



DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: UMA NOVA ABORDAGEM PARA O ENSINO

Kléos M Lenz César JR – kleos@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil

UFV/DEC

36570-000 – Viçosa - MG

Reginaldo Carneiro da Silva – recsilva@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil

UFV/DEC

36570-000 – Viçosa - MG

Resumo:

Apesar de consolidados por várias décadas, algumas das hipóteses básicas para o dimensionamento de estruturas em concreto armado não são satisfatoriamente explorados em seus conceitos o origem por parte da norma brasileira NBR 6118:2003, e nem mesmo pela literatura tradicional do assunto. Ilustrações, que deveriam esclarecer o entendimento de fenômenos, muitas vezes são simplistas e fora de contexto. Valores constantes são atribuídos por convenção sem uma adequada argumentação técnica. Além disso, as abordagens típicas (muito comumente advinda das definições da norma brasileira) tendem ao cálculo simplificado, situação em que o engenheiro não dispunha de recursos computacionais e ferramentas automáticas como as que se dispõe hoje. Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma nova abordagem para o domínio de deformações. Procurou-se resgatar os fundamentos para os valores das deformações limites e melhorar as ilustrações relativas a cada um dos 5 domínios (incluindo diagramas-exemplo de deformações para uma dada posição da linha neutra). Além disso, buscou-se uma abordagem algorítmica, evitando-se a inclusão de variáveis adimensionais. As formulações encontradas para as deformações que interessam ao dimensionamento de seções transversais em concreto armado estão resumidas no final do artigo.

Palavras-chave: domínio de deformações, linha neutra, concreto armado.



1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento de elementos estruturais em concreto armado pressupõe uma série de hipóteses básicas e valores constantes prefixados (confirmados por ensaios laboratoriais ou pela convenção empírica). Muitas dessas pressuposições permanecem inalteradas ao longo do tempo, o que não significa terem sido suficientemente exploradas e compreendidas.

As sete hipóteses básicas que norteiam o dimensionamento de elementos lineares sujeitos às solicitações normais no estado limite último (ELU), conforme numeradas no item 17.2.2 da NBR 6118:2003, não são abordadas em profundidade (especialmente em seus conceitos e origens), nem mesmo são bem ilustradas. A literatura corrente também não explora de forma significativa e didática os conceitos e fundamentos considerados base para o dimensionamento em concreto armado.

No caso específico dos domínios de deformação (ilustrados e brevemente descritos na hipótese g da norma brasileira), constata-se que o diagrama não é suficientemente detalhado, de forma a proporcionar um contexto didaticamente necessário à compreensão das etapas futuras do dimensionamento. Na literatura corrente (bem como na prática de ensino), tem sido dada muito pouca importância ao diagrama dos domínios de deformação. Os valores constantes nele mostrados não são, em sua grande parte, bem esclarecidos. Entende-se que a seqüência da abordagem atualmente praticada, bem como o conjunto de ilustrações e suas conseqüentes interpretações não são plenamente adequadas ao ensino de concreto armado.

Da mesma forma, o desenvolvimento das equações das deformações nas armaduras e na região comprimida do concreto passa por um raciocínio que parece reportar à época em que o cálculo automático era de difícil acesso. Naquele contexto, as simplificações do cálculo eram bem vindas. Hoje, no entanto, o aluno vem sendo cada vez mais estimulado a usar recursos eletrônicos para automatizar processos. O uso de calculadoras programáveis e planilhas eletrônicas instaladas em computadores portáteis são de uso corrente nas escolas, e imprescindíveis nos escritórios de engenharia. Enquanto de um lado o excesso de automação pode tirar do aluno a necessária capacidade de análise crítica de resultados, do outro a não utilização das ferramentas disponíveis pode provocar o mesmo resultado, e com fatores agravantes.

2 DEFORMAÇÕES CONVENCIONAIS ÚLTIMAS NO ELU

Estudos mostram que o esgotamento da capacidade resistente de uma peça estrutural em concreto armado sujeita à flexão normal composta no ELU se dá, tradicionalmente, pelo rompimento da região comprimida de concreto, quer a armadura tenha escoado ou não. No entanto, de acordo com FUSCO (1981), sentiu-se a necessidade de se limitar a deformação da armadura tracionada em virtude do desconforto provocado por fissuras excessivamente grandes. Portanto, teoricamente, passou-se a assumir que a capacidade resistente de uma seção se dá:

- pela ruptura da região comprimida de concreto e/ou
- pela deformação plástica excessiva da armadura tracionada.



