



TECON
PCC 2341

Retração e Fluência

Equipe de Professores

Antonio Figueiredo Silvia Selmo
Paulo Helene Vahan Agopyan
Rafael Pileggi Vanderley John

1



Bibliografia de referência

- MEHTA, Kumar & MONTEIRO, Paulo. CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo, IBRACON, 2008. 675p.
Capítulo 4 → Estabilidade Dimensional
- ISAIA, Geraldo (editor). CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, IBRACON, 2005. v. 1, 1600p.
Capítulo 22 → Deformações por Retração e Fluência
→ Nicole Hasparyk

2



Importância

Conhecimento do comportamento do concreto:

- *auxiliar* na previsão do comportamento do concreto a longo prazo: ***projeto estrutural***;
- prevenir manifestações patológicas nas estruturas: ***fissuras e flechas***;
- “contribuir” para a economia, sustentabilidade e durabilidade das estruturas.

3



Estabilidade dimensional

Importância

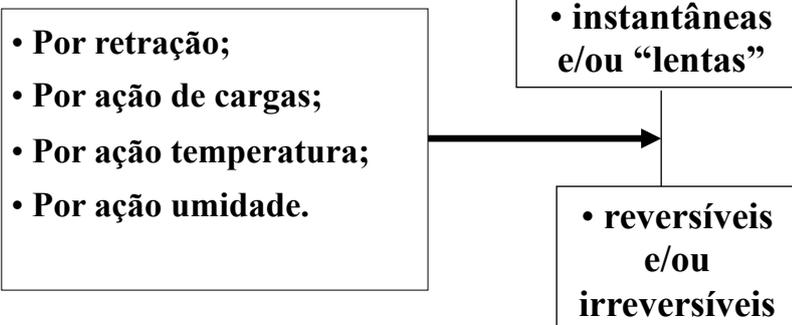
- Controle das deformações e fissuras do concreto, de modo que não comprometam:
 - Elementos estruturais;
 - Outros subsistemas (p. ex. vedações);
 - Durabilidade e o desempenho global da obra.



4



Deformações das estruturas de concreto



5



Classificação das deformações

- Concreto endurecido - deformações intrínsecas:
 - Retração química \approx contração química \approx retração ou contração autógena \approx auto-dessecação \rightarrow resultante das reações de hidratação;
 - Deformações térmicas oriundas do calor de hidratação (reações exotérmicas).

6



Classificação das deformações

■ Concreto endurecido – deformações extrínsecas

- Por ação ambiente:

- Retração por secagem \approx retração hidráulica ;
- Retração por carbonatação (*pouco significativa*);
- Movimentações cíclicas térmicas e/ou higroscópicas (*essencialmente reversíveis*);
- Por ação de cargas de serviço (cíclicas, imediatas ou de longa duração=fluência)



Classificação das deformações

■ Por ação cargas de serviço:

- **Deformações instantâneas** (reversíveis ou elásticas e irreversíveis ou plásticas);
- **Deformação lenta ou por fluência** \rightarrow resultante da ação de carga de longa duração, que causa a movimentação da água adsorvida no gel de CSH. Ocorre simultânea à retração hidráulica ou de secagem) (reversível e irreversível) ;
- **Deformação por fadiga** devidas a cargas cíclicas (reversível e irreversível)

