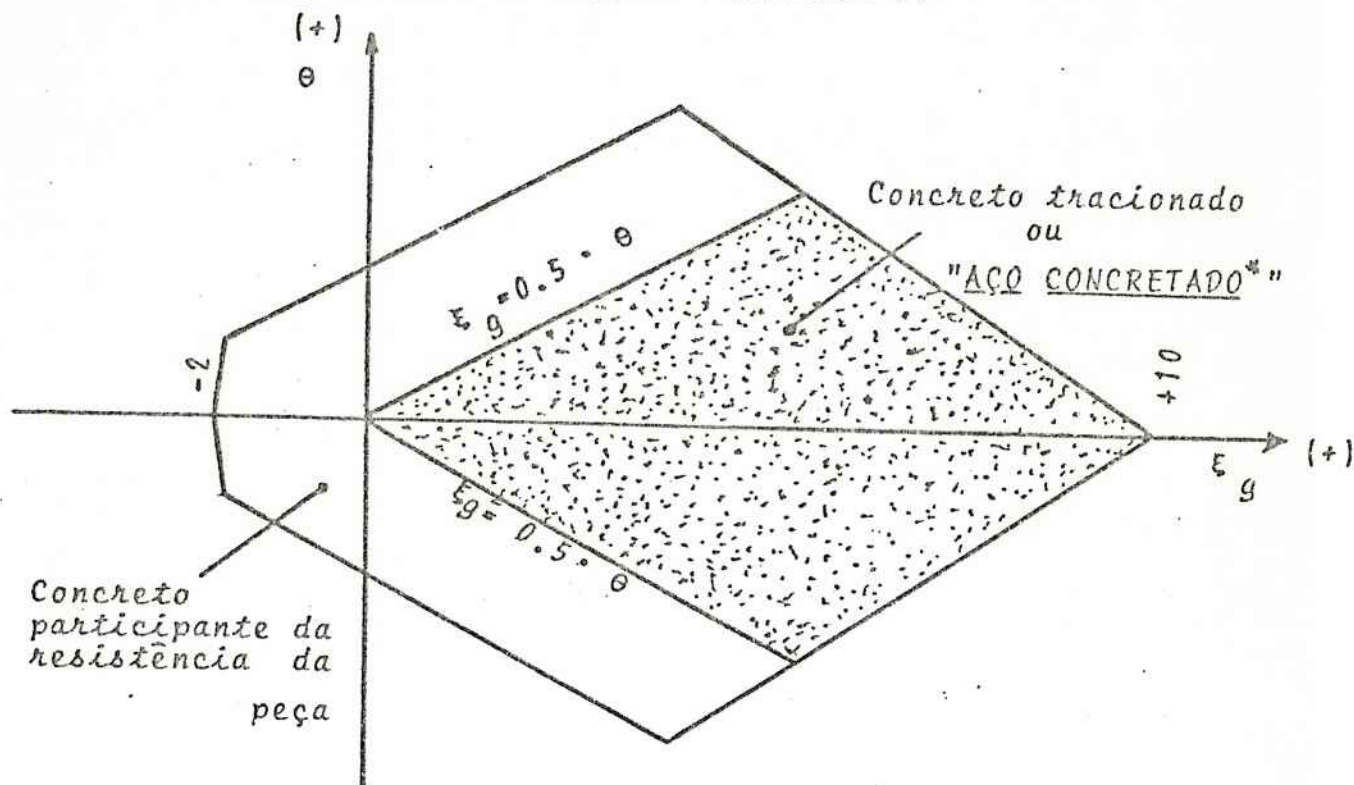


fig. (2.3.2.4)

Tomando por critério a posição da linha neutra, esta podera estar dentro ou fora da seção, podendo ocorrer, nesta última situação, todas as fibras comprimidas ou todas as fibras tracionadas. As regiões onde tais situações ocorrem estão assinaladas a seguir.

*O termo "aço concretado" me parece mais adequado, pois o concreto (elemento mais fraco) não foi cojitado como condicionante na imposição da envolvente tracionada; convem lembrar ser ele contingência decisiva do lado oposto comprimido. O campo afigura-se como excessivamente amplo. Tal fato é contornado artificialmente pelo estado limite de utilização. Sugierios ser analisada a hipótese de reve-lo e restringi-lo o que comentarei em capítulo oportuno quando analisarei a abertura de fissura como condicione a participação da armadura.