É muito difícil, no entanto, identificar os parâmetros que levam a obtenção dos valores relativos à resistência mecânica da peça de concreto. Sendo assim, convencionou-se admitir que o concreto se rompe sob compressão quando este atinge um valor de deformação a partir do qual o risco de ruptura é significativo. Este valor vem sendo justificado e confirmado experimentalmente. Portanto, considera-se um ELU convencional (conhecido como ELU de ruptura) e um estado limite de deformação plástica excessiva.

2.1 O concreto na região comprimida

Sussekind (1985) mostra que nos ensaios com carregamentos de curta duração realizados por E. Grasser, considerando as mais diversas resistências características à

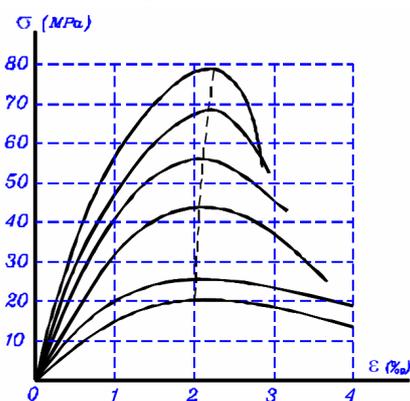


Figura 1. Diagrama tensão x deformação de concretos de várias resistências à compressão.

compressão do concreto, a uma taxa crescente e constante de deformação, a tensão resistente máxima ocorre quando o concreto atinge uma deformação específica bem próxima a 2%, enquanto que na ruptura (propriamente dita), a deformação específica atinge o valor médio de 3,5%, podendo variar significativamente.

A Figura 1 ilustra o diagrama tensão x deformação ($\sigma \times \epsilon$) típico proveniente dos ensaios realizados com corpos de prova de concretos com as mais diferentes resistências características. Note que a tensão resistente máxima ocorre (com bastante regularidade) quando a deformação específica atinge o valor 2%. A deformação residual (na qual a ruptura de fato ocorre) é função da resistência característica do concreto, podendo variar significativamente. Quanto maior a resistência do concreto, menor será a deformação de ruptura última da seção. O valor convencional 3,5% é, portanto, um valor médio válido para concretos de resistências relativamente baixas. Concretos de alta resistência podem romper-se ao ser atingido uma deformação específica menor que o convencional.

A NBR 8953:1992 classifica os concretos para fins estruturais em categorias do grupo I aqueles que vão da resistência característica à compressão igual a 10MPa (C10) a 50MPa (C50). Embora a NBR 6118:1980 não faça alusão a qualquer restrição sobre limite de resistência, a NBR 6118:2003 (no item 1.2) deixa claro que "... aplica-se às estruturas de concreto... do grupo I de resistência (C10 a C50), conforme classificação da NBR 8953".

Conclui-se assim, que no ELU convencional, a deformação de ruptura à compressão (ϵ_{cu}) do concreto varia entre 2% (na compressão uniforme) e 3,5% (na flexão pura), dependendo da posição efetiva da linha neutra, considerando toda a seção transversal comprimida. Seja qual for a resistência do concreto à compressão, sua deformação de ruptura é dita não ultrapassar tais valores.

2.2 O aço tracionado



Da mesma forma, o alongamento último (ϵ_{su}) tolerado pela armadura mais tracionada é de 10%. Na prática, porém, segundo Sussekind (1985), a deformação de ruptura dos aços para concreto armado é bem maior, chegando a valores da ordem de 70% (CA 60). O valor $\epsilon_{su}=10\%$ é arbitrado com a consideração de que, desprezando-se o alongamento do concreto tracionado, essa deformação corresponde a uma fissuração de 10‰, ou seja, a fissuras de 1mm de abertura para cada 10cm de comprimento da peça. No que diz respeito à ruptura por compressão, limita-se a deformação máxima do aço ao mesmo valor que a deformação convencional para o concreto, uma vez que os dois materiais trabalham solidariamente.

No ELU convencional, o concreto se rompe quando atinge a deformação ϵ_{cu} , enquanto que a armadura não necessariamente se rompe quando alongada de ϵ_{su} . O alongamento excessivo da armadura tracionada acarreta uma fissuração exagerada na superfície do concreto, levando ao ELU sem que tenha ocorrido, necessariamente, a ruptura do concreto na região comprimida. Isso implica que ϵ_{su} é um limite de deformação para evitar excessos na fissuração do concreto.

3 OS DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO

Para ser alcançado o ELU, a deformação de ruptura do concreto ϵ_{cu} ou a deformação plástica excessiva ϵ_{su} deve ser atingida. Admitindo-se a hipótese básica da manutenção da forma plana da seção transversal até o ELU, as deformações normais são, em cada ponto da seção transversal, proporcionais à sua distância à linha neutra, inclusive quando a peça atinge o ELU.

