

# Normalização do concreto projetado (Métodos de ensaio padrão)

Antonio D. de Figueiredo

# Normalização brasileira do concreto projetado

- Por muitos anos só havia normas estrangeiras no Brasil.
- Contratos entre construtores e proprietários governavam e governam o processo.
- Principais clientes estabeleceram suas próprias normas e procedimentos (Metrô SP, EMURB e SABESP).
- A comissão da ABNT foi formada há mais de 30 anos e hoje está desativada.

# IBRACON

- Foi formado o comitê técnico do IBRACON para a publicação de guides e recomendações
- Encontra-se desativado
- Possui um trabalho finalizado e não publicado
- Caminha-se para implementar comissão no ABECE/IBRACON – CBT especificamente para o uso de fibras.

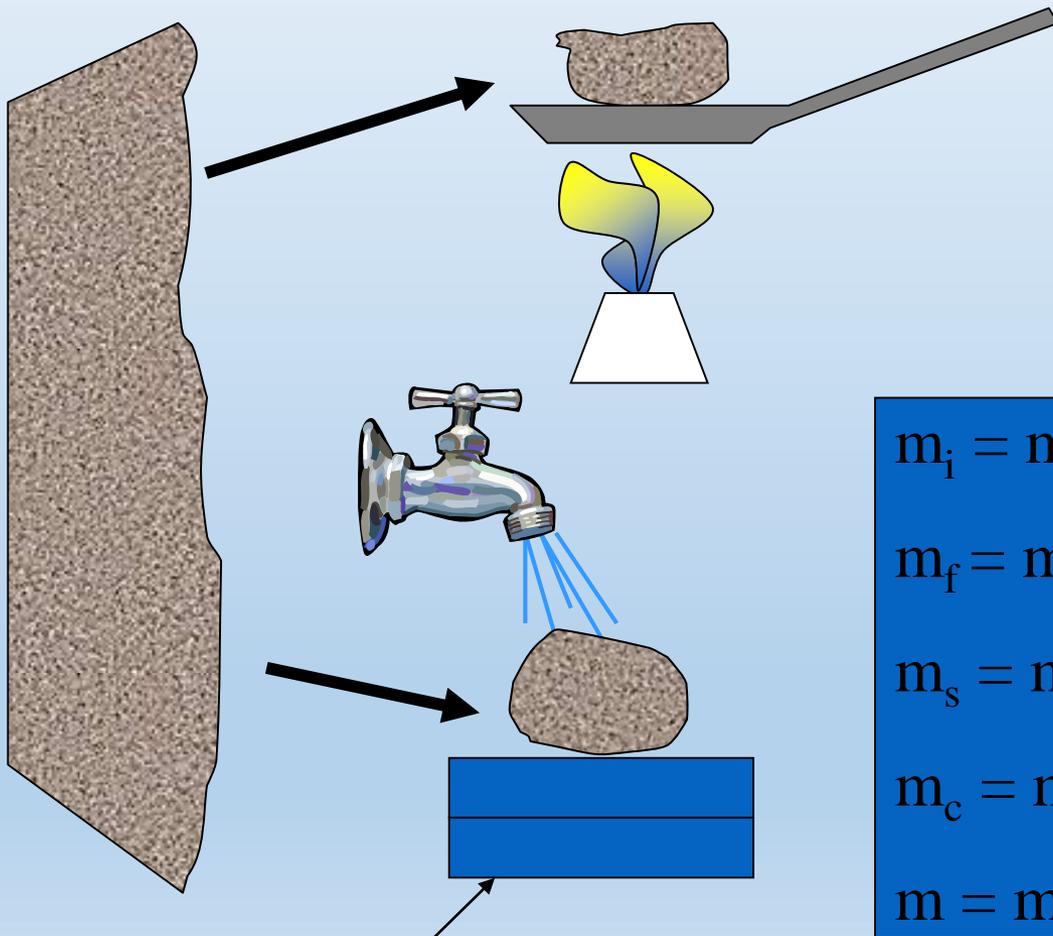
# Métodos de ensaio

- Vários métodos foram publicados pela ABNT
- Alguns são similares aos internacionais (ASTM, ACI, etc.) com pequenas diferenças
- Outros têm um enfoque totalmente novo e diferenciado

# Reconstituição de mistura recém projetada (NBR 13044/93 republicada em 2012)

- Similar método recomendado pelo ACI em 1994.
- Determinação do teor de aditivos em pó (hoje muito difícil), proporção entre agregados (miúdo e graúdo) e entre estes e o cimento.
- Correção do teor de cimento: medindo o passante na peneira 200 (ou 100) do agregado e o retido para o cimento.

