

## MÓDULO 2

# PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Eng° Rubens Curti



# PROPRIEDADES

## COMPORTAMENTO FÍSICO

### ➤ No estado fresco inicial

⇒ Suspensão de partículas diversas

- pasta de cimento
- agregados
- aditivos ou adições

⇒ Endurecimento progressivo na fôrma

- produtos da hidratação do cimento (gel)
- perda de água p/ o ambiente

# PROPRIEDADES

## COMPORTAMENTO FÍSICO

⇒ Mudanças iniciais de volume e temperatura

- ascensão de água
- assentamento dos agregados maiores
- evaporação progressiva de água
- calor de hidratação

⇒ Aumento de consistência e perda de mobilidade

- perda de TRABALHABILIDADE

# PROPRIEDADES

## TRABALHABILIDADE

**Propriedade do concreto no estado fresco que determina a facilidade e a homogeneidade com a qual podem ser misturados, lançados, adensados e acabados.**

# PROPRIEDADES

## FATORES CONDICIONANTES DA TRABALHABILIDADE

- ✓ Equipamentos e procedimentos de concretagem
  - mistura
  - transporte
  - lançamento
  - adensamento
- ✓ Tempo de uso do concreto
- ✓ Condições ambientes

# PROPRIEDADES

## FATORES DETERMINANTES DA TRABALHABILIDADE

### ✓ Proporção relativa entre constituintes

- traço

- % relativa de argamassa

- % relativa de brita

- % relativa de água

### ✓ Características dos agregados

- Forma e dimensões partículas

### ✓ Aditivos e adições

# PROPRIEDADES

## AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE

- Ensaio de abatimento do tronco de cone
- (NBR NM 67/98) – consistência plástica
- Ensaio de abatimento na mesa de Graff
- (NBR NM 68/98) – consistência fluída
- Ensaio de VeBe – (ACI 211.3/87) – consistência seca
- Caixa de Walz – (DIN 1048-1) – consistência entre plástica e seca

# PROPRIEDADES

<b>Consistência</b>	<b>Meios de compactação a empregar</b>	<b>Ensaio</b>
Terra úmida	Vibração potente e compressão (pré-fabricados)	VeBe
Seca	Vibração potente (pré-fabricado)	Caixa de Walz
Semi-plástica	Vibração normal	Caixa de Walz
Plástica	Socamento	Abatimento
Fluída	Auto-adensável	Espalhamento

# PROPRIEDADES

## ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE - NBR 7223

- Cone com 20cm de diâmetro na base, 10cm de diâmetro no topo e 30cm de altura
- Moldado em 3 camadas com alturas iguais, adensadas com 25 golpes, com barra de 16mm de diâmetro e 60 de comprimento



# PROPRIEDADES

## ENSAIO DE VeBe

- Tronco de cone colocado dentro de recipiente cilíndrico
- Disco metálico, com 1,9kg é colocado sobre o tronco de cone de concreto moldado



Recomendado para concreto com aparência seca

# PROPRIEDADES

## ENSAIO DA CAIXA DE WALZ

- Mede o abatimento sofrido pelo concreto, em cm, em função de seu adensamento por vibração
- Caixa metálica com dimensões de 20 x 20 x 40 cm, preenchida com o concreto
- Concreto vibrador de imersão até obtenção de superfície lisa e brilhante



# PROPRIEDADES

## ENSAIO DE ABATIMENTO NA MESA DE GRAFF - NM 68/98

- Cone com 20cm de diâmetro na base, 13cm de diâmetro no topo e 20cm de altura
- Moldado em 2 camadas iguais, adensadas com 10 golpes, com soquete
- Aplicado 15 golpes em 15 s



# PROPRIEDADES

## PERDA DE TRABALHABILIDADE

- INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS CONSTITUINTES
- INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA
- INFLUÊNCIA DO TEMPO

# PROPRIEDADES

## PERDA DE TRABALHABILIDADE

### ➤ INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS CONSTITUINTES

#### ➤ Cimento:

✓  Teor de álcalis

✓  Teor de “gesso”

➤  Umidade do agregado

➤ Utilização de aditivos



**Velocidade da  
perda de  
trabalhabilidade**

# PROPRIEDADES

## PERDA DE TRABALHABILIDADE

### ➤ INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA

✓  Temperatura do concreto

✓  Temperatura ambiente



**Velocidade da  
perda de  
trabalhabilidade**

# PROPRIEDADES

## PERDA DE ABATIMENTO

### ➤ *NBR 10342/92*

- ✓ Temperatura e umidade com baixa variação
- ✓ Medições de abatimento a cada 15 min
- ✓ Encerramento com abatimento  $(20 \pm 10)$  mm

# PROPRIEDADES

## MOLDAGEM E CURA DE CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO (NBR 5738/03)

### ➤ Corpos-de-prova Cilíndricos

- ✓ Resistência à compressão
- ✓ Resistência à compressão diametral

### ➤ Corpos-de-prova prismáticos

- ✓ Resistência à tração na flexão

# PROPRIEDADES

## TEOR AR INCORPORADO

*Efeitos sobre o concreto endurecido:*

- Aumento da resistência ao ataque de águas agressiva;
- Diminui a absorção capilar , uma vez que as bolhas interrompem os canalículos, reduzindo a capilaridade;
- Redução da massa específica aparente;
- Eliminação de zonas fracas do concreto, pois confere-lhe melhor homogeneidade;
- Diminuição das resistências à compressão e à tração, dependendo da quantidade de ar incorporado.

# PROPRIEDADES

## TEOR AR INCORPORADO



# PROPRIEDADES

## TEOR AR INCORPORADO

- ✓ Os vazios capilares têm forma irregular, os vazios de ar incorporado são geralmente esféricos.
- ✓ Os vazios do ar incorporado têm diâmetro típico de 50  $\mu\text{m}$ ; ao passo que a do ar acidental, em geral, formam bolhas muito maiores, algumas tão grande como as bolhas familiares, embora indesejáveis, que aparecem junto às formas.