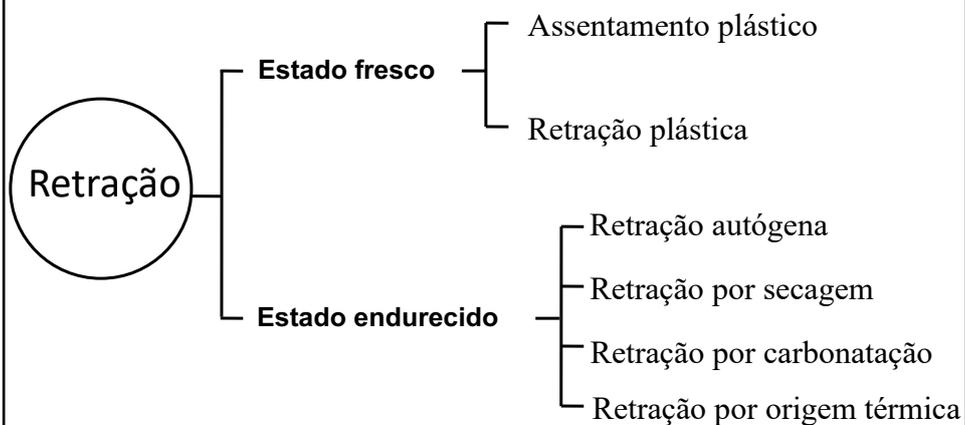


RETRAÇÃO

9



Retração → visão geral



Obs.: vamos concentrar em ESTADO ENDURECIDO

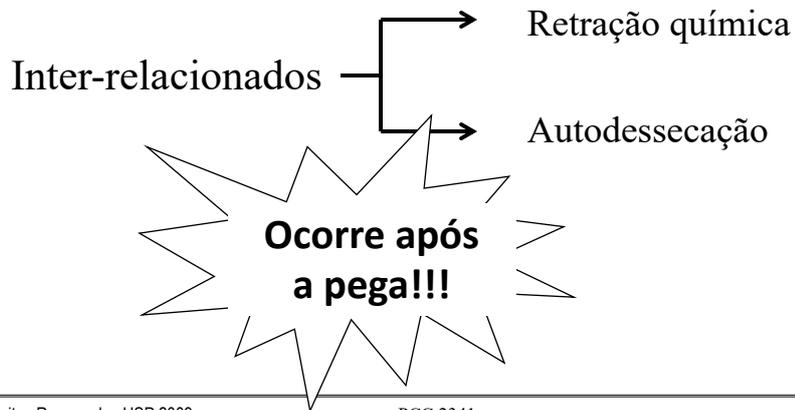
10



Retração Autógena

obs.: retração autógena = retração química = auto-dessecação = contração autógena ou química

Mecanismos:



Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

11

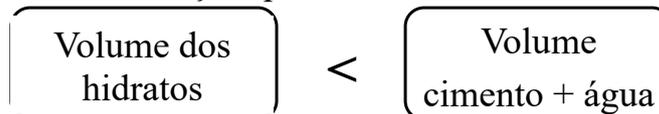
11



Retração Autógena

Mecanismos:

1 - Retração química:



2 - Autodessecação:

Redução da umidade no interior do concreto sob condição isolada (sem perda de massa – consumo de H₂O pelas reações de hidratação)

Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

12

12



Retração Autógena

Como minimizar?

Cura adequada

Reduzindo consumo de pasta por m³

Aditivos Expansivos

Causam aumento de volume para compensar a retração autógena



Retração Autógena

Como minimizar?

Agregados leves saturados

Promove “cura interna”

Atuam como reservatório de água que é liberada para a pasta no quando a umidade da pasta decresce



Retração Autógena

modelo simplificado para fins de projeto estrutural NBR 6118

- ✓ *não considera isoladamente e acaba incluindo na retração total ou de secagem*
- ✓ *ordem de grandeza $\rightarrow 0,5 \times 10^{-5} \text{ m/m}$*
- ✓ *coef. dilatação térmica $\rightarrow 1 \times 10^{-5} \text{ m/m} \cdot ^\circ\text{C}$*



Retração por Secagem

Mecanismo:

- Secagem da pasta de cimento endurecida, através principalmente da perda da água capilar ou livre e também, em menor escala da perda da água adsorvida ou de gel (interlamelar C-S-H)

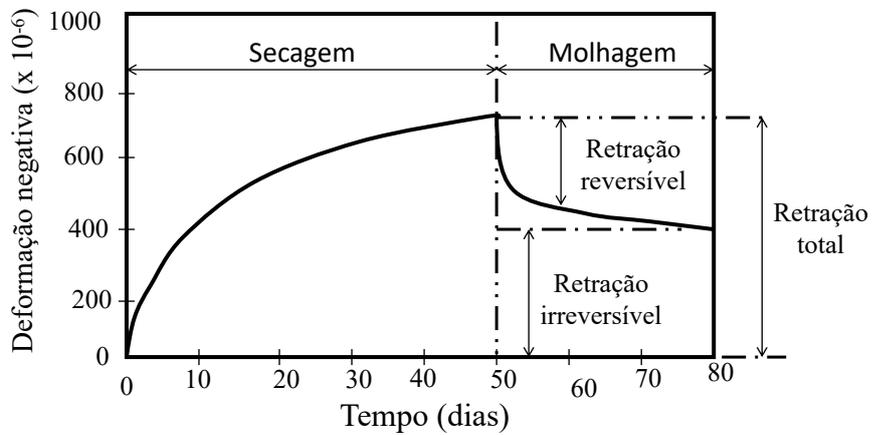
Manifestação típica:

- Fissuras superficiais em forma de mapa (pé de galinha ou pele de crocodilo), fissuras profundas e/ou passantes em vigas e lajes engastadas, fissuras em muros e paredes (*de reservatórios, por exemplo, um problema*)



Retração por Secagem

Parcela reversível e Parcela irreversível



Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

17

17



Retração por Secagem

Influência de restrições impostas:

Presença de agregados reduzem a retração

- > Quantidade de agregado < retração
- > dimensão máxima do agregado < retração
- > módulo de elasticidade do agregado < retração

Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

18

18



Retração por Secagem

modelo simplificado para fins de projeto estrutural NBR 6118

- ✓ unidade usual $10^{-5}m/m$ ou ‰
- ✓ ordem de grandeza $\rightarrow 40 \times 10^{-5} m/m$ ou 0,4‰
- ✓ deformação específica de retração $\rightarrow \epsilon_{cs}(t_e, t_0)$
- ✓ área equivalente \rightarrow área da secção transversal / perímetro em contato com ar



Retração por Secagem

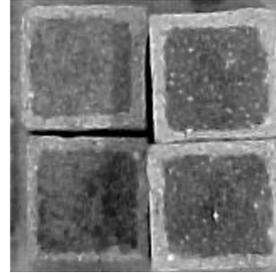
modelo simplificado para fins de projeto estrutural NBR 6118

Umidade ambiente (%)		40%		55%		75%		90%	
Espessura Equivalente $2A_c/u$ (cm)		20	60	20	60	20	60	20	60
$\epsilon_{cs}(t_e, t_0)$	5	-0,44	-0,39	-0,37	-0,33	-0,23	-0,21	-0,10	-0,09
	30	-0,37	-0,36	-0,31	-0,31	-0,20	-0,20	-0,09	-0,09
	60	-0,32	-0,36	-0,27	-0,30	-0,17	-0,19	-0,08	-0,09



Retração por Carbonatação

- O processo de carbonatação também leva a retração do concreto.
- Porém, a magnitude deste processo não é fácil de ser mensurado, nem é significativo.



Retração por Carbonatação

modelo simplificado para fins de projeto estrutural NBR 6118

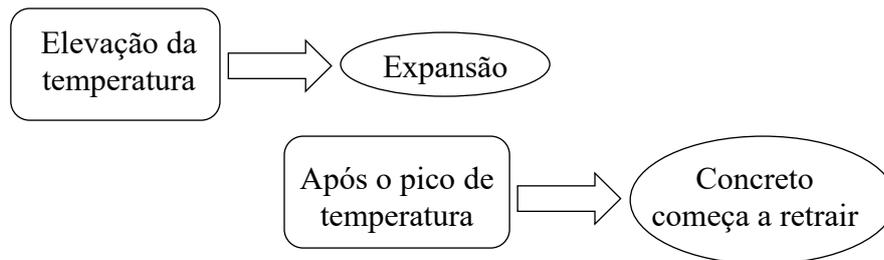
- ✓ *não considera isoladamente e acaba incluindo na retração total ou de secagem*
- ✓ *ordem de grandeza $\rightarrow 0,2 \times 10^{-5} \text{ m/m}$*



Retração de Origem Térmica

Ocorre devido ao resfriamento do concreto nas primeiras idades.

Se inicia após o pico de calor de hidratação.



Retração de Origem Térmica

Muito importante em:

- Peças de grande volume
- Concreto com alto consumo de cimento
- Concreto de alta resistência e alto desempenho



Retração por Origem Térmica

modelo simplificado para fins de projeto estrutural NBR 6118

✓ *considera como uma ação, ou seja, deve ser calculado sempre que couber;*

✓ *existem modelos (bi e tridimensionais) com base no método dos elementos finitos que analisam retração térmica considerando: calor hidratação do cimento; dilatação térmica e difusividade do concreto; resistência à tração do concreto; módulo de elasticidade em tração do concreto; fluência do concreto em tração; temperatura ambiente; geometria; restrições e engastamentos.*



FLUÊNCIA

ou deformação lenta

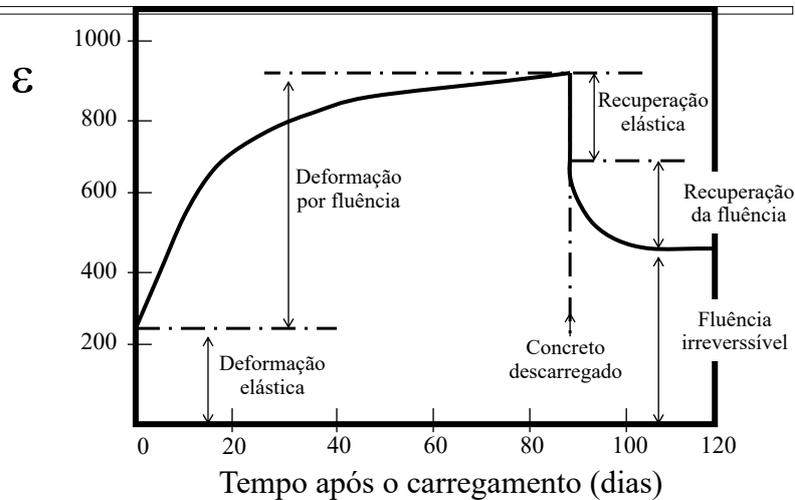


Deformação por Fluência

- Deformação lenta que o concreto sofre devido a um carregamento mantido constante ao longo do tempo (NBR 8224/83), ou seja, efeito da carga de longa duração.
- Tem grande importância na previsão de flechas em peças fletidas (vigas e lajes) e em concreto protendido.



