

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

Consistência	Meios de compactação a empregar	Ensaio
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 ± 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 μm ; 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

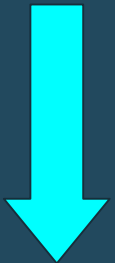
PROPRIEDADES

SEGREGAÇÃO

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

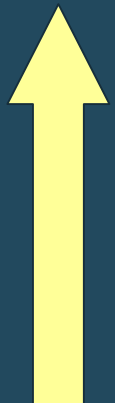


PROPRIEDADES SEGREGAÇÃO



- 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

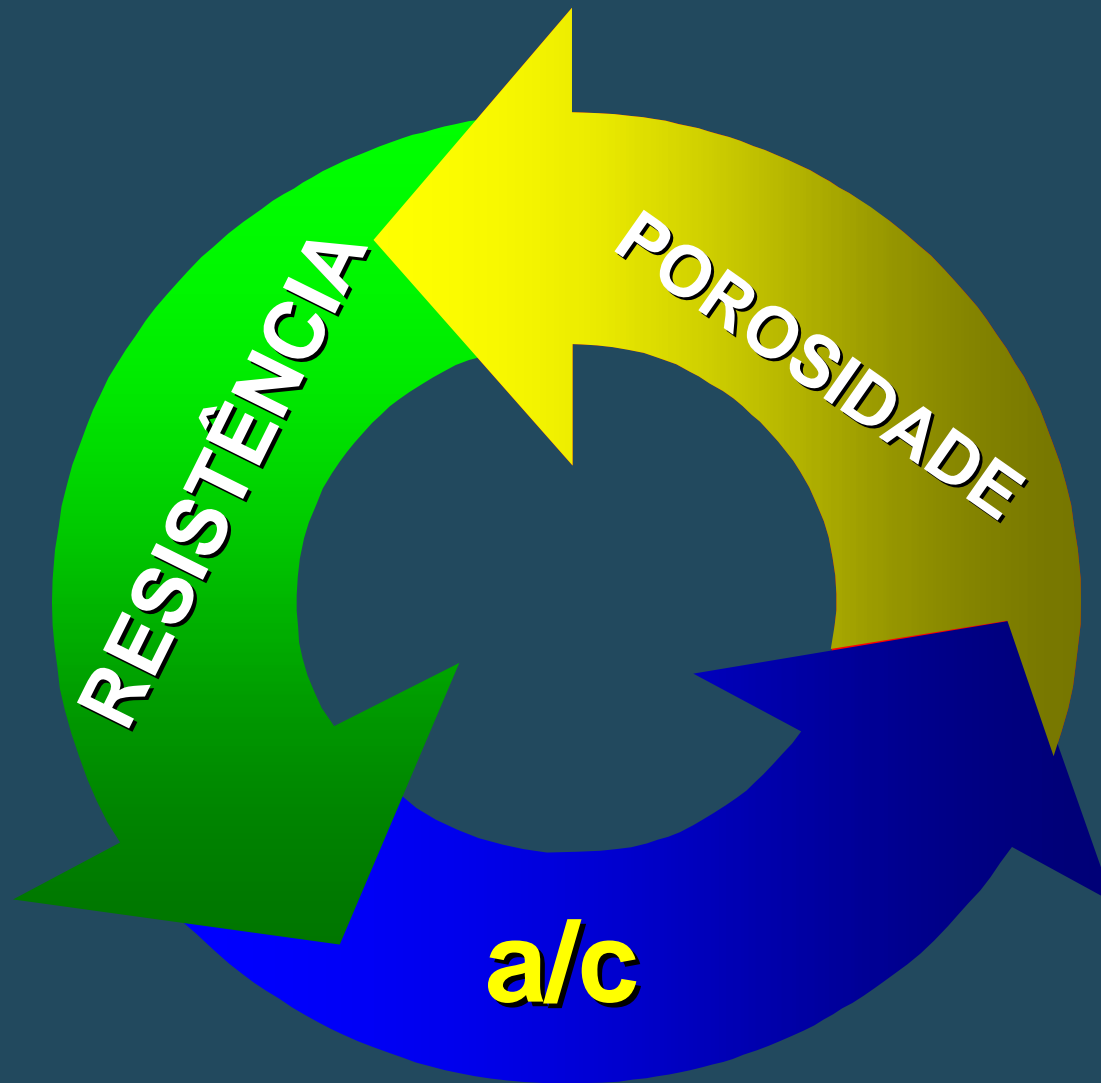
- ✓ controle de produção
- ✓ cuidados no transporte, lançamento, adensamento e cura