Nesta linha de pesquisa desenvolve dissertação de mestrado o Eng. Nelson Curotto " Campo Deformatório Restrito - Proposta Alternativa a NB-1 ", sob orientação do autor.

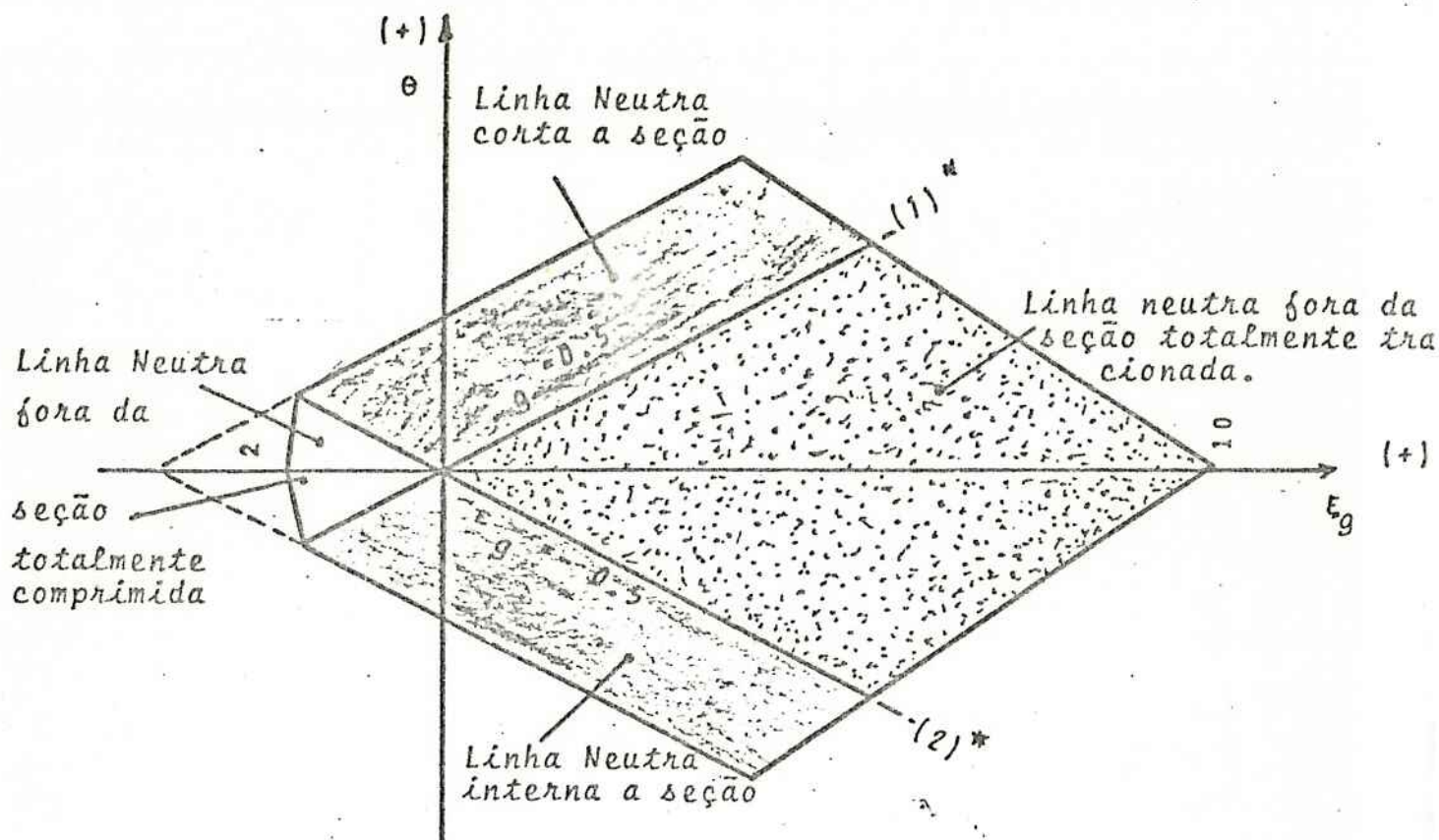


fig. (2.3.2.5)

Ainda quando temos o concreto participante é possível delimitar regiões onde ambas as fibras extremas das bordas trabalhem no trecho parabólico, ou uma trabalhe no trecho parabólico e a outra no trecho retangular, e, finalmente, onde uma trabalhe no trecho parabólico ou retangular, e a sua oposta não seja solicitada.

