

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO II

TECNOLOGIA DA ARGAMASSA E DO CONCRETO

- Ensaio de Compressão de Corpos de Prova
- Resistência do Concreto

Concreto para fins estruturais

Classificação por grupos de resistência – NBR 8953:1992

3 Classe

3.1 Os concretos são classificados em grupos de resistência, grupo I e grupo II, conforme a resistência característica à compressão (f_{ck}), determinada a partir do ensaio de corpos-de-prova preparados de acordo com a NBR 5738 e rompidos conforme a NBR 5739.

3.2 Dentro dos grupos, os concretos normais com massa específica seca, de acordo com a NBR 9778, compreendida entre **2000 kg/m³ e 2800 kg/m³** são designados pela letra C seguida do valor da resistência característica à compressão (f_{ck}), expressa em MPa, conforme Tabelas 1 e 2

2400 ± 400 kg/m³

Concreto para fins estruturais

Classificação por grupos de resistência – NBR 8953:1992

Tabela 1 - Classes de resistência do grupo I

Grupo I de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)
C10	10
C15	15
C20	20
C25	25
C30	30
C35	35
C40	40
C45	45
C50	50

Tabela 2 - Classes de resistência do grupo II

Grupo II de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)
C55	55
C60	60
C70	70
C80	80

3.3 Os concretos leves, com massa específica seca, de acordo com a NBR 9778, menor que 2000 kg/m^3 , são designados pelo símbolo CL seguido do valor da resistência característica à compressão (f_{ck}), expressa em MPa, utilizando-se os valores de 3.2.

Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – **NBR 5738:2003**

4.1 Moldes

Cilíndricos

Devem ter altura igual ao dobro do diâmetro.

O diâmetro deve ser de 10, 15, 20, 25, 30 ou 45 cm.

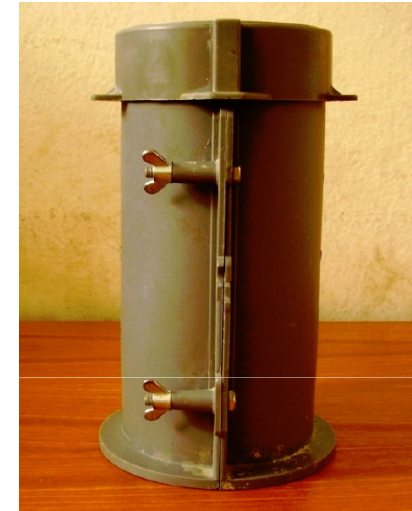
As medidas diametraais têm tolerância de 1% e a altura, 2%.

Os planos das bordas circulares extremas do molde devem ser perpendiculares ao eixo longitudinal do molde.

Prismáticos

Devem ter seção transversal quadrada, com superfícies lisas e livres de saliências, e cumprir com os seguintes requisitos:

- o comprimento deve ser pelo menos 50 mm maior que o vão de ensaio e 50 mm maior que três vezes a dimensão do lado da seção transversal do corpo-de-prova;
- a dimensão transversal deve ser de no mínimo 150 mm;
- a tolerância das dimensões deve ser inferior a 2% e nunca maior do que 2 mm.



Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – **NBR 5738:2003**

7.4 Moldagem dos corpos-de-prova

- Adensamento manual com haste
- Adensamento por vibração



Ref: Revista Techne Nr 152.

Haste de adensamento e concha para ensaio de abatimento e moldagem de corpo de prova

Abatimento a (mm)	Processo de adensamento
$10 \leq a \leq 30$ mm	vibratório
$30 < a \leq 150$ mm	manual ou vibratório
$a > 150$ mm	manual

Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – NBR 5738:2003

Tabela 1 - Número de camadas para moldagem dos corpos-de-prova ¹⁾

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	--	--

¹⁾ Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – **NBR 5738:2003**

8 Cura

8.1 Cura inicial

Após a moldagem, colocar os moldes sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra causa que possa perturbar o concreto.