# PROPRIEDADES

## SEGREGAÇÃO

**Separação dos constituintes de uma mistura heterogênea de modo que sua distribuição deixe de ser uniforme**

# PROPRIEDADES

## SEGREGAÇÃO

### ➤ CAUSAS

- Diferenças no tamanho das partículas
- Diferenças na massa específica dos constituintes
- Traço inadequado
- Transporte

# PROPRIEDADES

## SEGREGAÇÃO

Quando maior a distância a ser percorrida, maior será a segregação

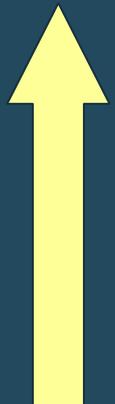


# PROPRIEDADES SEGREGAÇÃO



- Viscosidade
- Relação a/c

Granulometria descontínua



- Distância de transporte
- Altura de lançamento
- Vibração do concreto



SEGREGAÇÃO

# PROPRIEDADES

## EXSUDAÇÃO

Forma de segregação em que parte da água da mistura (por ser o componente menos denso) tende a subir para a superfície de um concreto recém aplicado

# PROPRIEDADES

## EXSUDAÇÃO

A exsudação inicialmente evolui em velocidade constante, decrescendo a medida que ocorrem as primeiras reações de hidratação (início de pega)

# PROPRIEDADES

## EXSUDAÇÃO

### ✓ CAUSAS

- ✓ **Baixa retenção de água dos constituintes sólidos do concreto**
- ✓ **Dimensões das partículas dos agregados**
- ✓ **Traço inadequado**

# PROPRIEDADES

## EXSUDAÇÃO



- **Cimento**

- Consumo

- Finura

- Teor de  $C_3A$

- **Partículas do agregado  $< 150 \mu m$**

- **Teor de ar incorporado**

- **Menor tempo de pega do concreto**



**EXSUDAÇÃO**

# PROPRIEDADES

## EXSUDAÇÃO - CUIDADOS

- Deve -se evitar o acabamento imediato da superfície exsudada, aguardando-se a evaporação da água
- A evaporação da água na superfície do concreto não deve ser maior que a velocidade de exsudação, para evitar a fissuração plástica

# PROPRIEDADES

## EXSUDAÇÃO - ENSAIO

### ➤ MN 102/96

- recipiente cilíndrico  
 $d=25\text{ cm}$  e  $h=28\text{ cm}$
- coleta de água em  
tempo fixo



# PROPRIEDADES

## TEMPO DE PEGA

Intervalo de tempo desde a adição de água até o momento no qual o concreto não pode ser mais trabalhado

# PROPRIEDADES

## TEMPO DE PEGA - ENSAIO



### ➤ NBR 9832/87

Resistência à penetração da  
agulha de Proctor

• **Início: > 3,4 MPa**

• **Fim: > 27,6 MPa**

# PROPRIEDADES

## TEMPO DE PEGA

### ✓ INFLUÊNCIA

- Temperatura do concreto
- Temperatura ambiente
- Tipo de cimento
- Relação a/c
- Utilização de aditivos
- Contaminação dos agregados

# PROPRIEDADES

## CONCRETO FRESCO - ANOMALIAS

### ➤ PERDA PRECOCE DE ABATIMENTO

- ✓ temperatura
- ✓ cimento
- ✓ aditivos

### ➤ RETRAÇÃO PLÁSTICA

- ✓ taxa de evaporação > taxa ascensão
- ✓ pega demorada (tipos de cimento, aditivos, teores impróprios)
- ✓ assentamento ou exsudação excessivos

# PROPRIEDADES

## CONCRETO FRESCO - ANOMALIAS

### ➤ FISSURAS

- ✓ **elementos estruturais com grandes superfícies expostas**
- ✓ **elevadas temperaturas ambientes**
- ✓ **cimento**
- ✓ **traço**
- ✓ **desempenamento excessivo do concreto**
- ✓ **retração por secagem**

# PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

# COMPOSIÇÃO DOS CONCRETOS

**20% a 40% do volume = pasta**

**60% a 80% do volume = agregado**

# PROPRIEDADES

## A QUALIDADE DO CONCRETO ENDURECIDO DEPENDE:

### ➤ DOS MATERIAIS

- ✓ cimento
- ✓ agregados
- ✓ água
- ✓ aditivos

### ➤ DA QUALIDADE DO CONCRETO FRESCO

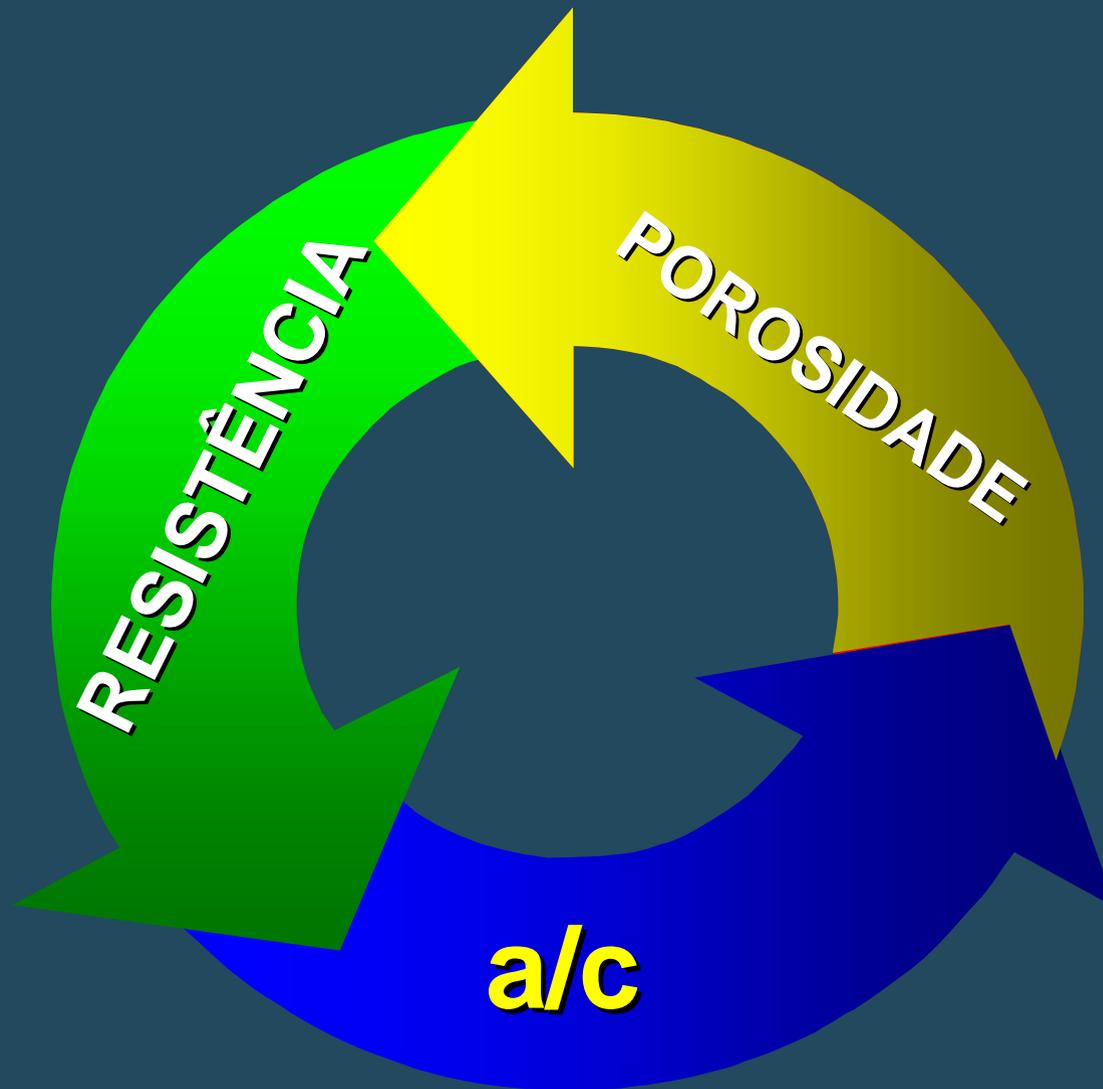
- ✓ controle de produção
- ✓ cuidados no transporte, lançamento, adensamento e cura

# PROPRIEDADES

## FATORES QUE INFLUENCIAM AS RESISTÊNCIAS DO CONCRETO

### ➤ INFLUÊNCIA DO CIMENTO E DA ÁGUA

- ✓ Relação água/cimento
- ✓ Grau de hidratação do cimento
- ✓ Tipo de cimento
- ✓ Qualidade da água



# PROPRIEDADES

## FATORES QUE INFLUENCIAM AS RESISTÊNCIAS DO CONCRETO

### ➤ INFLUÊNCIA DO AGREGADO

- ✓ Aderência pasta - cimento
- ✓ Resistência do próprio agregado
- ✓ Módulo de deformação do agregado

### ➤ INFLUÊNCIA DA IDADE

### ➤ INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CURA

- ✓ Umidade
- ✓ Temperatura

# PROPRIEDADES

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NBR 5739/94

### ➤ Propriedade mais referenciada

- ✓ facilidade com que é determinada
- ✓ relacionada às demais propriedades

# PROPRIEDADES

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NBR 5739/94

- **Corpos de prova cilíndricos ensaiados conforme a NBR 5739**
- **Valor da resistência de ruptura à compressão é dado por:**

$$R = \frac{P}{S}$$

P = valor da carga de ruptura, kN.

S = área calculada em função do diâmetro do corpo de prova, mm<sup>2</sup>



# PROPRIEDADES

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NBR 5739/94

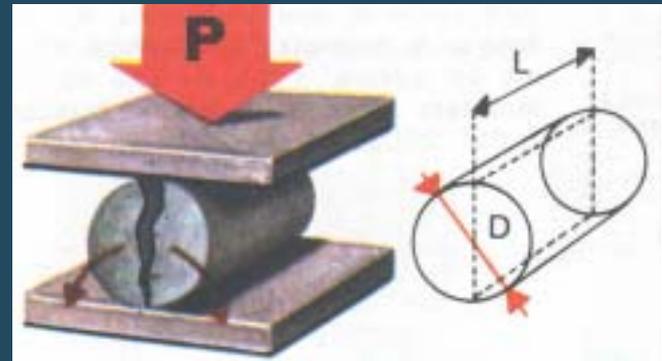
### ➤ Condições de ensaio

- ✓ Geometria e dimensões dos corpos de prova
- ✓ Grau de compactação
- ✓ Teor de umidade do concreto
- ✓ Velocidade de aplicação de carga
- ✓ Distribuição de tensões