# Reconstituição de mistura recém projetada (NBR 13044/2012)



Peneira #200

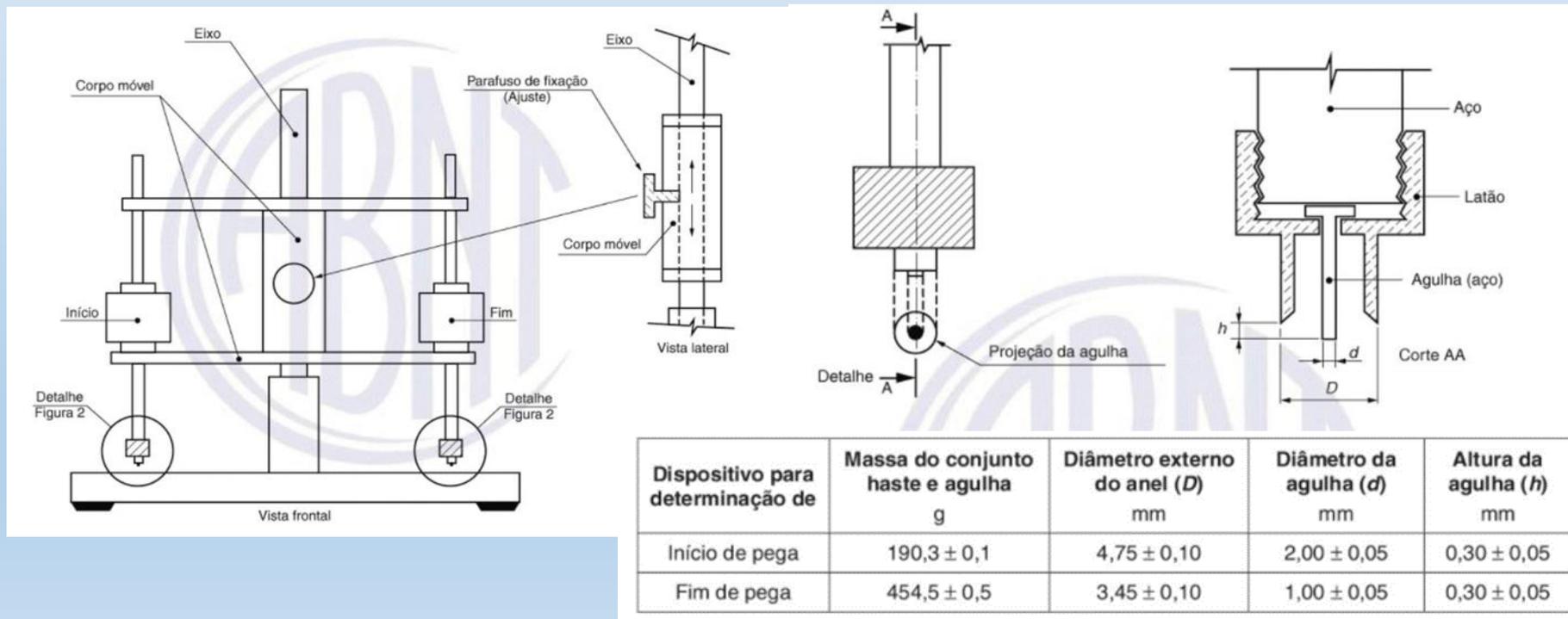
$$H = (m_h - m_s) / m_s$$
$$H = x / (1 + m)$$

$$m_i = \text{massa inicial} = m_h$$
$$m_f = \text{massa final}$$
$$m_s = m_h / (H + 1)$$
$$m_c = m_s - m_f$$
$$m = m_f / m_c$$

Traço  
1:m:x

# Determinação de tempo de pega em pastas de cimento Portland com e sem aditivos aceleradores (NBR 13069/94 republicada em 2012)

- Muito similar ao método ASTM C1102/88 com diferença apenas na massa da agulha para determinação do início de pega (190.35g).
- Não é considerado representativo do desempenho do concreto projetado em campo: apenas para controle de recebimento.



# Procedimentos

- Moldagem de placas (NBR 13070/94)
  - Fixa as dimensões das placas e o procedimento de moldagem
  - Determinação de resistência potencial
  - Procedimento básico.