Durante as primeiras 24 h (no caso de corpos-de-prova cilíndricos), ou 48 h (no caso de corpos-de-prova prismáticos), todos os corpos-de-prova devem ser armazenados em local protegido de intempéries, sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar perda de água do concreto.

(...)

8.2.1 Os corpos-de-prova a serem ensaiados a partir de um dia de idade, moldados com a finalidade de verificar a qualidade e a uniformidade do concreto utilizado em obra ou para decidir sobre sua aceitação, **devem ser desmoldados** 24 h após o momento de moldagem, no caso de corpos-de-prova cilíndricos, ou após 48 h, para corpos-de-prova prismáticos.

Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – **NBR 5738:2003**

8 Cura (cont.)

8.2.2 Antes de serem armazenados, os corpos-de-prova devem ser **identificados**.

8.2.3 Imediatamente após sua identificação, os corpos-de-prova devem ser armazenados até o momento do ensaio em **solução saturada** de hidróxido de cálcio a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou em **câmara úmida** à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95%. Os corpos-de-prova não devem ficar expostos ao gotejamento nem à ação de água em movimento.

8.2.4 Impedir a **secagem das superfícies** dos corpos-de-prova prismáticos entre o momento em que são retirados do local de cura e a realização do ensaio.

Na prática: retira-se o corpo de prova da solução 24h antes do ensaio.



Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – **NBR 5738:2003**

9 Preparação das bases dos corpos-de-prova cilíndricos para ensaio

REMATE, RETIFICAÇÃO ou CAPEAMENTO

9.3 **Remate com pasta de cimento** (procedimento opcional)

Decorridas 6 h a 15 h do momento da moldagem, passar uma escova de aço sobre o topo do corpo-de-prova e rematá-lo com uma fina camada de pasta de cimento consistente, com espessura menor ou igual a **3 mm**.

A pasta deve ser preparada de 2 h a 4 h antes de seu emprego.

O acabamento dos topos dos corpos-de-prova deve ser feito com o auxílio de uma **placa de vidro plana**, com no mínimo 12 mm de espessura e dimensões que ultrapassem em pelo menos 25 mm a dimensão transversal do molde.

Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – **NBR 5738:2003**

9 Preparação das bases dos corpos-de-prova cilíndricos para ensaio

9.4 Retificação ou capeamento

9.4.1 Retificação

Consiste na remoção, por meios mecânicos, de uma fina camada de material do topo a ser preparado. Esta operação é normalmente executada em máquinas especialmente adaptadas para essa finalidade, com a utilização de ferramentas abrasivas. A retificação deve ser feita de tal forma que se garanta a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida, e proporcione uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos.

As falhas de planicidade, em qualquer ponto da superfície obtida, não devem ser superiores a **0,05 mm**.

Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – **NBR 5738:2003**

9 Preparação das bases dos corpos-de-prova cilíndricos para ensaio

9.4.2 **Capeamento**

Consiste no revestimento dos topos dos corpos-de-prova com uma fina camada de material apropriado (...).

Deve ser utilizado um dispositivo auxiliar, denominado **capeador**, que garanta a perpendicularidade da superfície obtida com a geratriz do corpo-de-prova.

A superfície resultante deve ser lisa, isenta de riscos ou vazios e não ter falhas de planicidade superiores a **0,05 mm** em qualquer ponto.

A espessura da camada de capeamento não deve exceder **3 mm** em cada topo.

Outros processos podem ser adotados, desde que estes sejam submetidos à avaliação prévia por comparação estatística, com resultados obtidos de corpos de prova capeados por processo tradicional, e os resultados obtidos apresentem-se compatíveis.

Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – **NBR 5738:2003**

Capecamento com enxofre

A **NM 77:96** recomenda:

- a resistência à compressão da argamassa de enxofre seja superior a 34,5 MPa após 2h a sua moldagem;
- o material de capecamento não deve fluir nem fraturar durante o ensaio dos corpos-de-prova e deve apresentar resistência à compressão e módulo de elasticidade superiores ao do concreto a ser ensaiado;
- a dosagem aproximada em massa para a argamassa de enxofre.



Corpo-de-prova de enxofre ao lado de um corpo-de-prova de concreto capecado

Gabarito **capeador** de enxofre

Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto

Sistemas de capeamento não colados

- Capeamento elastomérico confinado - ASTM C 1231/C 1231M (2000):

- as almofadas elastoméricas se deformam no carregamento inicial e se conformam no contorno das extremidades do cilindro, sendo impedidas de deslocarem-se lateralmente por prato de metal com anel, proporcionando-se assim uma distribuição uniforme da carga no topo do corpo de prova.
- os capeamentos não colados são admitidos em uma ou em ambas superfícies do corpo de prova;
- não devem ser usados para ensaios de aceitação de concretos com resistências abaixo de 10 MPa ou acima de **85 MPa**;

Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto

- Capeamento elastomérico confinado - ASTM C 1231/C 1231M (2000):

TABLE 1 Requirements for Use of Polychloroprene(Neoprene) Pads

Cylinder Compressive Strength, psi [MPa]	Shore A Durometer Hardness	Qualification Tests Required	Maximum Reuses ^A
1 500 to 6 000 [10 to 40]	50	none	100
2 500 to 7 000 [17 to 50]	60	none	100
4 000 to 7 000 [28 to 50]	70	None	100
7 000 to 12 000 [50 to 80]	70	Required	50
Greater than 12,000 [80]		not permitted	

^A Maximum number of reuses. Will be less if pads wear, crack or split. See Note 6.

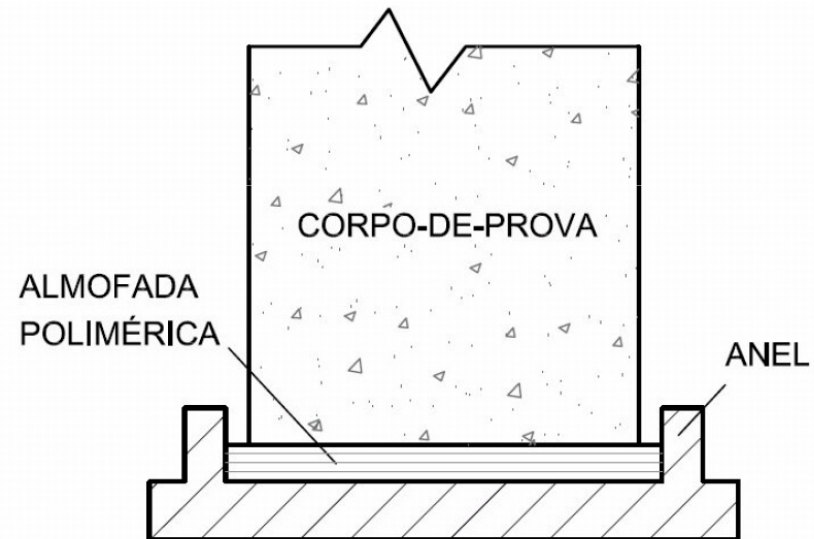
Nota: a dureza do **neoprene** depende da intensidade da resistência avaliada, e a almofada tem um número máximo de utilizações definido.

Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto

- Capeamento elastomérico confinado - ASTM C 1231/C 1231M (2000):



Base metálica com anel de retenção e almofadas de neoprene



Ref.: Bezerra, A. C. S., 2007, "INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE ENSAIO NOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS: UMA ANÁLISE EXPERIMENTAL E COMPUTACIONAL", Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da UFMG.

Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – NBR 5739:2007

5 Execução do ensaio

Até a idade de ensaio, os corpos-de-prova devem ser mantidos em processo de cura úmida ou saturada (...).