Deformação por Fluência

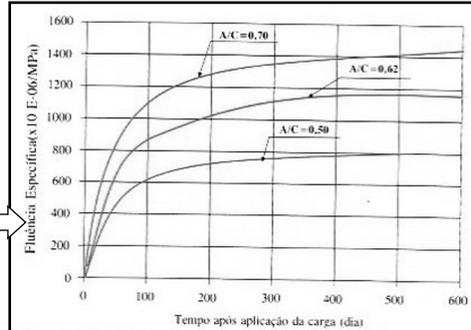




Deformação por Fluência

Fatores intervenientes

- Materiais e dosagem do concreto:
 - Volume de pasta (consumo por m^3);
 - Qualidade da pasta (a/c);
 - Agregado (módulo de deformação).

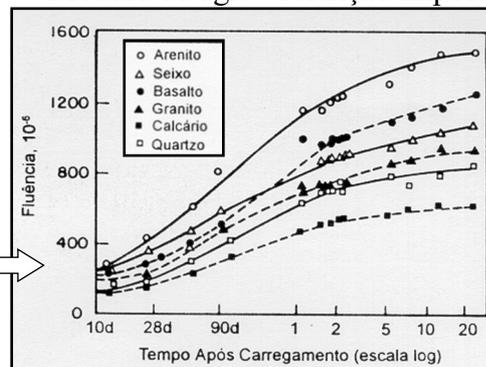


Deformação por Fluência

Fatores intervenientes

- Materiais e dosagem do concreto:
 - Volume de pasta (consumo por m^3);
 - Qualidade da pasta (a/c);
 - Agregado (módulo de deformação).

> Módulo do agr. > restrição imposta

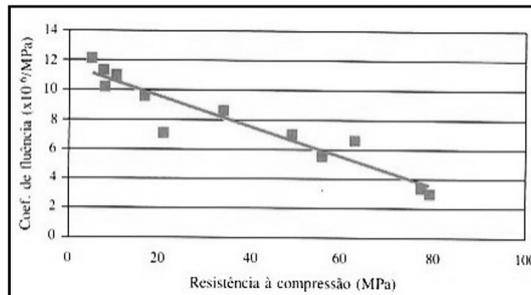




Deformação por Fluência

Fatores intervenientes

- Resistência e tensão aplicada:
 - Diretamente proporcional a tensão aplicada;
 - Inversamente proporcional a resistência do concreto.



Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

31

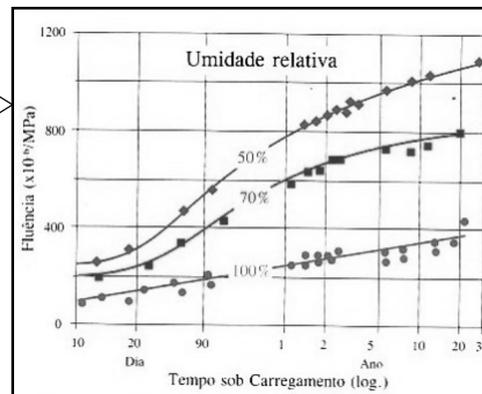
31



Deformação por Fluência

Fatores intervenientes

- Condições ambientais:
 - U.R. do ar;
 - Diretamente proporcional a temperatura ambiente.



Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

32

32



Fluência

modelo simplificado para fins de projeto estrutural NBR 6118

- ✓ unidade usual → relação entre deformação no tempo t infinito e deformação imediata
- ✓ ordem de grandeza → 1 a 5 vezes a inicial ou imediata ou instantânea
- ✓ coeficiente de fluência → $\varphi(t_{\infty}, t_0)$
- ✓ área equivalente → área da secção transversal / perímetro em contato com ar



Fluência

modelo simplificado para fins de projeto estrutural NBR 6118

Umidade ambiente (%)		40%		55%		75%		90%	
Espessura Equivalente $2A_e/u$ (cm)		20	60	20	60	20	60	20	60
$\varphi(t_{\infty}, t_0)$	t_0 (dias)	5	30	5	30	5	30	5	30
	5	4,4	3,9	3,8	3,3	3,0	2,6	2,3	2,1
	30	3,0	2,9	2,6	2,5	2,0	2,0	1,6	1,6
	60	3,0	2,6	2,2	2,2	1,7	1,8	1,4	1,4



Deformações - Simultaneidade

O concreto estrutural deforma pela ação simultânea da secagem e por fluência, conforme as condições ambientes e a idade de carregamento.