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, mm²



PROPRIEDADES

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NBR 5739/94

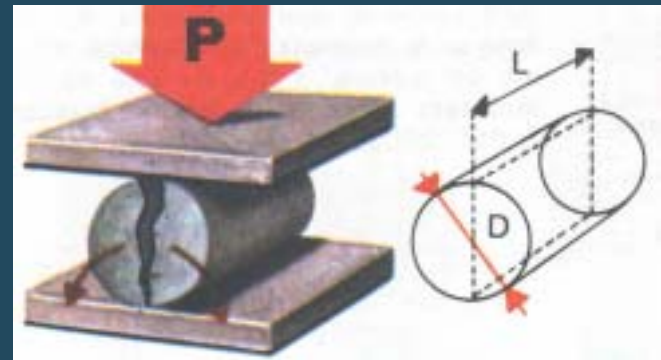
➤ Condições de ensaio

- ✓ 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

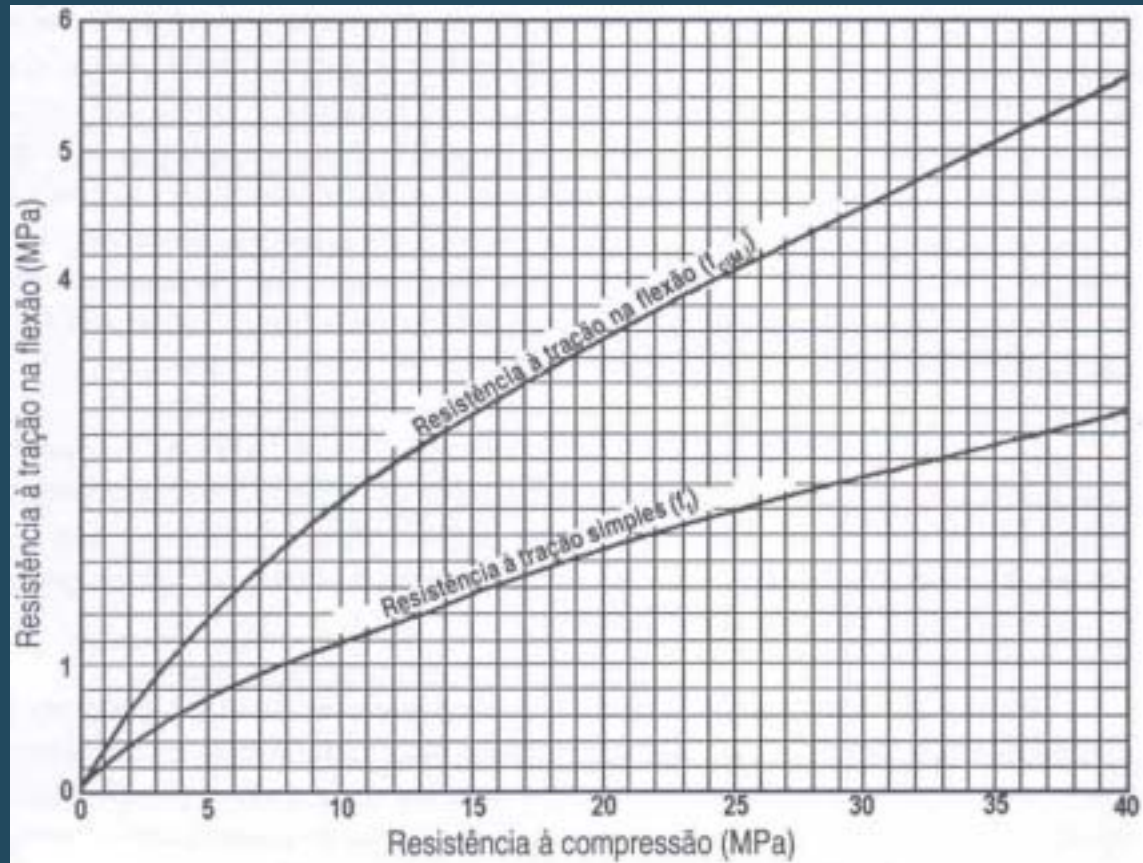
d = largura média na seção de ruptura, mm