# PROPRIEDADES

## RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL NBR 7222/94

$$f_{t,D} = \frac{2.P}{\pi.d.L}$$



**P = carga máxima aplicada, kN**

**d = diâmetro do corpo-de-prova, mm**

**L = altura do corpo-de-prova, mm**

# PROPRIEDADES

## RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO NBR 12142/91

$$f_{ctM} = \frac{pl}{bd^2}$$

$p$  = carga máxima aplicada, N

$l$  = distância entre apoios, mm

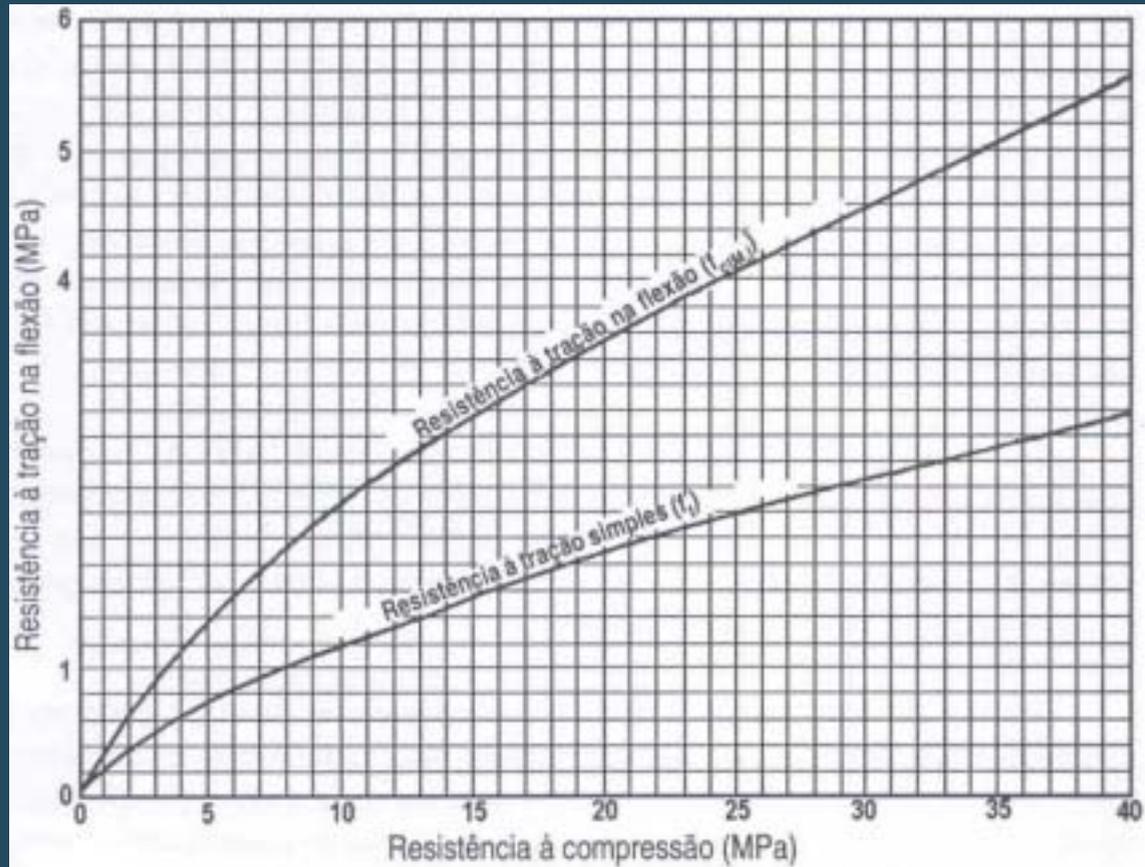
$d$  = largura média na seção de ruptura, mm

$b$  = altura média na seção de ruptura, mm



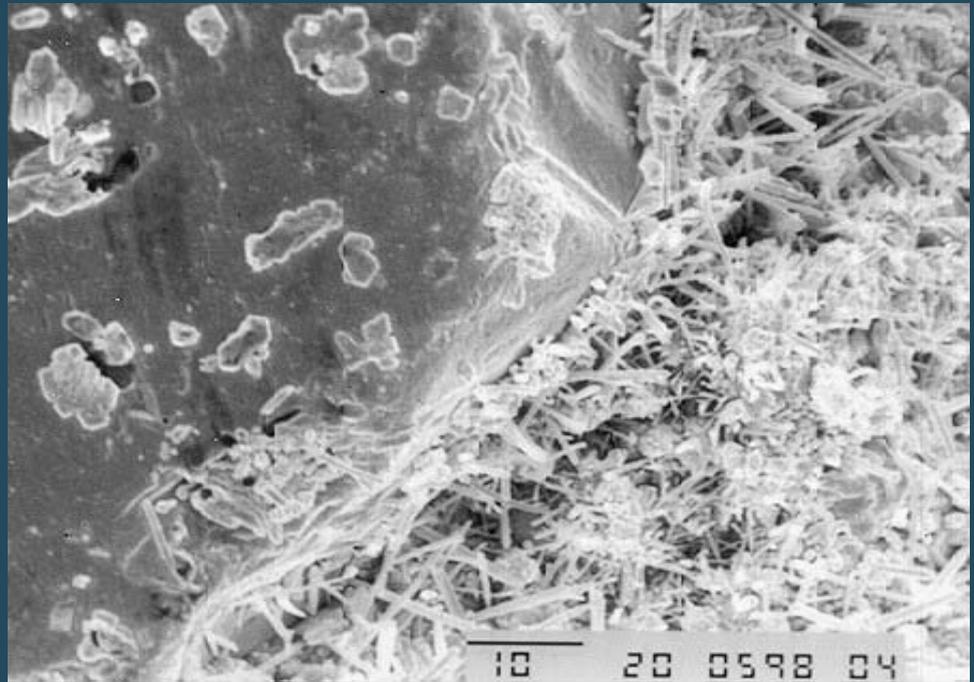
# PROPRIEDADES

## CORRELAÇÃO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO x TRAÇÃO NA FLEXÃO



# Resistência do concreto é determinada pela:

- Resistência da pasta
- Propriedades dos agregados
- Resistência da ligação pasta-agregado



***A resistência da pasta é o principal fator de influência na resistência à compressão***

# Influência do Agregado nas Propriedades do Concreto

➤ **Aderência pasta-agregado**

➤ **Resistência do grão**

➤ **Tamanho do grão**

# INFLUÊNCIA DA IDADE

*Previsão da resistência aos 28 dias, com base na resistência determinada aos 7 dias, é muito difícil*

**Pois a correlação entre  $f_{c_7}$  e  $f_{c_{28}}$  depende do nível de resistência do concreto e do tipo de cimento, mas quanto menor a/c e maior resistência, menor o valor da relação  $f_{c_{28}}/f_{c_7}$**

# Resistência do Grão

**Concretos com  
agregados leves são  
*menos resistentes* que  
concretos com  
agregados normais**

# Módulo de Deformação

**É a relação entre a tensão aplicada e a deformação correspondente**

# PROPRIEDADES

## MÓDULO DE DEFORMAÇÃO



# PROPRIEDADES

## MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

É a relação entre a tensão aplicada e a deformação correspondente



# PROPRIEDADES

## CÁLCULO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (tangente inicial)

$$E_{ci} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \times 10^{-3} \text{ (GPa)}$$

$\sigma_b$  = é a tensão maior (MPa) ( $\sigma_b = 0,3f_c$ )

$\sigma_a$  = é a tensão básica (MPa) ( $\sigma_a = 0,5\text{MPa}$ )

$\varepsilon_b$  = é a deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão maior.