A figura (2.3.2.6) delimita tais campos.

*O autor sugere a translação paralela das retas representativas dos lugares (1) e (2) para a direita da origem. Isto permitirá levar em conta a capacidade resistiva do concreto a tração que, embora restrita, não deixa de existir; logicamente deve-se complementar a equação constitutiva do material. As equações dos feixes passariam a ser respectivamente :

$$(1) \quad \epsilon_g = + 0.5 \cdot \theta + \epsilon_{c,t}$$

$$(2) \quad \epsilon_g = - 0.5 \cdot \theta + \epsilon_{c,t}$$

onde $\epsilon_{c,t}$ é a deformação específica de ruína do concreto a tração.

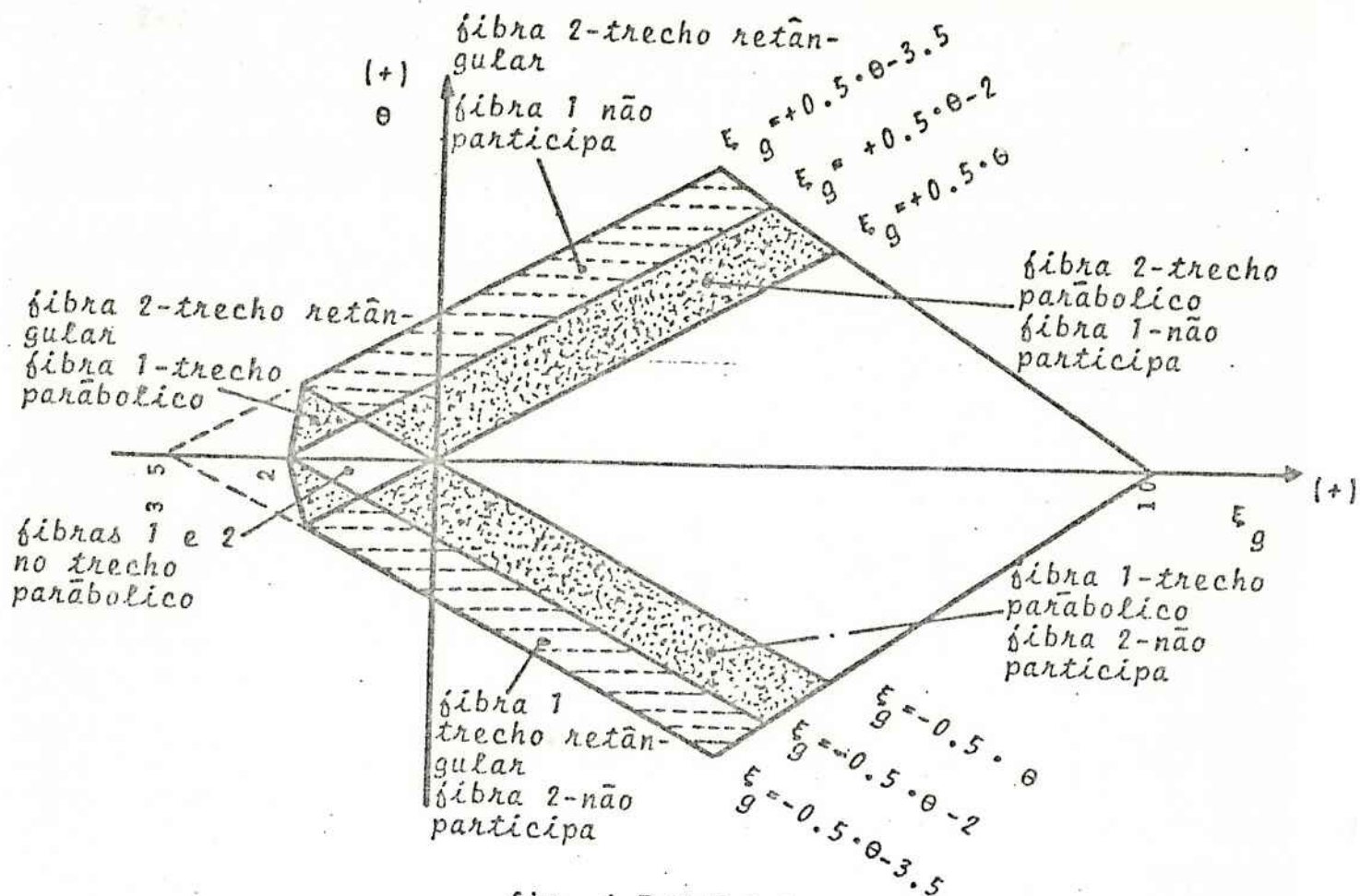


fig. (2.3.2.6)

Dos lugares geométricos deformatórios notáveis fundamentais ligados ao concreto, armadura e recobrimento *, definidos anteriormente, decorreu a perfeita delimitação das Regiões Notáveis Fundamentais.