b = altura média na seção de ruptura, mm



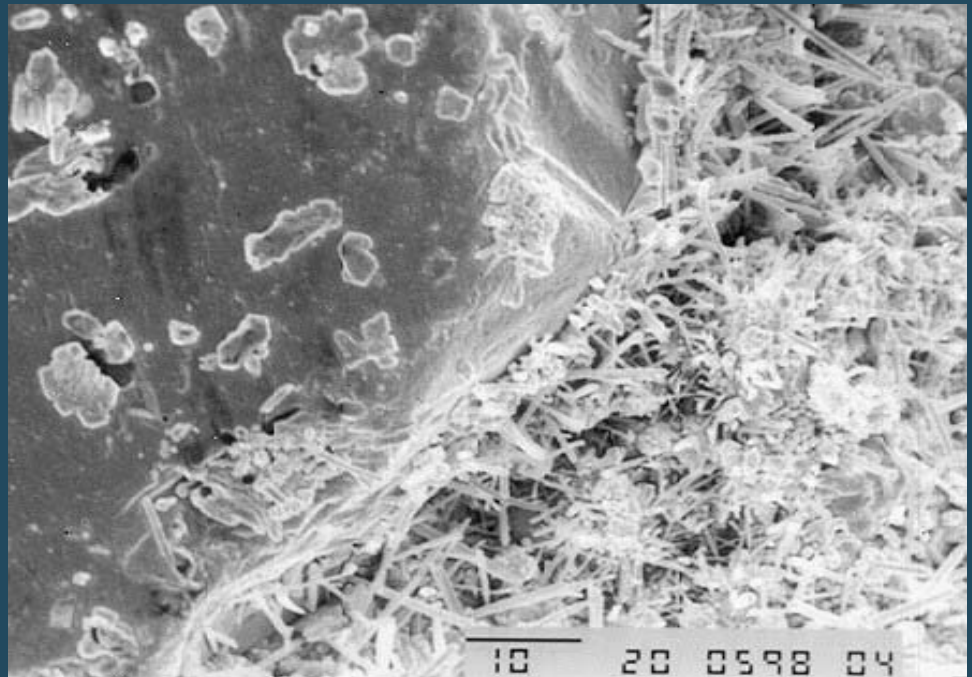
PROPRIEDADES

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)

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

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

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

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

ε_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)

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

σ_b = é a tensão maior (MPa)

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

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

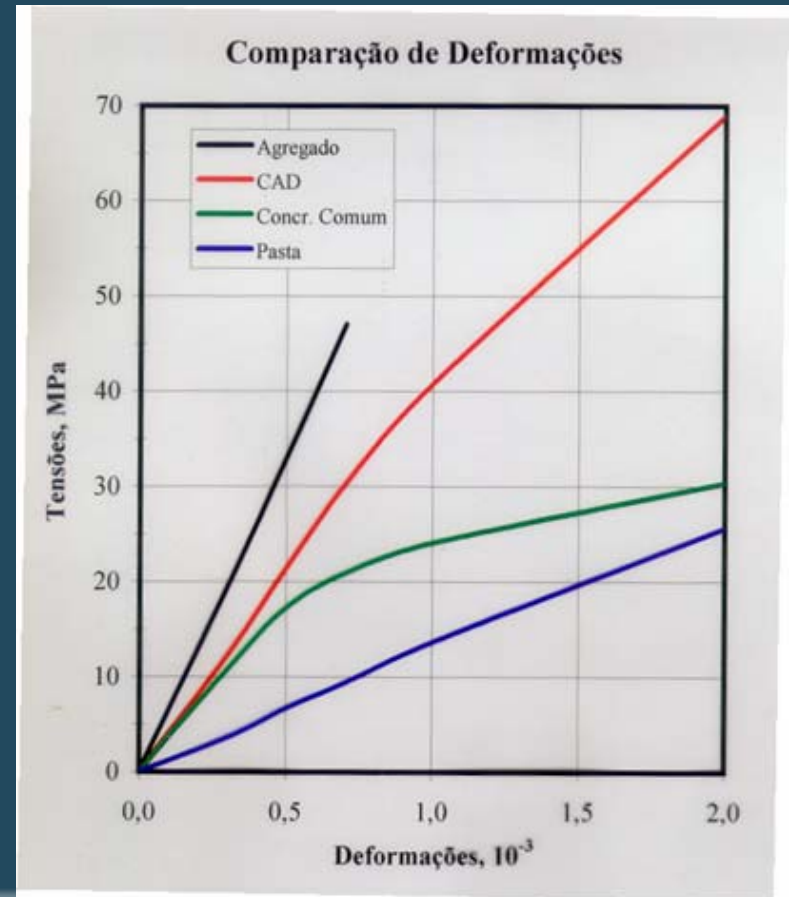
ε_a = é a deformação específica média dos corpos-de-prova ensaiados sob a tensão básica.