$\varepsilon_a$  = é a deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão básica.

**NBR 8522/03**

# PROPRIEDADES

## CALCULO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO (secante)

$$E_{cs} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \times 10^{-3} \text{ (GPa)}$$

$\sigma_b$  = é a tensão maior (MPa)

$\sigma_a$  = é a tensão básica (MPa) ( $\sigma_a = 0,5\text{MPa}$ )

$\varepsilon_b$  = é a deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão maior.

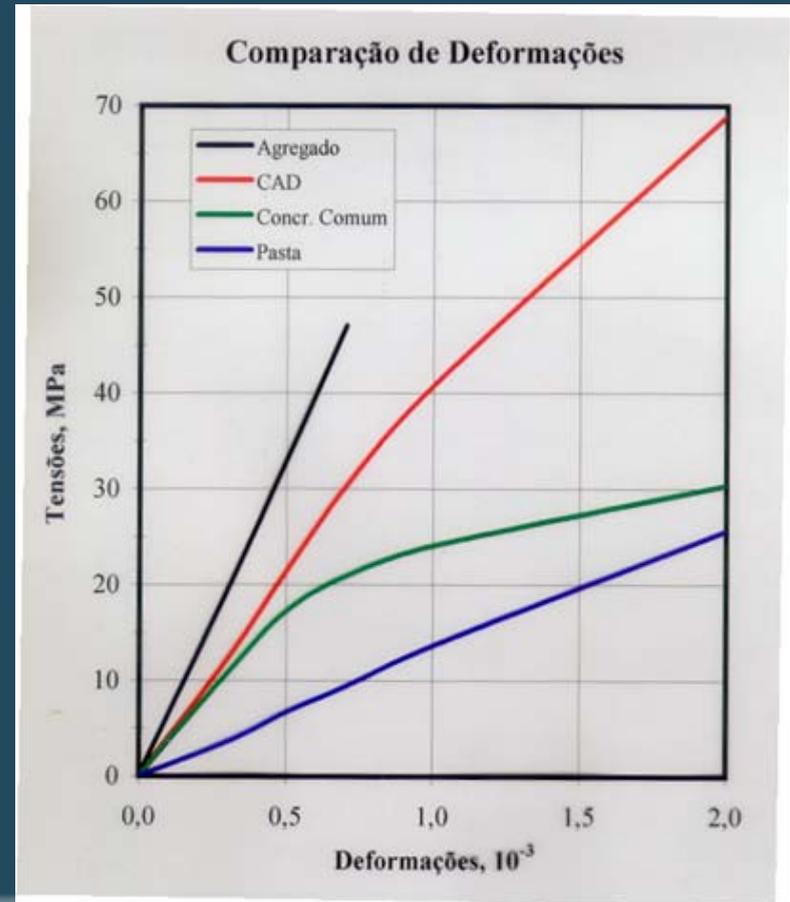
$\varepsilon_a$  = é a deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão básica.

**NBR 8522/03**

# PROPRIEDADES

## MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

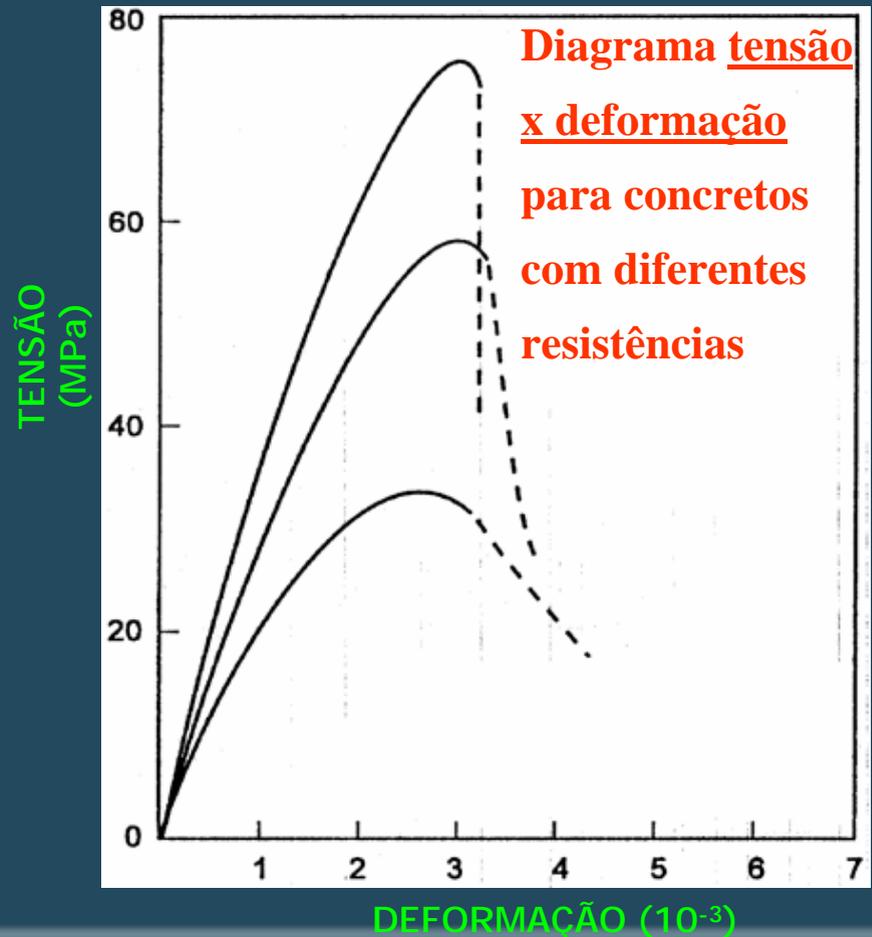
O módulo de deformação do concreto aumenta com o aumento do módulo de deformação do agregado



# PROPRIEDADES

## MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

O módulo de deformação do concreto aumenta com sua resistência à compressão



# PROPRIEDADES

## MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

- ✓ Rigidez do agregado
  - ✓ Teor de agregado na mistura
    - ✓ Resistência do concreto
      - ✓ Zona de transição

# PROPRIEDADES

## NBR 8522/03 - MÓDULO DE ELASTICIDADE OU DEFORMAÇÃO

### ✓ MÓDULO DE ELASTICIDADE

É utilizado para caracterizar a deformabilidade do concreto.