A NBR 6118:2003, item 17.2.2, Figura 17.1 mostra o diagrama de deformação da seção transversal pouco antes de sua ruptura. Nela estão mostrados os casos de solicitação possíveis para cada um dos domínios de deformação, variando-se a posição da linha neutra de $-\infty$ a $+\infty$, ou seja, variando-se as solicitações da tração uniforme à compressão uniforme. A Figura 2 ilustra uma seção transversal qualquer sujeita aos esforços N_d e M_d aplicados no seu centro de gravidade (CGAc). Em virtude do carregamento imposto, a região comprimida está (por exemplo) limitada pela área hachurada (de comprimento x) da seção transversal, supondo-se a linha neutra (LN) passando no ponto indicado. Imediatamente abaixo da seção transversal, vê-se uma elevação que corresponde ao diagrama de deformações no ELU convencional (uma adaptação da Figura 17.1 da norma) para a linha neutra indicada passando à distância x da face mais comprimida da seção transversal.

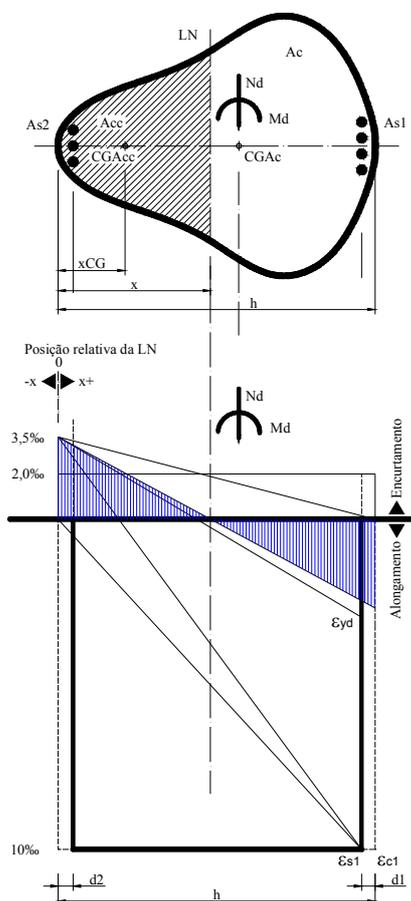


Figura 2. Domínio de deformações de uma seção transversal sujeita à flexão normal composta (adaptado da NBR 6118:2003).



Admitindo-se que a linha neutra pode assumir qualquer posição entre $-\infty$ e $+\infty$, surgem várias situações específicas que podem caracterizar as deformações (convencionais) últimas de cálculo. São os chamados domínios de deformação.

3.1 Caracterização do domínio 1

Particularidades (Figura 3):

- A linha neutra encontra-se a uma distância x fora da seção transversal ($-\infty < x \leq 0$) e, conseqüentemente, a seção está totalmente tracionada. Situações típicas: tração não uniforme, sem compressão ($-\infty < x \leq 0$), e tração uniforme ($x = -\infty$).
- A ruína da peça ocorre pela deformação plástica excessiva da armadura mais tracionada à $\varepsilon_{s1} = -10\%$. ε_{s2} varia de um pouco menos que 0 a -10% .
- A seção resistente é composta pelas armaduras, não havendo participação do concreto, o qual é considerado totalmente fissurado em toda a seção.

Cálculo das deformações em função da posição da linha neutra: por semelhança de triângulos, e conhecidas a altura da seção transversal e a posição das armaduras:

$$\frac{10}{h - d_1 - x} = \frac{\varepsilon_{c2}}{x} \quad \bullet \quad \varepsilon_{c2} = \frac{10x}{h - d_1 - x}$$

$$\frac{10}{h - d_1 - x} = \frac{\varepsilon_{s2}}{x - d_2} \quad \bullet \quad \varepsilon_{s2} = \frac{10(x - d_2)}{h - d_1 - x}$$

E, convencionalmente, $\bullet \quad \varepsilon_{s1} = -10$,
 $\bullet \quad \varepsilon_{c1} = -10$

3.2 Caracterização do domínio 2

Particularidades (Figura 4):

- A linha neutra encontra-se dentro da seção transversal, x variando entre 0 e $x_{lim(2-3)}$ (limite entre os domínios 2 e 3). Parte da seção está comprimida e a outra parte, tracionada. Situações típicas: flexão simples ou composta sem ruptura à compressão do concreto.
- A ruína da peça ocorre pela deformação plástica excessiva da armadura tracionada à $\varepsilon_{s1} = -10\%$, podendo ocorrer concomitante com a ruína do concreto à $\varepsilon_{c2} = 3,5\%$, se $x = x_{lim(2-3)}$.
- A seção resistente é composta pelas armaduras, havendo uma pequena participação do concreto na região comprimida.