As faces de aplicação de carga dos corpos-de-prova (topos inferior e superior) devem ser rematadas (...).

Os corpos-de-prova devem ser rompidos à compressão em uma dada idade especificada, com as tolerâncias de tempo descritas na Tabela:

Idade de ensaio /Tolerância permitida:	24 h ± 30 min
	3 d ± 2 h
	7 d ± 6 h
	28 d ± 24 h
	63 d ± 36 h
	91 d ± 2 d

Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – NBR 5739:2007

5 Execução do ensaio

A carga de ensaio deve ser aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento de 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s. Nenhum ajuste deve ser efetuado nos controles da máquina, quando o corpo-de-prova estiver se deformando rapidamente ao se aproximar de sua ruptura.

	NBR 5739:2007	NM 101:1996	ASTM C 39-04a
carga de ensaio	$0,45 \pm 0,15$ MPa/s	0,15 a 0,35 MPa/s	$0,25 \pm 0,05$ MPa/s
aproximação do valor da resistência	3 algarismos significativos	0,1 MPa	0,1 MPa

Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – NBR 5738:2003

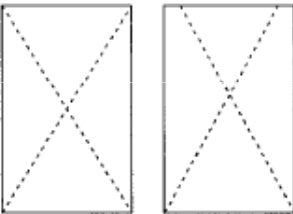
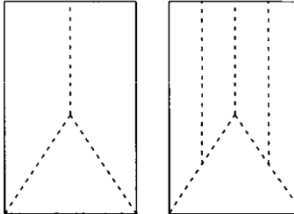
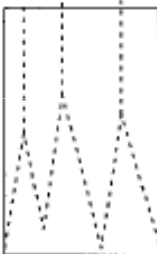
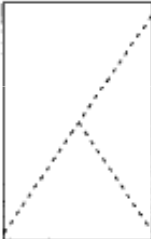
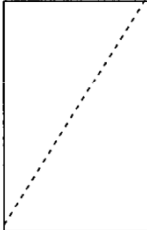


6.2 Apresentação dos resultados

O certificado de resultados de ensaio de corpos-de-prova moldados segundo a NBR 5738 deve conter as seguintes informações:

- a) número de identificação do corpo-de-prova;
- b) data de moldagem;
- c) idade do corpo-de-prova;
- d) data do ensaio;
- e) dimensões dos corpos de prova;
- f) tipo de capeamento empregado;
- g) classe da máquina de ensaio (segundo NBR-NM-ISO-7500-1:2004);
- e) resultado da resistência à compressão individual dos corpos-de-prova e do exemplar;
- f) tipo de ruptura do corpo-de-prova (opcional).

Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – NBR 5739:2007

Tipos de ruptura dos corpos de prova (Anexo A)

A	B	C	D	E	F	G
						
<p>Cônica e cônica afastada 25mm do capeamento</p>	<p>Cônica e bipartida e cônica com mais de uma partição</p>	<p>Colunar com formação de cones</p>	<p>Cônica e cisalhada</p>	<p>Cisalhada</p>	<p>Fraturas no topo e ou na base, abaixo do capeamento</p>	<p>Fraturas próximas ao topo ou na base</p>

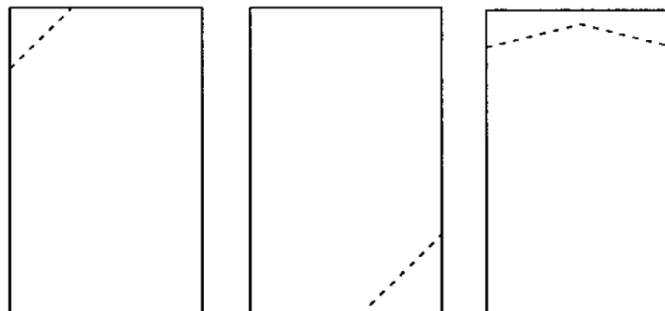
Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – NBR 5738:2003

6.2 Apresentação dos resultados

Quando a dispersão entre resultados de um mesmo exemplar for significativa, convém investigar o tipo de ruptura, pois defeitos na moldagem e/ou no arremate dos topos e bases dos corpos de prova podem ser identificados e sanados.