### ✓ MÓDULO DE DEFORMAÇÃO SECANTE

Simula a estrutura em seu 1º carregamento. O carregamento do corpo-de-prova virgem pode ser aplicável quando há interesse na simulação de uma estrutura cuja carga permanente prevalece



# PROPRIEDADES

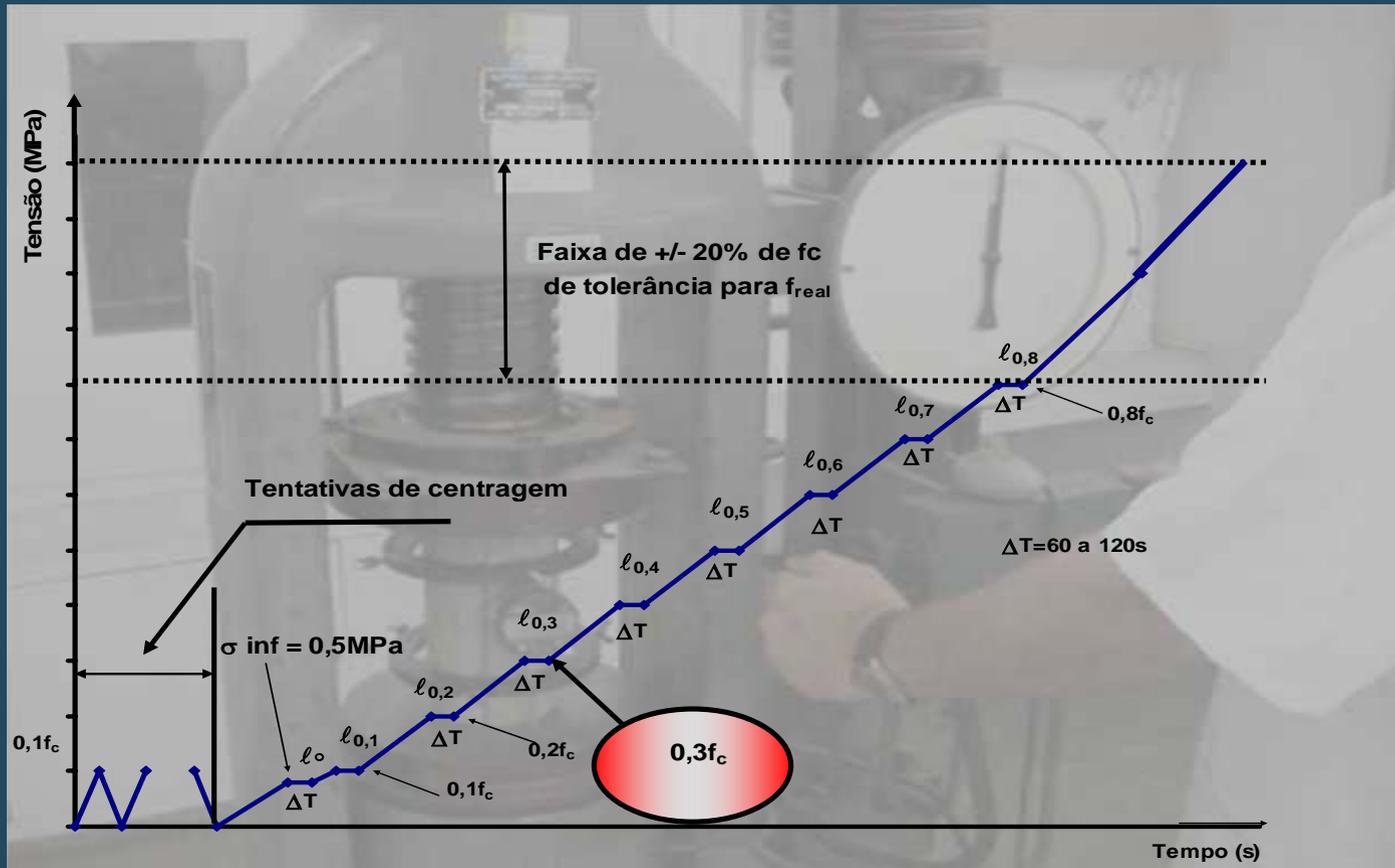
PREVISÃO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO - NBR 6118/03  
(2ª edição)