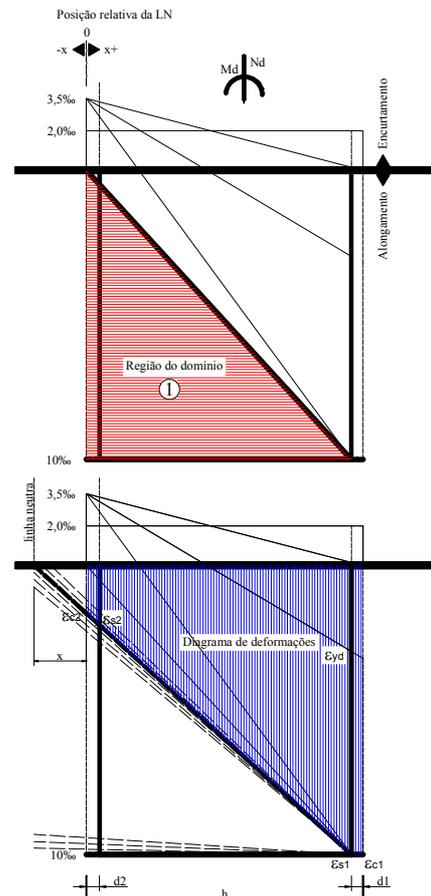


Figura 3. Representação do domínio 1 de deformações e diagrama de deformações.

Cálculo das deformações em função da posição da linha neutra: por semelhança de triângulos, determina-se a posição da linha neutra no limite entre os domínios 2 e 3 ($x_{lim(2-3)}$):



$$\frac{3,5}{x_{\text{lim}(2-3)}} = \frac{10 + 3,5}{h - d_1}$$

$$\bullet x_{\text{lim}(2-3)} = \frac{3,5}{13,5}(h - d_1)$$

Também por semelhança de triângulos, conhecidas a altura da seção transversal e a posição relativa das armaduras:

$$\frac{10}{h - d_1 - x} = \frac{\epsilon_{c2}}{x}$$

$$\bullet \epsilon_{c2} = \frac{10x}{h - d_1 - x}$$

$$\frac{10}{h - d_1 - x} = \frac{\epsilon_{s2}}{x - d_2}$$

$$\bullet \epsilon_{s2} = \frac{10(x - d_2)}{h - d_1 - x}$$

E, convencionalmente,

$$\bullet \epsilon_{s1} = -10, \bullet \epsilon_{c1} = -10$$

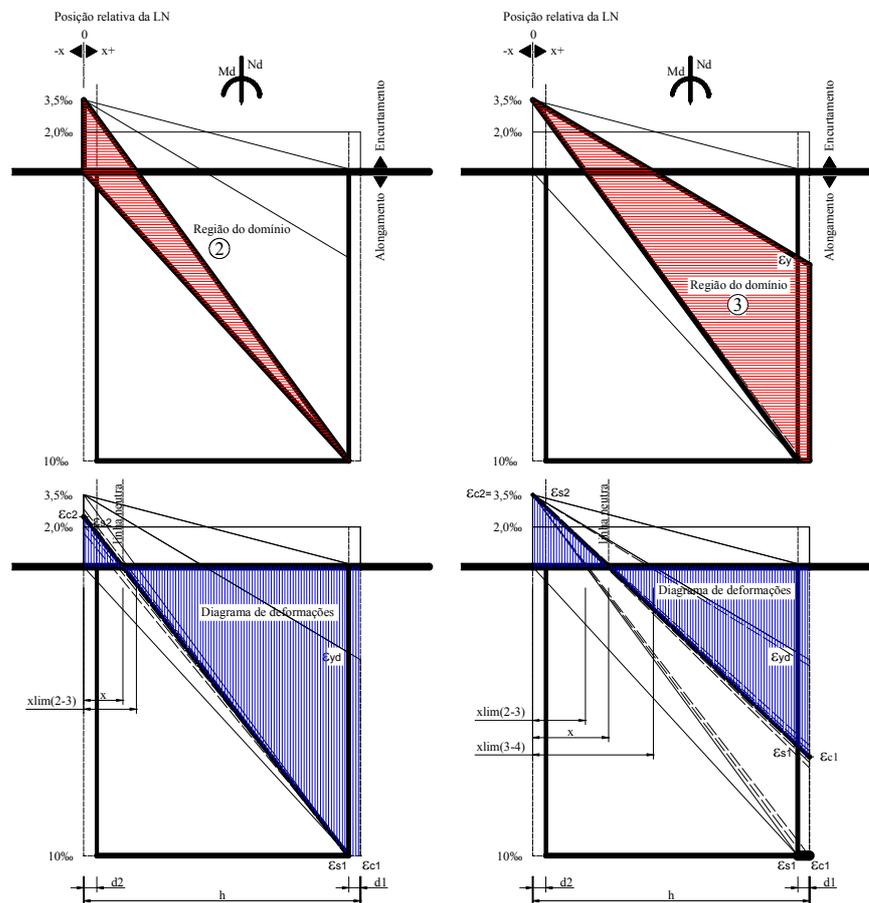


Figura 4. Representação do domínio 2 de deformações e diagrama de deformações.