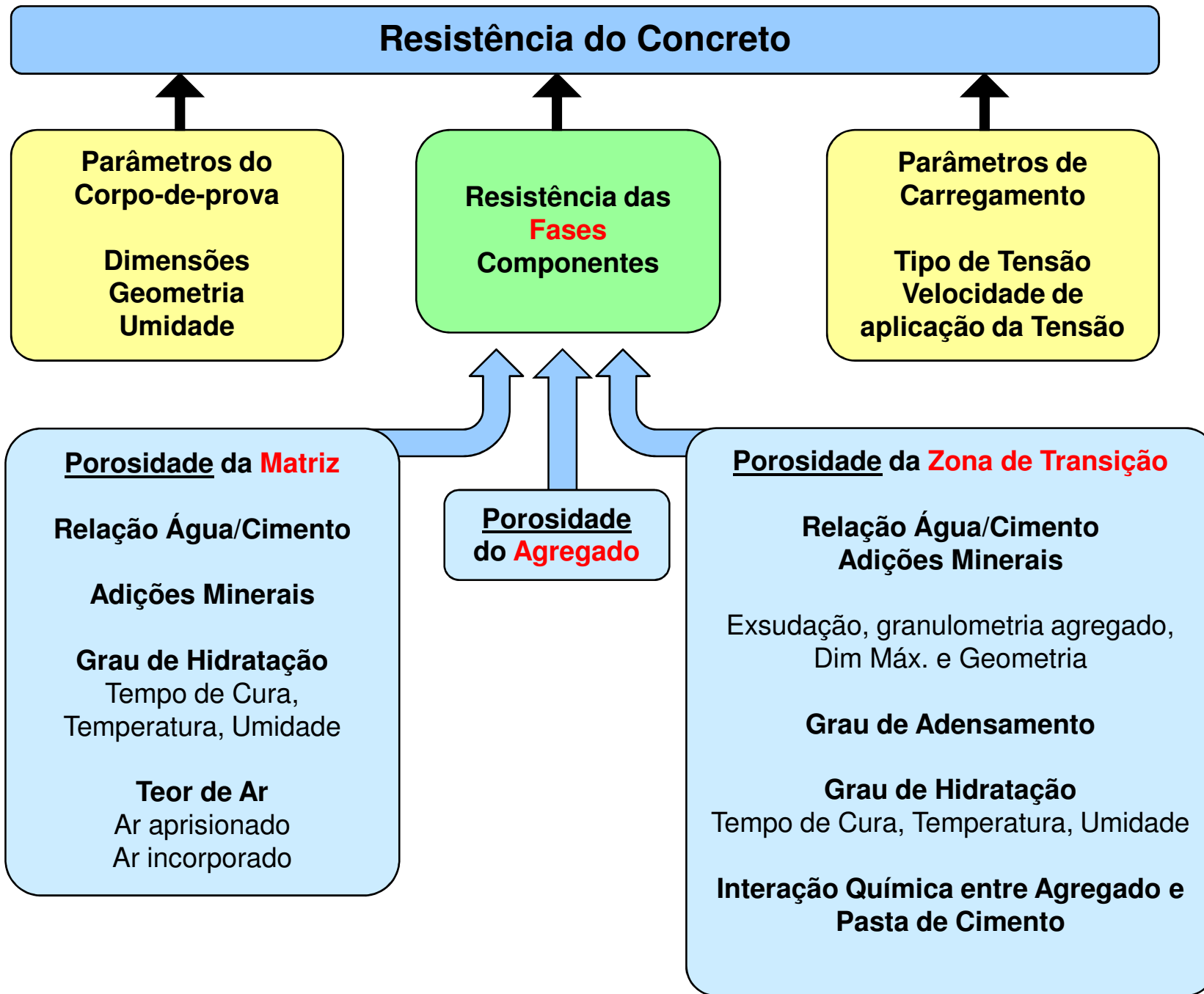
Geralmente, quando ocorre uma dispersão significativa, a ruptura enquadra-se nos **tipos F e G** (com fraturas junto ao topo e/ou base).