# Procedimiento básico



# Reflexão

- Concreto projetado – Determinação do índice de reflexão por medida direta – Método de ensaio (NBR 13317/95 reeditada em 2012).
  - Feita no túnel ou no talude diretamente.
- Concreto projetado – Determinação do índice de reflexão em placas – Método de ensaio (NBR 13354/95 reeditada em 2012).
- Determinação do índice de reflexão por reconstituição de traço (nunca normalizada).

# Determinação do índice de reflexão em placas



# Medida da reflexão em placas



# Determinação do índice de reflexão por reconstituição de traço

$$R (\%) = \frac{(M_{ms} - M_{cp})}{(M_r - M_{cp})} + \frac{(1 + M_r)}{(1 + M_{ms})} \times 100$$

$M_{ms} = m_{\text{mistura seca}}$

$M_{cp} = m_{\text{concreto}}$

projetado

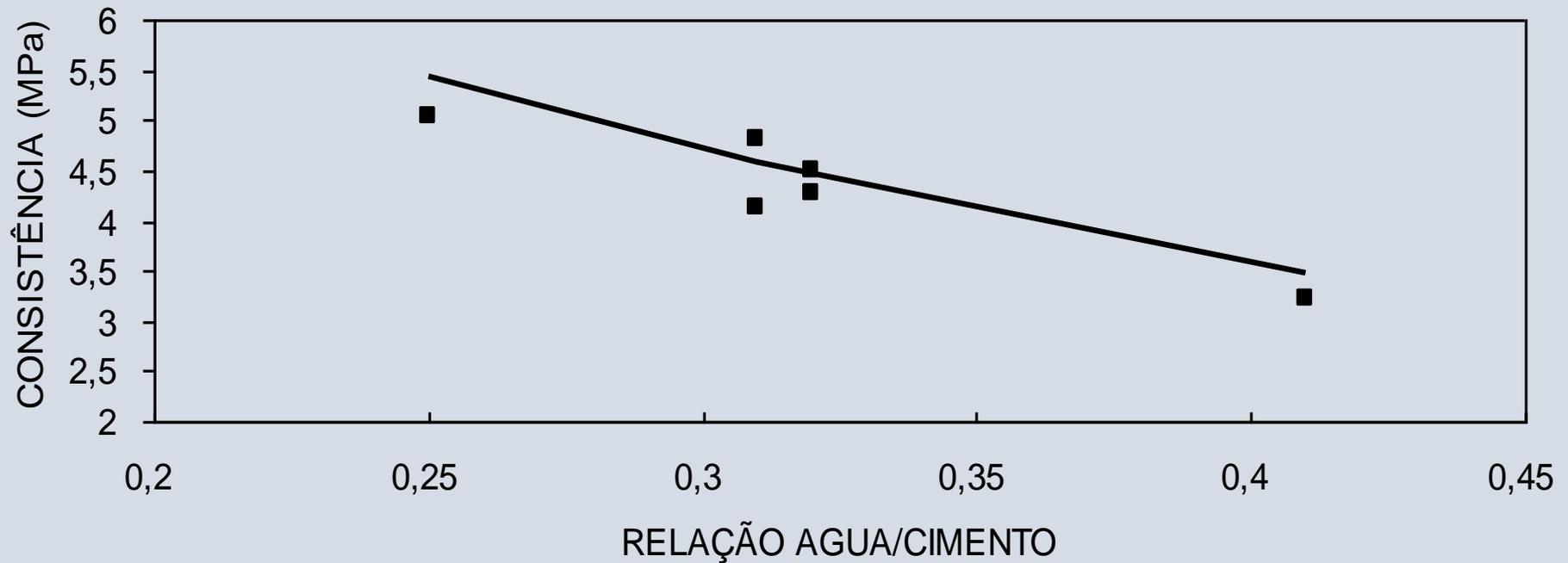
$M_r = m_{\text{reflexão}}$

# Determinação da consistência pela agulha de Proctor (NBR 14278/99 reeditada em 2012)

- Objetivo: medida da consistência pela resistência à penetração da agulha e trabalhabilidade.
- No caso de aditivo aceleradores à base de aluminatos: o ensaio mede apenas o tempo de pega (flash set).
- Similar à ASTM C1117 com uma importante diferença: tempo de penetração (25mm) é 1 segundo.