3.3 Caracterização do domínio 3

Características (Figura 5):

- A linha neutra encontra-se dentro da seção transversal, x variando entre $x_{\text{lim}(2-3)}$ e $x_{\text{lim}(3-4)}$ (limite entre os domínios 3 e 4). Parte da seção está comprimida e a



outra parte, tracionada. Situações típicas: flexão simples (seção subarmada) ou composta com ruptura à compressão do concreto e aço em escoamento. Ruptura dúctil, com a peça deformando-se consideravelmente nas proximidades da ruptura.

- A ruína da peça ocorre pela ruptura da região comprimida do concreto (à deformação $\epsilon_{c2}=3,5\%$) e pelo escoamento da armadura tracionada do aço (à deformação mínima de $-\epsilon_{yd}$).
- A seção resistente é composta pelas armaduras em escoamento, uma vez que o concreto ruiu à deformação $\epsilon_{c2}=3,5\%$.

Cálculo das deformações em função da posição da linha neutra: por semelhança de triângulos, determina-se a posição da linha neutra no limite entre os domínios 3 e 4 ($x_{lim(3-4)}$):

$$\frac{3,5 + \epsilon_{yd}}{h - d_1} = \frac{3,5}{x_{lim(3-4)}}$$

$$\bullet x_{lim(3-4)} = \frac{3,5}{3,5 + \epsilon_{yd}} (h - d_1)$$

Convencionalmente, $\bullet \epsilon_{c2} = 3,5$

E, por semelhança de triângulos,

$$\frac{3,5 - \epsilon_{s2}}{d_2} = \frac{3,5}{x} \quad \bullet \epsilon_{s2} = 3,5 - 3,5 \frac{d_2}{x}$$

$$\frac{3,5 - \epsilon_{s1}}{h - d_1} = \frac{3,5}{x} \quad \bullet \epsilon_{s1} = 3,5 - 3,5 \frac{h - d_1}{x}$$

$$\frac{3,5 - \epsilon_{c1}}{h} = \frac{3,5}{x} \quad \bullet \epsilon_{c1} = 3,5 - 3,5 \frac{h}{x}$$

Observe que quando $\epsilon_{c1} < -10$, adotar $\epsilon_{c1} = -10$.

3.4 Caracterização do domínio 4

Características (Figura 6):

- A linha neutra encontra-se dentro da seção transversal, x variando entre $x_{lim(3-4)}$ e h . Parte da seção está comprimida e a outra parte, tracionada. Situações típicas: flexão simples (seção superarmada) ou composta com ruptura à compressão do concreto e aço sem escoamento.
- A ruína da peça ocorre pela ruptura da região comprimida do concreto (à deformação $\epsilon_{c2}=3,5\%$). Ruptura brusca, sem aviso prévio às baixas deformações.
- A seção resistente é composta pelas armaduras, uma vez que o concreto ruiu à deformação $\epsilon_{c2}=3,5\%$.

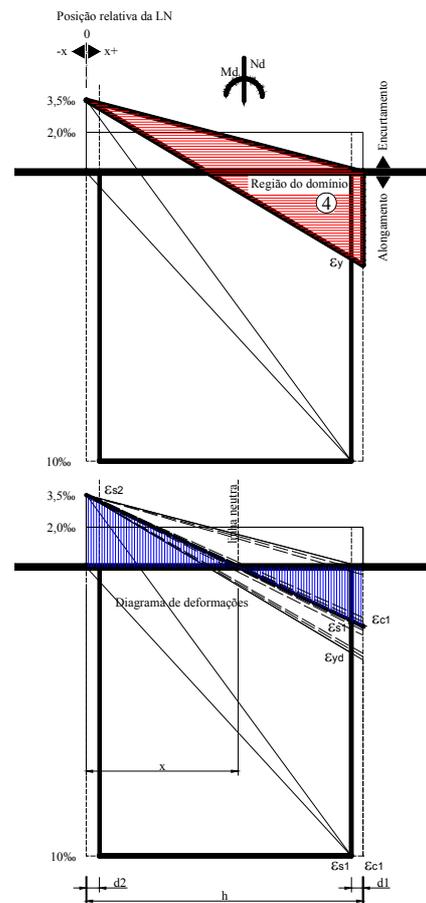


Figura 6. Representação do domínio 4 de deformações e diagrama de deformações.