Estas regiões permitem a rápida identificação do comportamento de cada componente participante da resistência da peça (concreto, armadura superior e armadura inferior).

Tal identificação do comportamento ocorre qualitativa e quantitativamente quando através da imposição de um ponto (par ϵ_g, θ) decorre sua posição interna ou na fronteira de região ou regiões de comportamento característico.

*Nota-se a facilidade com que esta imagem permite representar a influência do recobrimento, inclusive possibilitando recobrimentos diferenciados entre armadura inferior " δ' " e superior " δ'' ". Basta para isso fazer os declives dos lugares respectivamente iguais a " λ' " e " λ'' ".

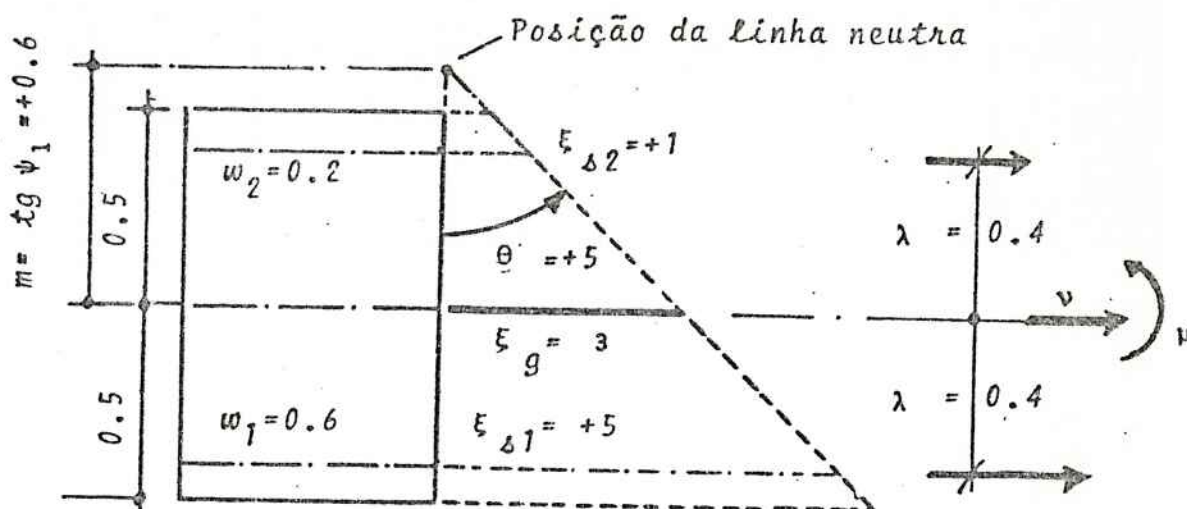
11.3 - APLICAÇÕES

Exemplo

Dada uma seção $w = 0.8$ $c = A_s/A_c = 0.25$ armada com armadura classe CA 50-A, recobrimento $d = 0.10$ submetida a um estado deformatório definido por $\xi_g = +3.0$ e $\theta = +5.0$. Pede-se gráfica e analiticamente:

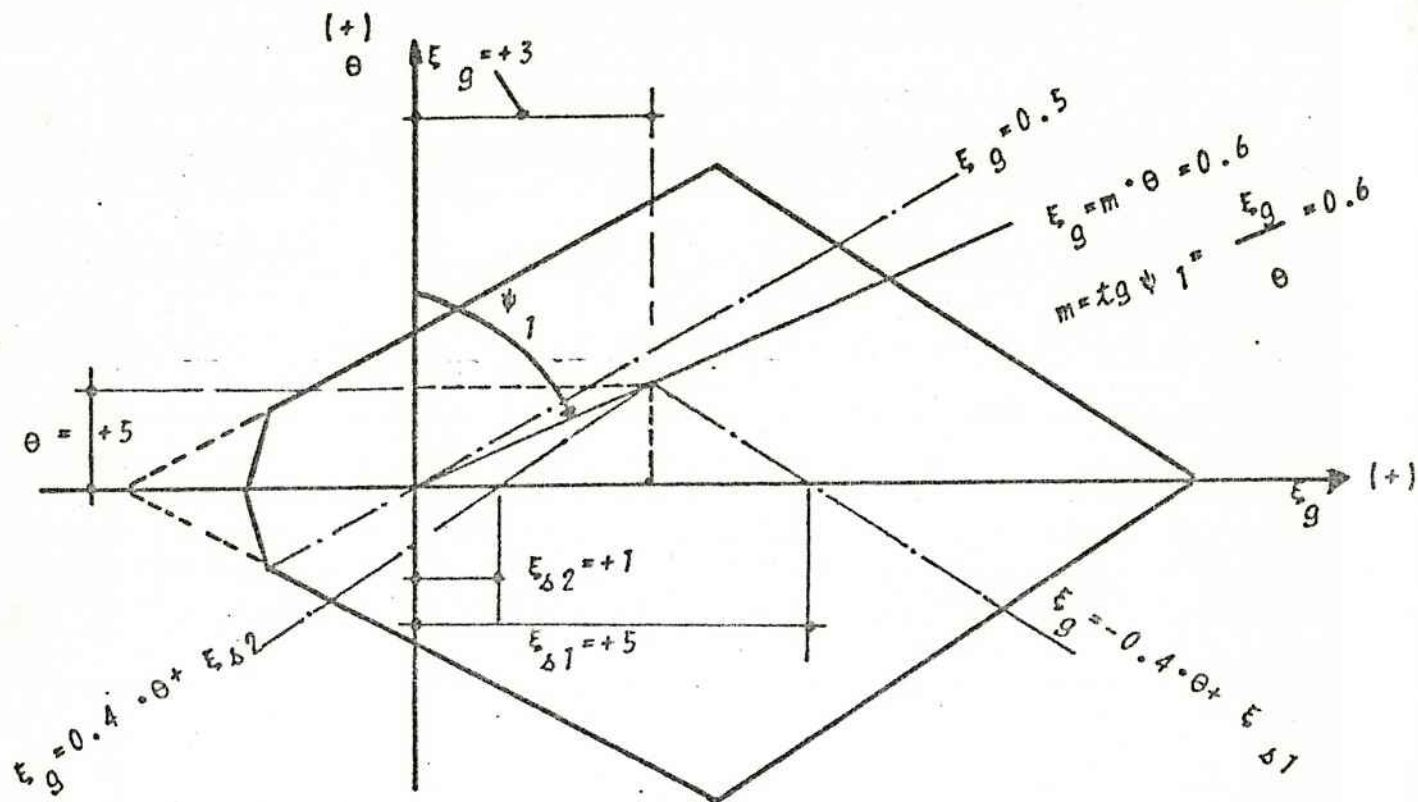
- Posição da linha neutra m
- O concreto participa ou não da resistência da peça
- Deformação e Tensão na armadura 1
- Deformação e Tensão na armadura 2
- Força Normal Reduzida v
- Momento Fletor Reduzido μ

a) $m = \frac{\xi_g}{\theta} = 3/5 = 0.6 > 0.5$ linha neutra fora da seção



b) Como $\frac{\xi_g}{\theta} > 0$ concluímos estar a linha neutra para cima;

Como $m = 0.6$ e portanto maior que 0.5, concluímos que o concreto não participa da resistência da seção.



c) Armadura 1

$$\epsilon_g = -0.4 \theta + \epsilon_{\Delta 1} \quad \epsilon_{\Delta 1} = 3 + 0.4 \cdot 5 = 5 \quad \sigma_{\Delta 1} = f_{yd}$$

Fase Plástica

d) Armadura 2

$$\epsilon_g = 0.4 \theta + \epsilon_{\Delta 2} \quad \epsilon_{\Delta 2} = 3 - 0.4 \cdot 5 = 1 < 2.07 = \epsilon_{\Delta \lim}$$

Fase Elástica

$$\sigma_{\Delta 2} = E_s \epsilon_{\Delta 2} = 2.1 \cdot 1 = 2.1$$

e) Força Normal Reduzida ν

$$\nu = 0.8 \cdot 0.75 \cdot 1 + (0.8 \cdot 0.25 \cdot 2.1) / 4.3478 = 0.696$$

f) Momento Fletor Reduzido μ

$$\mu = 0.6 \cdot 0.4 - 0.096 \cdot 0.4 = 0.2017$$