# Controle da relação a/c por determinação da consistência



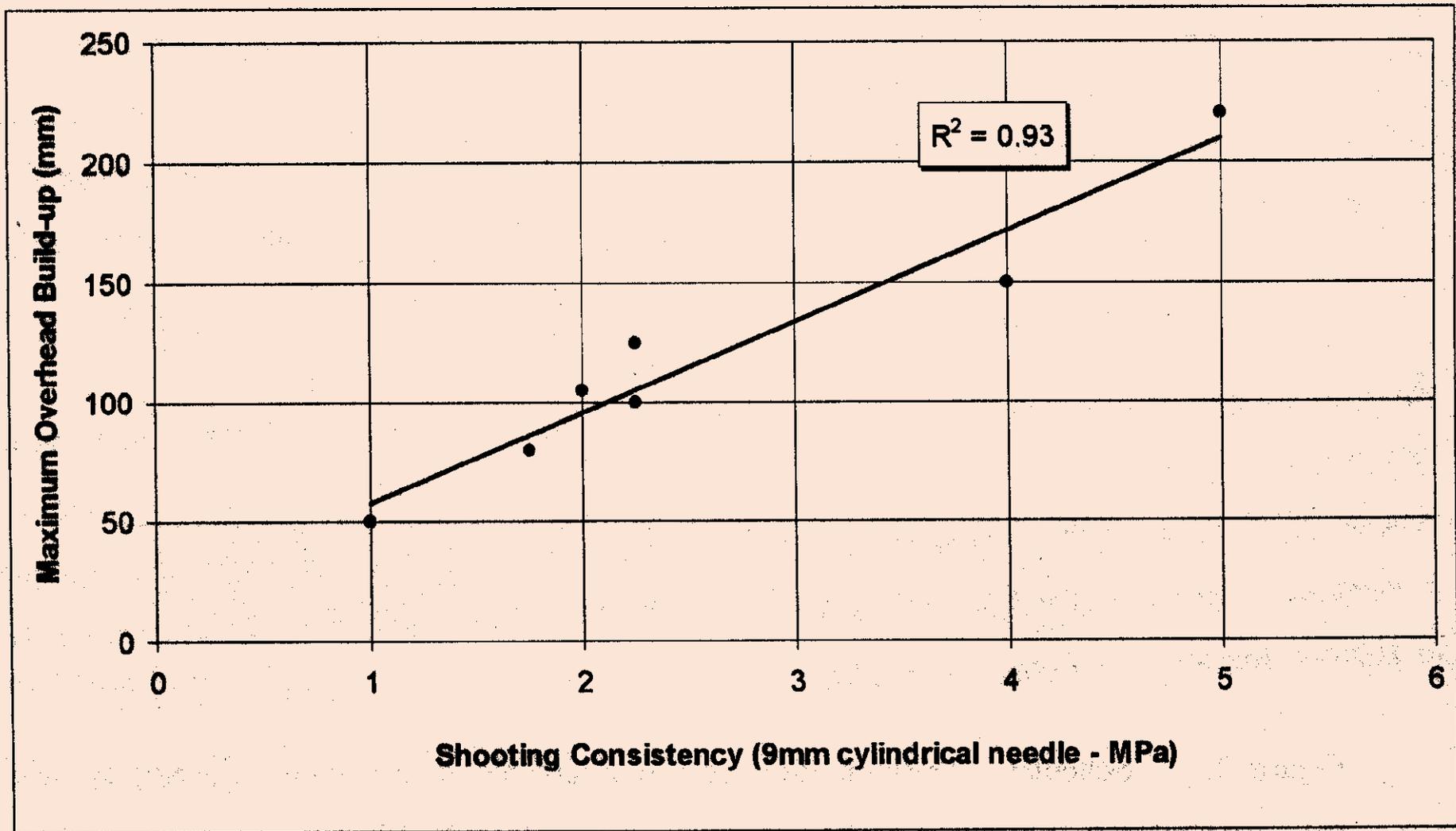
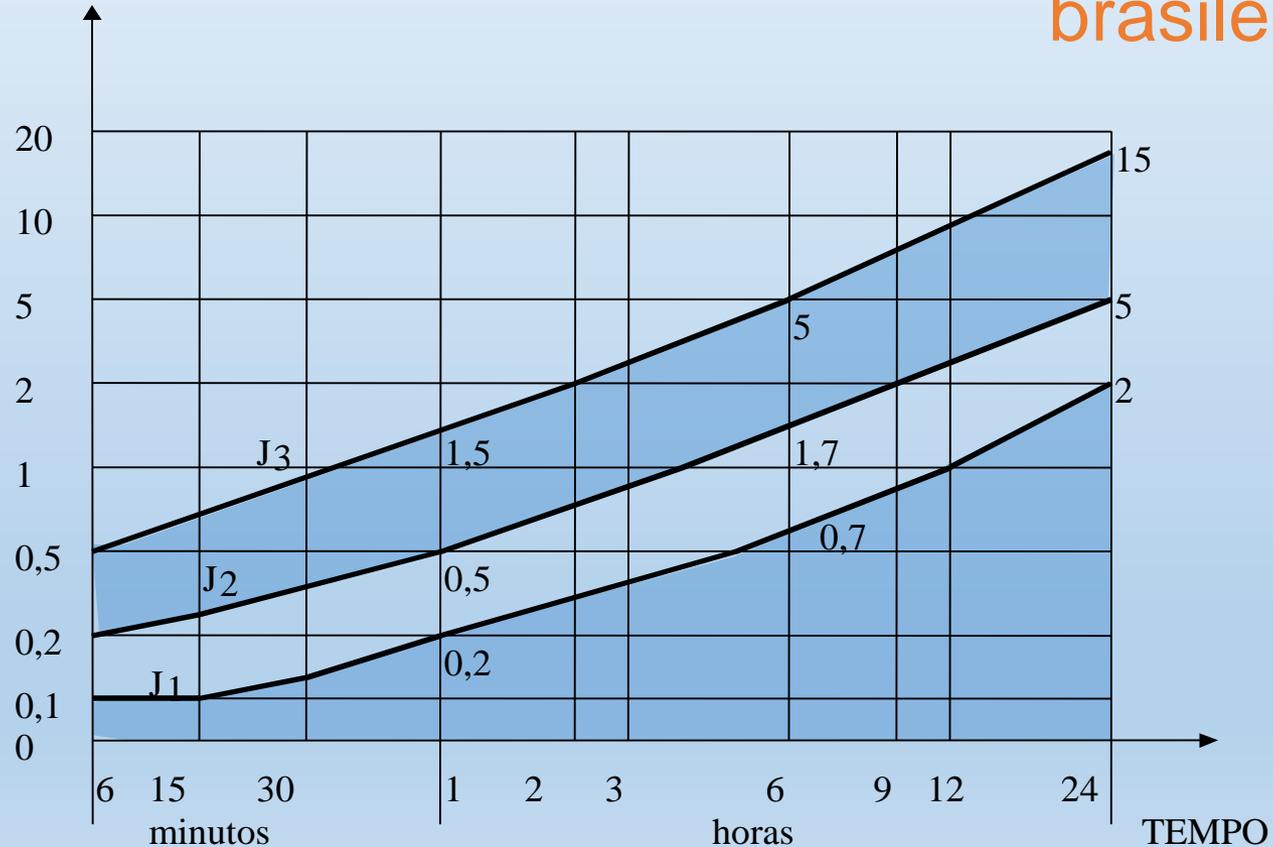