NBR 8522/03

PROPRIEDADES

MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

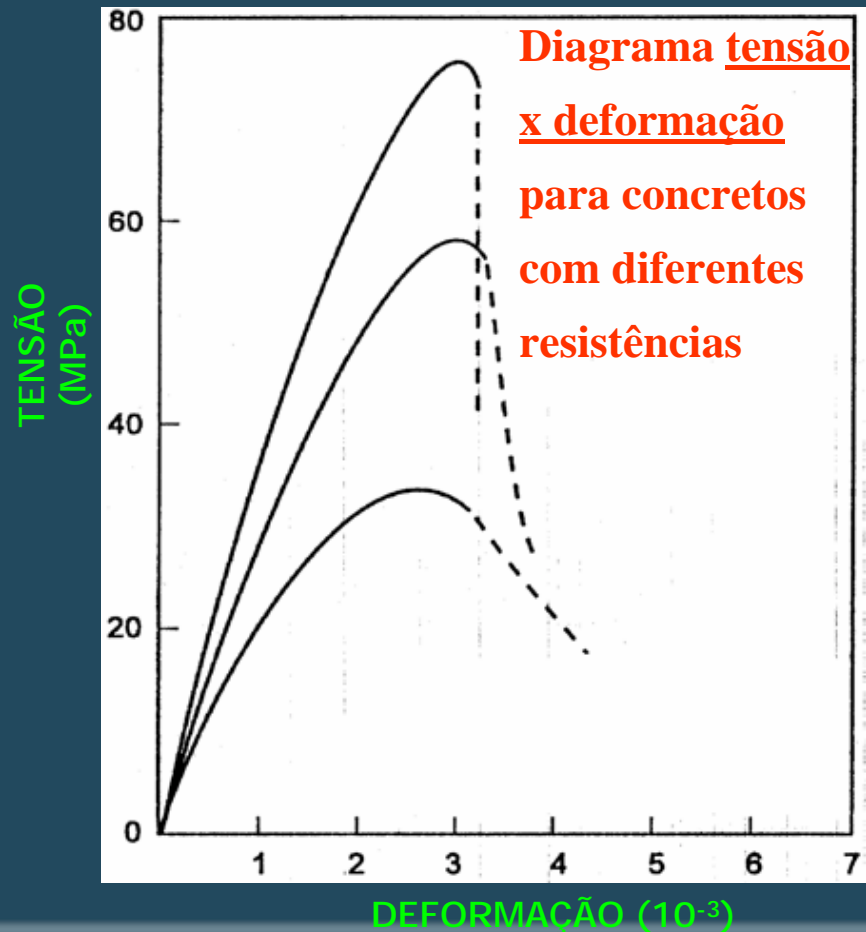
O módulo de deformação do concreto aumenta com o aumento do módulo de deformação do agregado