$$E_{ci} = 5600 \sqrt{f_{ck}}$$

$$E_{cs} = 0,85 E_{ci}$$

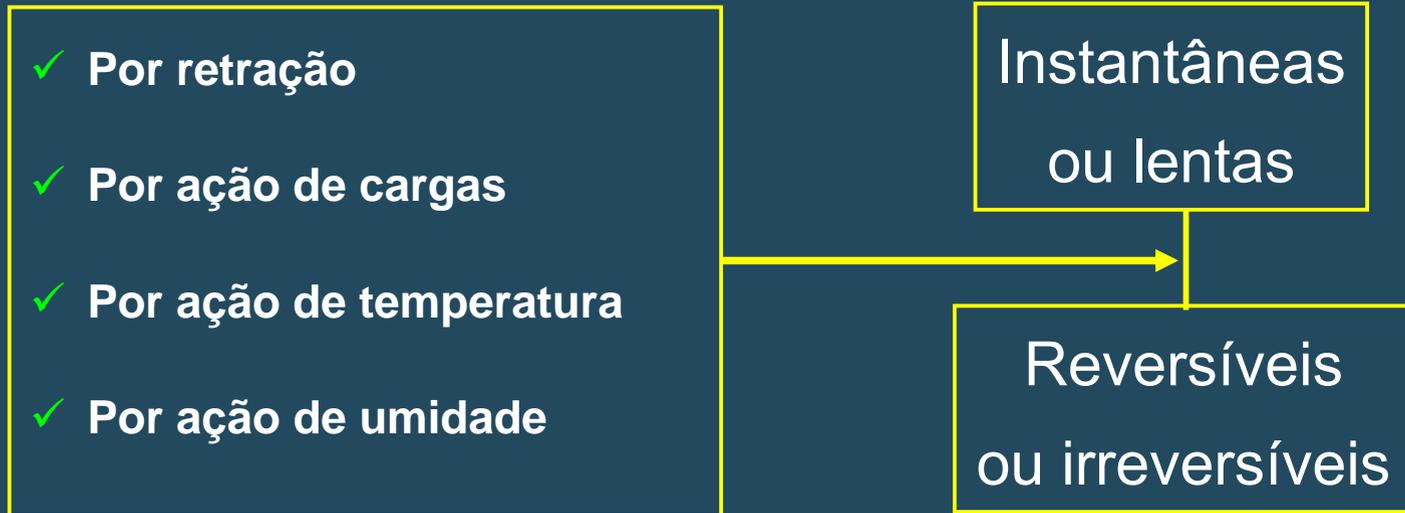
# PROPRIEDADES

## MÓDULO DE DEFORMAÇÃO SECANTE



# PROPRIEDADES

## DEFORMAÇÕES DO CONCRETO



# PROPRIEDADES

## CLASSIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES

### ➤ Concreto fresco

- ✓ Assentamento plástico
- ✓ Retração plástica
- ✓ Retração superficial

# PROPRIEDADES

## CLASSIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES

### ➤ Concreto endurecido - por ação ambiente

- ✓ Retração por secagem
- ✓ Retração por carbonatação
- ✓ Movimentações cíclicas térmicas e higroscópicas (reversíveis)

# PROPRIEDADES

## CLASSIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES

- Concreto endurecido - por ação de cargas de serviço
  - ✓ Deformações instantâneas (elásticas e plásticas)
  - ✓ Deformação lenta ou por fluência (resultante da ação lenta do carregamento que causa a movimentação da água adsorvida no gel de CSH e capilares do concreto, bem como a transferência de tensões entre a pasta e os agregados → simultânea à retração)

# PROPRIEDADES

## CONTROLE DAS DEFORMAÇÕES PARA CARGAS DE SERVIÇO

### ➤ No projeto

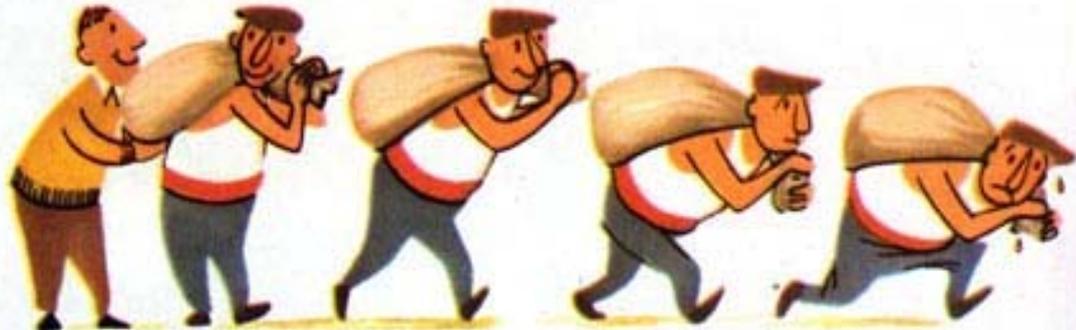
- ❖ Consideração e especificação do módulo de deformação final
  - ✓ Etapas críticas: deforma
- ❖ Nível de carregamento do concreto

# PROPRIEDADES

## DEFORMAÇÃO SOB CARGA

O concreto como toda a matéria sólida, se deforma sob carga.

Mas esta deformação aumenta com o tempo de carga.



As deformações elásticas são instantâneas e reversíveis.



As deformações obtidas lentamente são permanentes e irreversíveis.

De "Ao pé do muro" (L'Hermite)

# PROPRIEDADES

## FATORES QUE AFETAM A RETRAÇÃO POR SECAGEM E FLUÊNCIA

- Materiais e dosagem do concreto
  - ✓ Pasta (a/c, consumo m<sup>3</sup>)
  - ✓ Módulo de deformação do agregado
- Idade do concreto
- Geometria do elemento estrutural
- Aumento de temperatura e diminuição da umidade relativa do ar

# PROPRIEDADES

## FLUÊNCIA

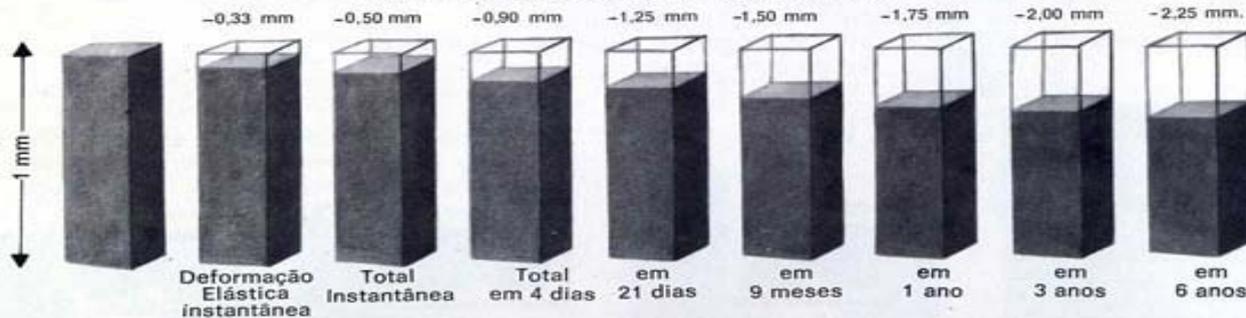
A deformação plástica irreversível, que se superpõe à deformação elástica reversível é semelhante à deformação do chumbo ou do asfalto.