Cálculo das deformações em função da posição da linha neutra: por semelhança de triângulos, e conhecidas a altura da seção transversal e a posição relativa das armaduras:

Convencionalmente, $\bullet \epsilon_{c2} = 3,5$

E então, por semelhança de triângulos,

$$\frac{3,5 - \epsilon_{s2}}{d_2} = \frac{3,5}{x}$$

$$\bullet \epsilon_{s2} = 3,5 - 3,5 \frac{d_2}{x}$$

$$\frac{3,5 - \epsilon_{s1}}{h - d_1} = \frac{3,5}{x}$$

$$\bullet \epsilon_{s1} = 3,5 - 3,5 \frac{(h - d_1)}{x}$$

$$\frac{3,5 - \epsilon_{c1}}{h} = \frac{3,5}{x}$$

$$\bullet \epsilon_{c1} = 3,5 - 3,5 \frac{h}{x}$$

$$\frac{3,5 - \epsilon_{s2}}{d_2} = \frac{3,5}{x}$$

$$\bullet \epsilon_{s2} = 3,5 - 3,5 \frac{d_2}{x}$$

$$\frac{3,5 - \epsilon_{s1}}{h - d_1} = \frac{3,5}{x}$$

$$\bullet \epsilon_{s1} = 3,5 - 3,5 \frac{(h - d_1)}{x}$$

$$\frac{3,5 - \epsilon_{c1}}{h} = \frac{3,5}{x}$$

$$\bullet \epsilon_{c1} = 3,5 - 3,5 \frac{h}{x}$$

3.5 Caracterização do domínio 5

Características (Figura 7):

- A linha neutra encontra-se fora da seção transversal, x variando entre h a ∞ . Toda a seção está comprimida. Situações típicas: compressão não uniforme, sem tração ($h < x < \infty$) e compressão uniforme ($x = \infty$).
- A ruína da peça ocorre pela ruptura da região comprimida do concreto (à deformação variando de $\epsilon_{c2} = 2\text{‰}$ a $3,5\text{‰}$). Ruptura brusca, sem aviso prévio.
- A seção resistente é composta pelas armaduras, uma vez que o concreto ruiu.

No limite dos domínios 4 e 5, tem-se as deformações $\epsilon_{c2} = 3,5\text{‰}$ e $\epsilon_{c1} = 0$. Sabendo-se que na compressão uniforme a deformação máxima no concreto ocorre à deformação $\epsilon_c = 2\text{‰}$, é natural que haja um ponto cuja deformação permanece inalterada (a 2‰). Por semelhança de triângulos constata-se que este ponto dista de $3h/7$ da borda mais comprimida da seção:

$$\frac{3,5}{h} = \frac{2}{h - x}, \quad 3,5 - 3,5 \frac{x}{h} = 2 \quad \bullet x = \frac{3}{7} h$$

Cálculo das deformações em função da posição da linha neutra: por semelhança de triângulos, e conhecidas a altura da seção transversal e a posição relativa das armaduras:

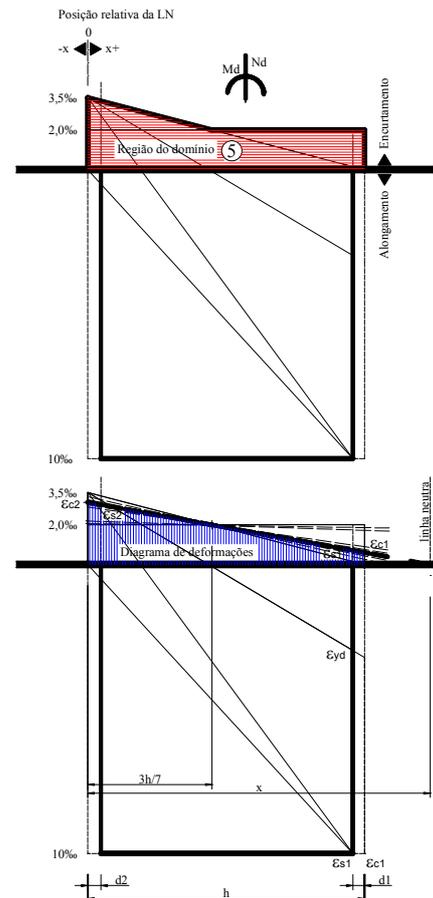


Figura 7. Representação do domínio 5 de deformações e diagrama de deformações.