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

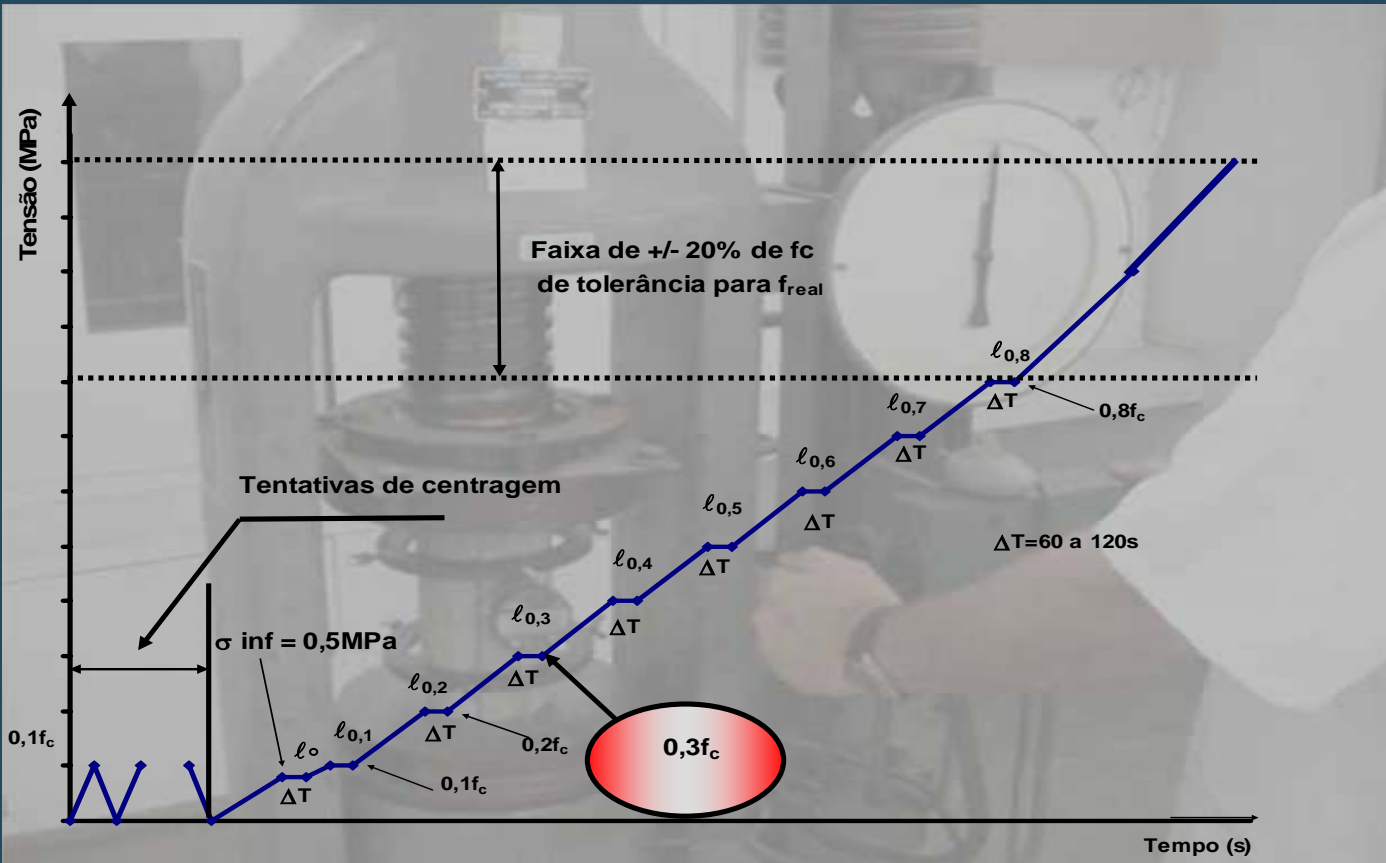
PREVISÃO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO - NBR 6118/03
(2ª edição)

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

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

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 m³)
 - ✓ Módulo de deformação do agregado
- Idade do concreto
- Geometria do elemento estrutural
- Aumento de temperatura e diminuição da umidade relativa do ar