(Nota da NBR 5738:2007)



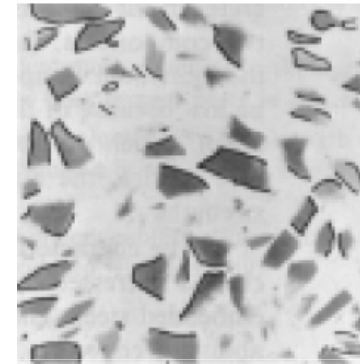
Ensaio de compressão

- Propriedade mais valorizada, e mais controlável
- Resistência/Ruptura:
Tensão máxima que a amostra de concreto pode suportar.
- Inversamente proporcional à **porosidade**;
- Fatores que influem na resistência podem ser classificados em 3 categorias:
 - 1) Características e proporções dos materiais
 - 2) Condições de Cura
 - 3) Parâmetros do ensaio
- **Ensaio de compressão**: nem sempre há sinais visíveis de fratura externa, no entanto, as **fissuras internas** terão atingido um estado avançado tal que o corpo-de-prova não suporta mais uma carga maior.



Ensaio de Compressão Simples

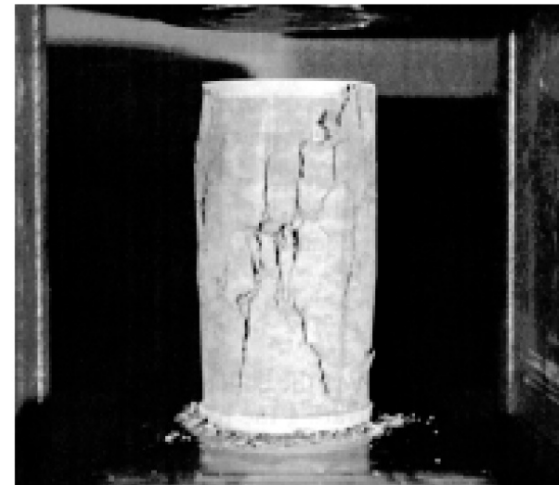
As fissuras não se iniciam na matriz (argamassa) antes de se atingir 50% da tensão de ruptura. Até esse estágio, pode-se observar apenas um sistema estável de fissuras na zona de transição intersticial com o agregado graúdo.