Figure 3.5 - Correlation between the maximum achievable overhead build-up and the shooting consistency measured using the penetrometer.

# Requisitos de resistência à baixa idade Austrian Concrete Society (1990)

Não há normas  
brasileiras

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)



# Resistência do concreto projetado

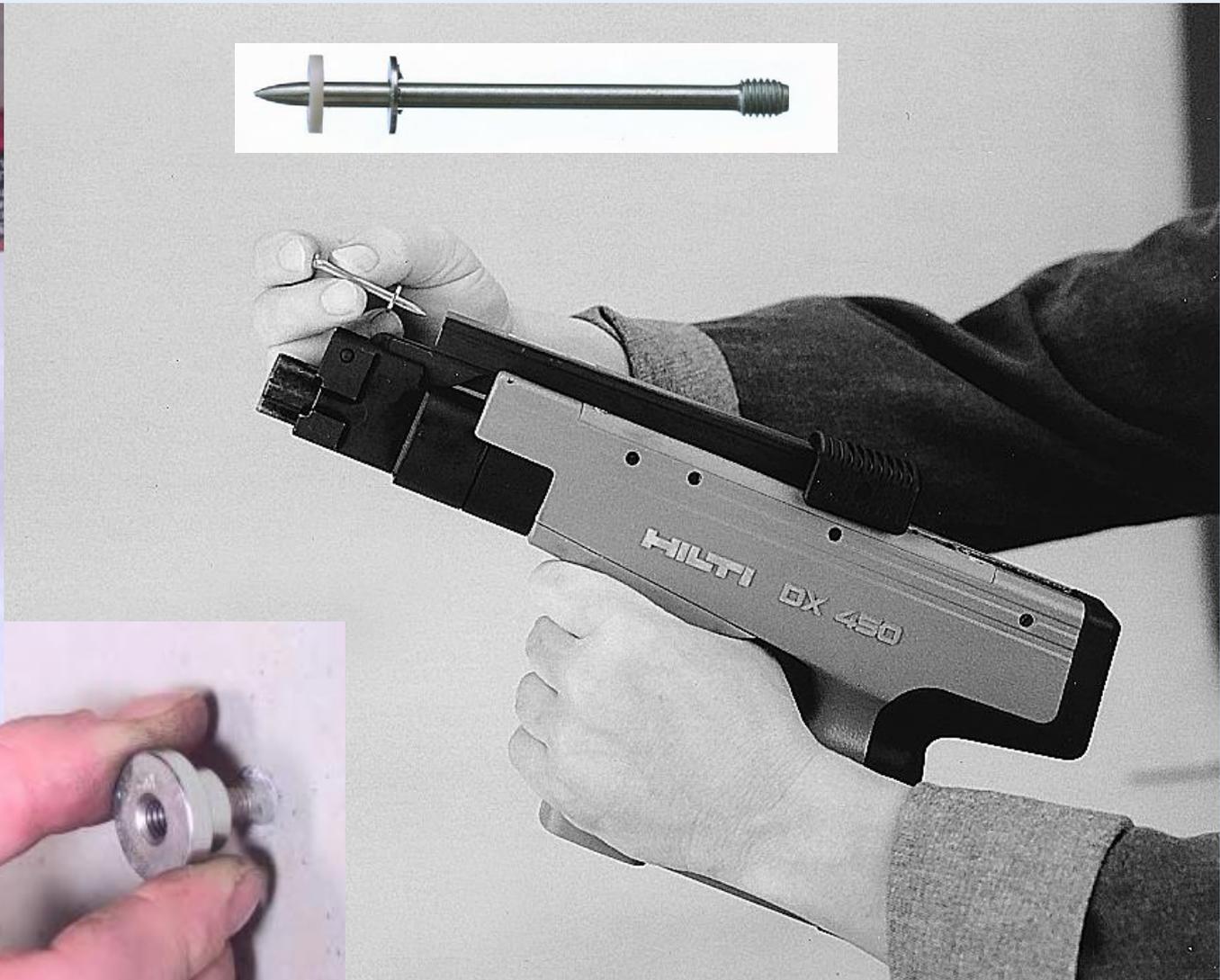
- Penetrômetros de energia constante e profundidade constante: determinação da resistência inicial.
- Para análise futura a ABNT tem: Determinação da resistência à compressão por testemunhos cilíndricos extraídos para maiores idades.



# Penetrômetro de profundidade constante



# Determinação da evolução de resistência inicial



# Extração de testemunhos para maiores idades

- Usam a norma brasileira NBR 7680-1 (2015)
  - É inaplicável



**Charles S. Hanskat. Shotcrete testint – Who, why, when, and how. Shotcrete. Summer, 2011. p. 9-12**

# Qualificação de mangoteiro – via seca (NBR 13597/96 reeditada em 2012)

- Enfoque diferente do ACI e outras.
- Filosofia: avaliação da capacidade do mangoteiro de manter homogeneidade
- Procedimento simples:
  - Moldagem de duas placas (não em seqüência)
  - Mangoteiro deve proceder a regulagem do equipamento
  - Variações limitadas (especialmente consistência)
- Procedimento fundamental para garantia da qualidade.

Mangoteiro reprovado!



# Conclusão

- Em muitas situações ocorrem dúvidas, 'claims' e discussão sobre pontos básicos.
- A normalização é a forma mais democrática de divulgação tecnológica.
- Garantia de segurança e evolução.
- Proteção dos interesses nacionais.

**Concreto Projetado  
Especificação  
(sessão desabafo)**

**NBR 14026**

## Definição de responsabilidades:

- **De projeto**: as condições específicas do cálculo e dimensionamento estrutural e os requisitos aos quais o concreto projetado deverá atender, levando em consideração as solicitações e as características específicas das estruturas ou elementos a serem executados, do meio no qual estarão localizados e de outros fatores intervenientes. Estas características abrangem as propriedades mecânicas do concreto, a vida útil e a durabilidade da estrutura, registrando em todos os desenhos e memórias as suas especificidades.