Ela se faz por uma deformação lenta que cresce com o correr do tempo quando a carga é mantida e que se chama

### FLUÊNCIA



Vejamos abaixo o exemplo de um concreto dosado com 350 kg de cimento/metro cúbico de concreto e carregado aos 7 dias com carga de trabalho de 100 kg/cm<sup>2</sup>, em compressão, conservado no ar seco a 50% de umidade.



A deformação lenta, sob carga é muito demorada depois de 6 anos, mas é atualmente impossível dizer se ela tenderá para um limite. Certos ensaios mostram uma permanência da deformação lenta depois de 20 anos de ensaio, é extremamente fraca e tem mais importância teórica do que prática.

De "Ao pé do muro" (L'Hermite)

# FADIGA DO CONCRETO

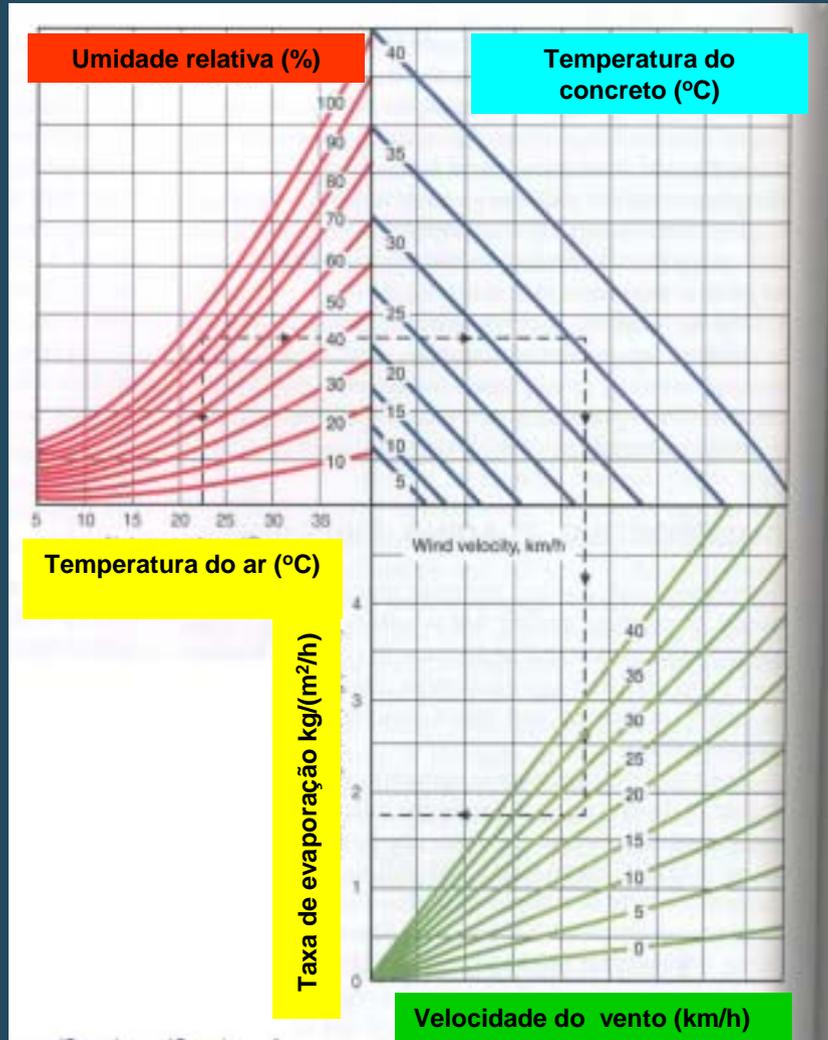
- **Decorre da atuação de cargas repetidas sobre o concreto**
- **Importante em obras como pavimentos**
- **Experiências mostram que após 10 milhões de ciclos de carga, o concreto rompe com esforço aproximadamente igual à metade do correspondente ao estado estático**

# PROPRIEDADES

## RETRAÇÃO PLÁSTICA

- Ocasionada pela perda de água por evaporação do concreto ainda no estado plástico
- A intensidade da retração plástica é influenciada pela temperatura, pela umidade relativa e pela velocidade do vento
- Pode haver fissuração se a quantidade de água perdida for maior que a quantidade de água que sobe a superfície por efeito da exsudação

# TAXA DE EVAPORAÇÃO



# PROPRIEDADES

## RETRAÇÃO AUTÓGENA

- Ocorre sem troca de umidade com o exterior, à temperatura constante.
- Esse tipo de retração é consequência da remoção da água dos poros capilares pela hidratação do cimento ainda não hidratado processo este conhecido como *auto-secagem*
- Normalmente ocorrem em concretos onde a relação a/c é extremamente baixa

# PROPRIEDADES

## RETRAÇÃO HIDRÁULICA

- **A retirada da água do concreto conservado em ar não saturado causa a retração hidráulica ou por secagem.**
- **A retração é tanto maior quanto maior a relação a/c, pois esta determina a quantidade de água evaporável na pasta de cimento e a velocidade à qual a água pode se deslocar a superfície do concreto.**

# PROPRIEDADES

## RETRAÇÃO POR CARBONATAÇÃO

- É produto de uma reação química entre o  $\text{CO}_2$  da atmosfera e os hidratados do cimento  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ .
- A retração por carbonatação aumenta a umidades intermediárias. Se a umidade for inferior a 25%, não haverá água suficiente nos poros da pasta de cimento para formação do ácido carbônico com o  $\text{CO}_2$ . No outro extremo quando os poros estão cheios de água, é muito lenta a difusão do  $\text{CO}_2$ .
- Formam-se produtos com volumes menores que os volumes dos reagentes.

# PROPRIEDADES

## Concreto carbonatado



**Profundidade de carbonatação**

# PROPRIEDADES



## Câmara de carbonatação