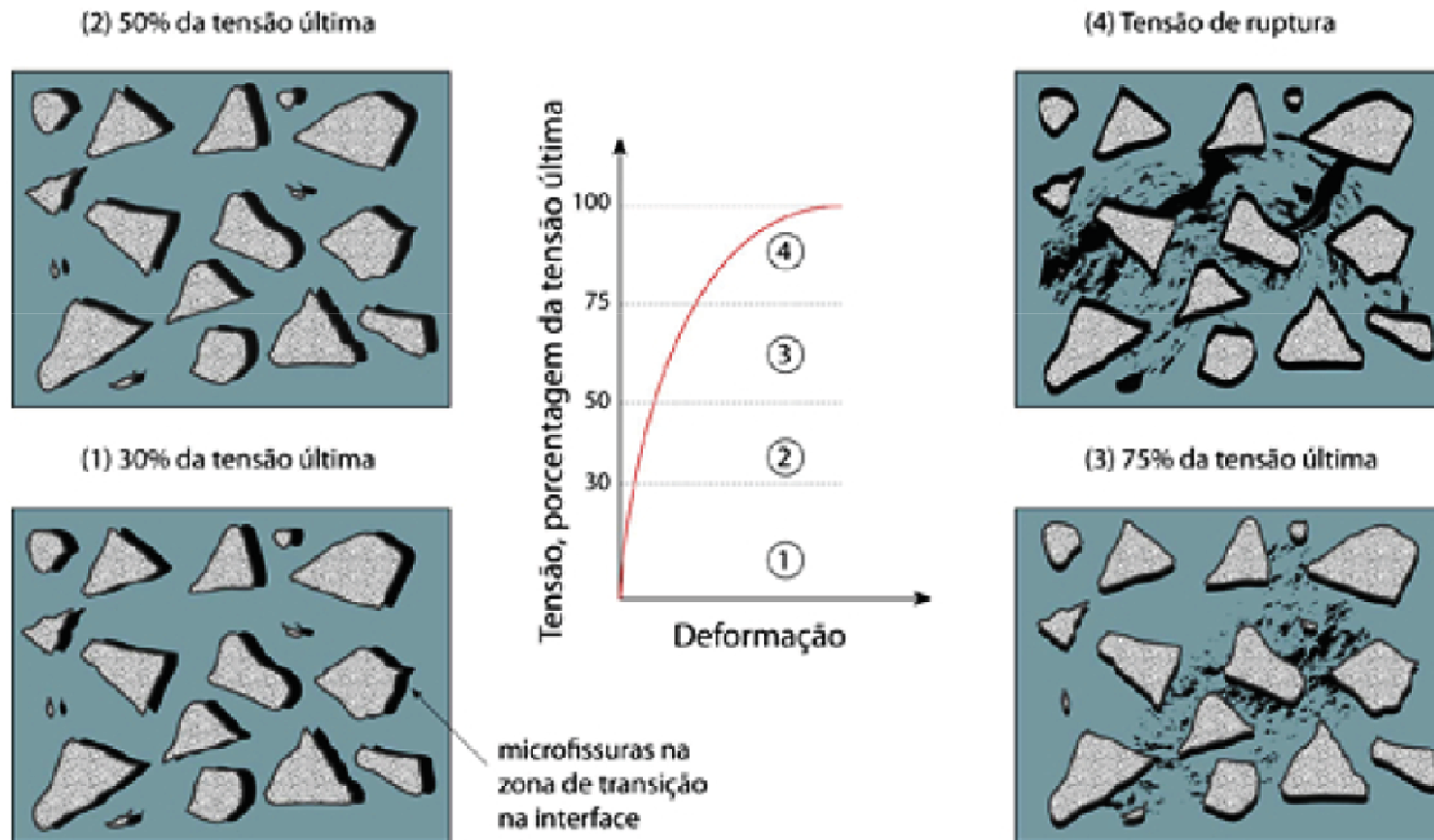
Em níveis maiores de tensão, as fissuras se iniciam na matriz; sua quantidade e tamanho crescem progressivamente com o aumento de tensão.

As fissuras na matriz e zona de transição acabam por se agrupar;

Normalmente a superfície de ruptura pode ser observada entre 20° e 30° a partir da direção da carga.



Ensaio de Compressão Simples



fc x idade

Item 12.3.3 NBR 6118:2003

$$f_{cd} = \frac{f_{ckj}}{\gamma_c} \cong \beta_1 \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

sendo β_1 a relação f_{ckj}/f_{ck} dada por:

$$\beta_1 = \exp \{ s [1 - (28/t)^{1/2}] \}$$

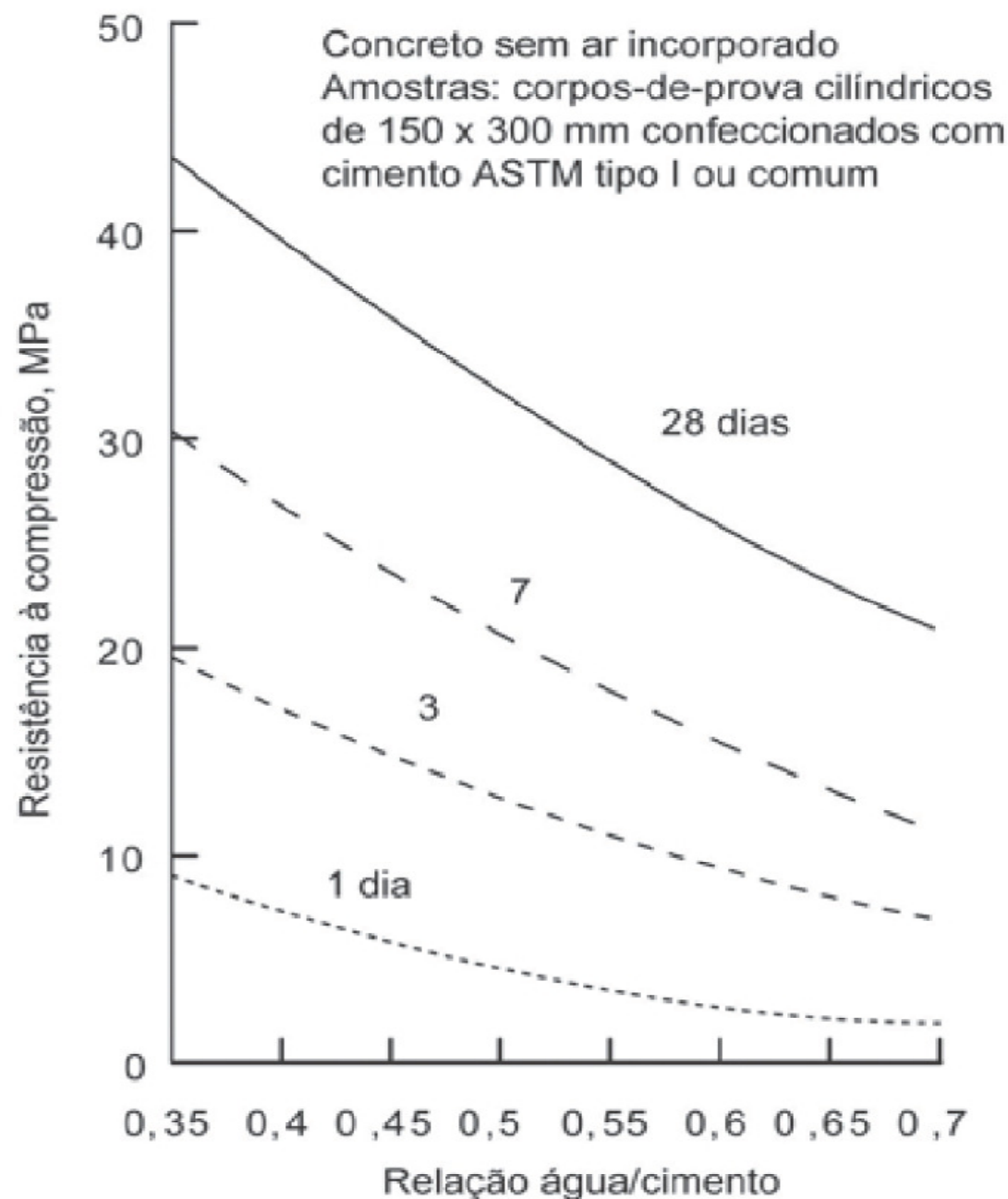
onde:

$s = 0,38$ para concreto de cimento CPIII e IV;

$s = 0,25$ para concreto de cimento CPI e II;

$s = 0,20$ para concreto de cimento CPV-ARI;

t é a idade efetiva do concreto, em dias.



fc x idade

Relação $\frac{f_{c28}}{f_{c7}}$