# Definição de responsabilidades:

- **De execução:** a seleção dos materiais componentes, o seu proporcionamento, o cumprimento dos tempos estabelecidos para transporte e lançamento e dos procedimentos para cura e proteção do concreto, a obtenção do acabamento especificado, refazimento de superfícies ou porções que se apresentam ocas, segregadas, deslocadas ou não conformes com o estabelecido, a manutenção das espessuras, dimensões e tolerâncias especificadas e a qualidade do produto final em termos de resistência e demais características exigidas pelo projeto, bem como todo o processo construtivo.

# Definição de responsabilidades:

- **De controle da qualidade:** toda a operação de registro e controle de preparo, de recebimento e de aplicação. Todas as precauções devem ser tomadas para que o concreto atenda as especificações de projeto, zelando para que todos os registros, certificados, laudos relativos aos ensaios e procedimentos de controle, sejam assistidos por profissional especializado em tecnologia de concreto e estejam disponíveis durante todo o tempo da construção e para que estes sejam arquivados e preservados de acordo com a legislação vigente.

# Materiais

- Aglomerantes: qualquer um.
- Qualquer cimento pode ser especificado em projeto.
  - f(obra).
- Qualquer adição pode ser empregada:
  - Pozolanas (sílica ativa, metacaulim);
  - Escória;
  - Etc.

# Agregados

- Estocagem:
  - Sem mistura de granulometrias distintas
  - Com drenagem
  - Sem contaminações

# Agregados

Tolerâncias quanto à variação granulométrica  
(% em massa do material retido por peneira)

<i>Peneiras abertura (mm)</i>	<i>Variação tolerada</i>
0,15 a 0,6	$\pm 3\%$
>1,2	$\pm 5\%$
Maior peneira da série (Dmax)	$\pm 3\%$

# Aditivos

- É facultado o emprego de quaisquer tipos de aditivos desde que atendam aos requisitos da norma NBR 11768 da ABNT.
- Teor total de cloretos:
  - 0,03% (protendido)
  - 0,05% (armado)

# REQUISITOS

## • **Projeto:**

- Resistência à compressão axial (NBR 5739)
- Tração por compressão diametral (NBR 7222)
- Módulo de deformação estática (NBR 8522)
- MAV (NBR 9778)
- Absorção por capilaridade (NBR 9779)
- Penetração de água sob pressão (NBR 10787)
- Permeabilidade à água (NBR 10786)
- Resistividade elétrica volumétrica (NBR 9204)

# REQUISITOS

## • Execução

- Consumo de cimento
- Relação água/cimento
- Teor de aditivos
- Curvas granulométricas dos agregados

# Estudos prévios

- “Devem ser efetuados estudos prévios ao emprego do concreto projetado visando determinar sua composição (estudos de dosagem), bem como verificar sua adequação às condições reais de aplicação”.

## Estudos prévios

<i>Ensaio</i>	<i>Tolerâncias relativas aos estudos de dosagem (%)</i>
Reconst. (NBR 13044)	
Teor de água	$\pm 10\%$
Teor de cimento	$\pm 10\%$
Teor de agregados	$\pm 15\%$
Massa espec. (7 dias)	$\geq 97\%$
Resistência (7 dias)*	$\geq 97\%$ da média

\*Não devem ser considerados valores individuais que difiram da média em  $\pm 15\%$ .

# Análise “reológica” do concreto projetado via seca

Antonio Figueiredo

# Introdução

- Historicamente abordou-se o concreto projetado via seca com o enfoque similar ao do concreto convencional.
- A avaliação experimental mostrou que o comportamento é bem diferenciado e específico.
- Isso só foi possível com a avaliação da consistência de projeção pela agulha de Proctor
- Obrigado Josué.