$$\frac{\varepsilon_{c2}}{x} = \frac{\varepsilon_{c2} - 2}{\frac{3}{7}h}, \quad \varepsilon_{c2} \frac{3}{7}h - \varepsilon_{c2}x = -2x, \quad \varepsilon_{c2} = \frac{2x}{x - \frac{3}{7}h} \quad \bullet \varepsilon_{c2} = \frac{14}{7x - 3h}x$$

$$\frac{\varepsilon_{s2}}{x - d_2} = \frac{\varepsilon_{s2} - 2}{\frac{3}{7}h - d_2}, \quad \varepsilon_{s2} \frac{3}{7}h - \varepsilon_{s2}d_2 - \varepsilon_{s2}x + \varepsilon_{s2}d_2 = -2(x - d_2)$$

$$\varepsilon_{s2} \left(\frac{3}{7}h - x \right) = -2(x - d_2), \quad \varepsilon_{s2} = \frac{2(x - d_2)}{x - \frac{3}{7}h} \quad \bullet \varepsilon_{s2} = \frac{14}{7x - 3h}(x - d_2)$$

$$\frac{\varepsilon_{c2}}{x} = \frac{\varepsilon_{s1}}{x - h + d_1}, \quad \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{c2} \frac{x - h + d_1}{x} \quad \bullet \varepsilon_{s1} = \frac{14}{7x + 3h}(x - h + d_1)$$

$$\frac{\varepsilon_{c2}}{x} = \frac{\varepsilon_{c1}}{x - h}, \quad \varepsilon_{c1} = \frac{14x}{7x - 3h} \frac{x - h}{x} \quad \bullet \varepsilon_{c1} = \frac{14}{7x - 3h}(x - h)$$

4 CONCLUSÃO

O conhecimento dos domínios de deformação é fundamental para o ensino do dimensionamento de elementos estruturais submetidos às solicitações normais. Eles são também essenciais no estudo dos modos de ruptura à flexão de vigas de concreto armado. Nas disciplinas da área, os estudantes estão ansiosos para aprender o dimensionamento de elementos, relegando, muitas vezes, ao segundo plano a fundamentação teórica.

Esta nova abordagem no ensino dos domínios de deformação, associada a um projeto pedagógico da disciplina, com atividades adequadas visa proporcionar uma aprendizagem mais consistente.

Com o intuito de testar as equações desenvolvidas para cada um dos domínios expostos acima, bem como ilustrar o comportamento das deformações no ELU para as faces opostas da seção e das armaduras de compressão e tração, criou-se uma planilha eletrônica destinada ao cálculo das deformações para diversas posições da linha neutra.

A planilha, disposta em linha, representa várias posições da linha neutra (variando de -500 a 500cm, passando pela seção transversal) e define as deformações ε_{c2} , ε_{s2} , ε_{s1} e ε_{c1} . A Figura 8 é um diagrama obtido pela plotagem dos dados obtidos na planilha. Nela foram acrescentadas informações para melhor representar o comportamento da seção: os limites dos domínios de deformação e a extensão da seção transversal.

Embora o diagrama da Figura 8 não seja necessariamente útil sob o ponto de vista do dimensionamento, pode ser para o ensino de concreto armado. Por exemplo, nota-se no diagrama, a convergência das deformações para -10‰ à medida que a linha neutra



afasta-se para a esquerda (tração uniforme), e a convergência para 2‰ quando a linha neutra tende ao infinito (compressão uniforme). Nota-se também que no domínio 1 a seção está completamente tracionada, enquanto que no domínio 5, comprimida. A fim de facilitar a implementação de programas e/ou planilhas, organizou-se na Tabela 1 as fórmulas que resolvem as deformações ϵ_{c2} , ϵ_{s2} , ϵ_{s1} e ϵ_{c1} , função da geometria da seção, da posição do centro de gravidade das armaduras de tração e compressão, e da deformação de cálculo de escoamento do aço empregado.