PROPRIEDADES

FLUÊNCIA

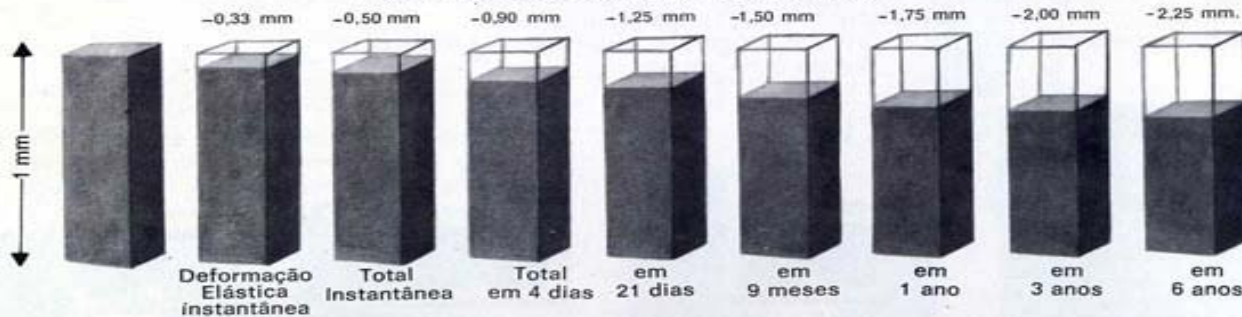
A deformação plástica irreversível, que se superpõe à deformação elástica reversível é semelhante à deformação do chumbo ou do asfalto.

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/cm², 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

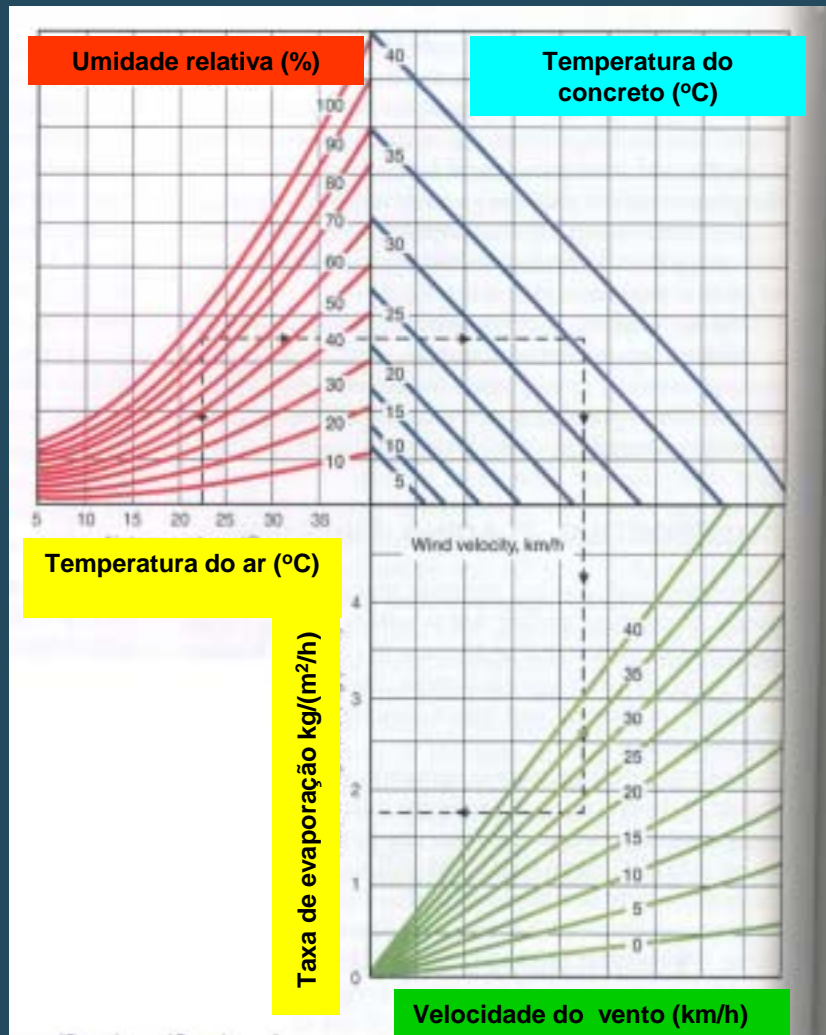
- **Decorre da atuação de cargas repetidas sobre o concreto**
- **Importante em obras como pavimentos**
- **Experiências mostram que após 10 milhões de ciclos de carga, o concreto rompe com esforço aproximadamente igual à metade do correspondente ao estado estático**

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 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 CO_2 . No outro extremo quando os poros estão cheios de água, é muito lenta a difusão do CO_2 .
- Formam-se produtos com volumes menores que os volumes dos reagentes.

PROPRIEDADES

Concreto carbonatado



Profundidade de carbonatação

PROPRIEDADES



Câmara de carbonatação