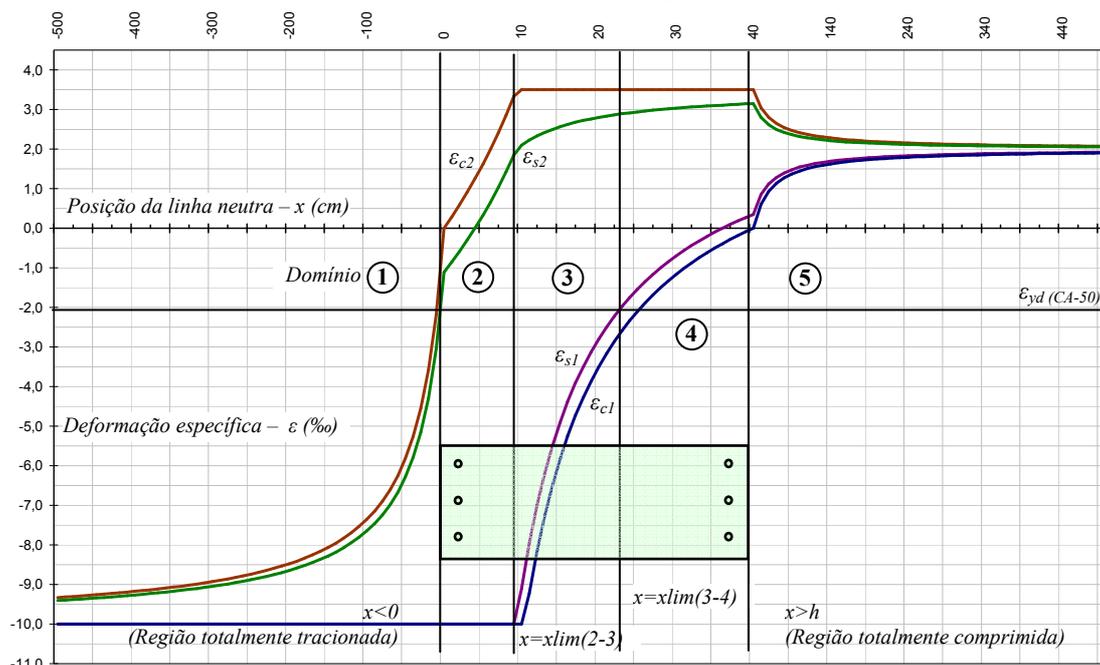


Figura 8. Diagrama x - ϵ no estado limite último de uma seção típica de concreto armado

Tabela 1

Se	D	ϵ_{c2} (‰)	ϵ_{s2} (‰)	ϵ_{s1} (‰)	ϵ_{c1} (‰)
$-\infty < x \leq 0$	1	$\frac{10x}{h - d_1 - x}$	$\frac{10(x - d_2)}{h - d_1 - x}$	-10	
$0 < x \leq x_{lim(2-3)}$	2	3,5	$3,5 - 3,5 \frac{d_2}{x}$	$3,5 - 3,5 \frac{h - d_1}{x}$	$3,5 - 3,5 \frac{h}{x} \leq 10$
$x_{lim(2-3)} < x \leq x_{lim(3-4)}$	3	3,5	$3,5 - 3,5 \frac{d_2}{x}$	$3,5 - 3,5 \frac{h - d_1}{x}$	$3,5 - 3,5 \frac{h}{x} \leq 10$
$x_{lim(3-4)} < x \leq h$	4	3,5	$3,5 - 3,5 \frac{d_2}{x}$	$3,5 - 3,5 \frac{h - d_1}{x}$	$3,5 - 3,5 \frac{h}{x} \leq 10$
$h < x < \infty$	5	$\frac{14}{7x - 3h} x$	$\frac{14}{7x - 3h} (x - d_2)$	$\frac{14}{7x + 3h} (x - h + d_1)$	$\frac{14}{7x - 3h} (x - h)$



COBENGE2010
XXXVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia
12 A 15 SET • FORTALEZA • CE
Hotel Gran Marquise



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 6118:1980 Projeto e execução de obras de concreto armado.** São Paulo: ABNT, 1980.

ABNT. **NBR 6118:2003 Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos.** São Paulo: ABNT, 2003.

ABNT. **NBR 8953:1992 Concreto para fins estruturais – classificação por grupos de resistência.** São Paulo: ABNT, 1992.

FUSCO, P. B. F. **Estruturas de concreto: Solicitações normais.** Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1981.

SANTOS, L. M. **Cálculo de concreto armado. Volume 1.** São Paulo: Ed. LMS, 1983.

SUSSEKIND, J. C. **Curso de concreto: Volume I.** Rio de Janeiro: Ed. Globo, 1985.



STRAIN DISTRIBUTION IN CONCRETE STRUCTURES A NEW APPROACH TO TEACHING

Kléos M Lenz César JR – kleos@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil

UFV/DEC

36570-000 – Viçosa - MG

Reginaldo Carneiro da Silva – recsilva@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil

UFV/DEC

36570-000 – Viçosa - MG

Abstract:

Although already consolidated for several decades, some of the basic assumptions for the reinforced concrete design are not satisfactorily explored in its concepts and rules of origin by the Brazilian standard NBR 6118:2003, and even by the traditional and current literature of this subject. Illustrations, which should clarify the understanding of phenomena, are often simplistic and out of context. Constant values are assigned by convention without adequate technical reasons. Moreover, the typical approaches (most commonly arising from the Brazilian standard definitions) tend to unnecessary simplified calculation, in which the engineer did not have computational resources and automated tools such as those available today. This paper aims to review the concept of strain distribution. We tried to rescue the foundation for the values of the deformation limits and improve illustrations on each of the five strain areas (including sample of deformation diagrams for a given position of the neutral line). In addition, we sought an algorithmic approach, avoiding the inclusion of dimensionless variables. The formulations found for the deformation of interest to the design of reinforced concrete cross sections are summarized at the end of the article.

Key-words: *strain distribution, neutral line, reinforced concrete.*