# Estudo experimental

Primeira série de placas:

Traço 1:5

Manteve-se a pressão de água e ar constante (0,7 MPa e 0,5 MPa, respectivamente)

Test panel	Dry-mix mixture proportions (1:a:b*)	Mortar content (%)	Moisture H* (%)	Stiffness (MPa)	Shotcrete mixture proportions (1:m:x*)
A70	1:3.2:1.8	70	9.42	2.40	1:3.44:0.42
A60	1:2.6:2.4	60	8.47	4.00	1:3.26:0.36
A50	1:2.0:3.0	50	7.05	5.01	1:2.55:0.25
A40	1:1.4:3.6	40	4.47	6.89	1:2.49:0.16

# Estudo experimental

Segunda série de placas:

Traço 1:5

Manteve-se a pressão de ar constante (0,5 MPa)

Variou-se a pressão de água

Test panel	Dry-mix mixture proportions 1:a:b*	Mortar content (%)	Moisture H* (%)	Stiffness (MPa)	Water pressure (MPa)	Shotcrete mixture proportions 1:m:x*
B70	1:3.2:1.8	70	6.35	4.67	0.7	1:3.25:0.27
B60	1:2.6:2.4	60	7.76	4.67	0.8	1:3.17:0.32
B50	1:2.0:3.0	50	8.83	5.12	0.9	1:2.79:0.33
B40	1:1.4:3.6	40	9.72	4.00	1.0	1:2.62:0.35

# Estudo experimental

Terceira série de placas:

Traço 1:5

Manteve-se a pressão de ar constante (0,5 MPa)

Tentou-se manter a quantidade de água constante

Ideia inicial que não funcionou

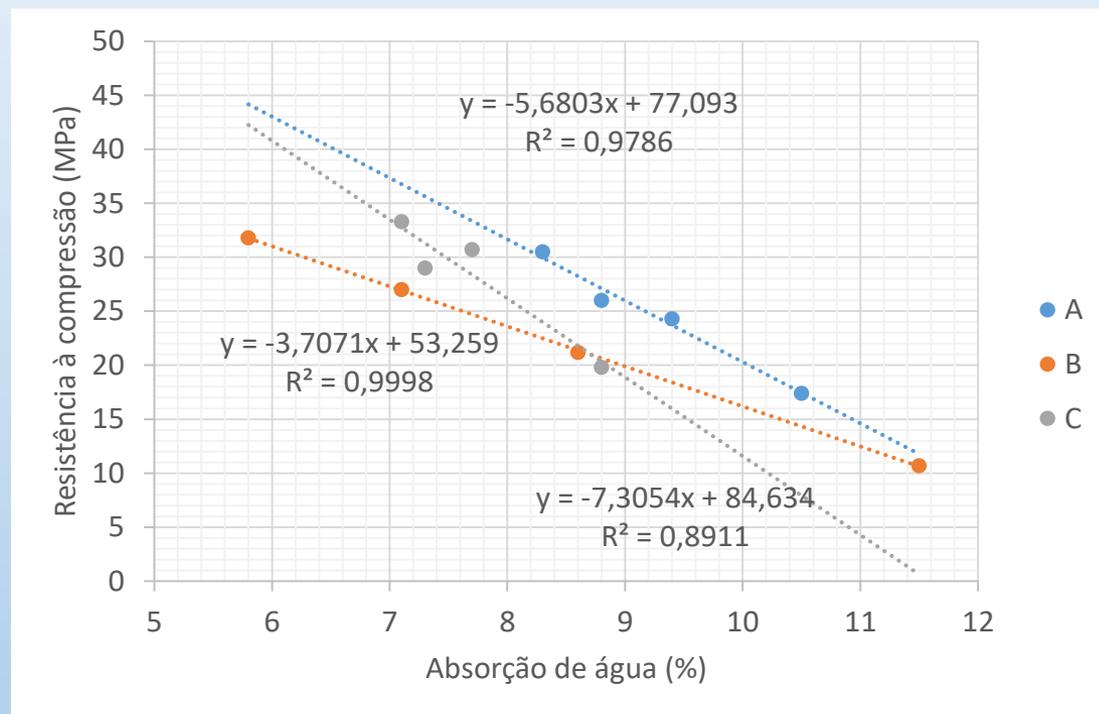
Test panel	Dry-mix mixture proportions 1:a:b*	Mortar content (%)	Moisture H* (%)	Stiffness (MPa)	Water pressure (MPa)	Shotcrete mixture proportions 1:m:x*
C70	1:3.2:1.8	70	8.30	4.84	0.70	1:3.30:0.36
C60	1:2.6:2.4	60	7.35	4.49	0.75	1:3.20:0.31
C50	1:2.0:3.0	50	7.35	5.01	0.80	1:3.00:0.29
C40	1:1.4:3.6	40	6.50	6.03	0.90	1:3.00:0.26

# Resultados

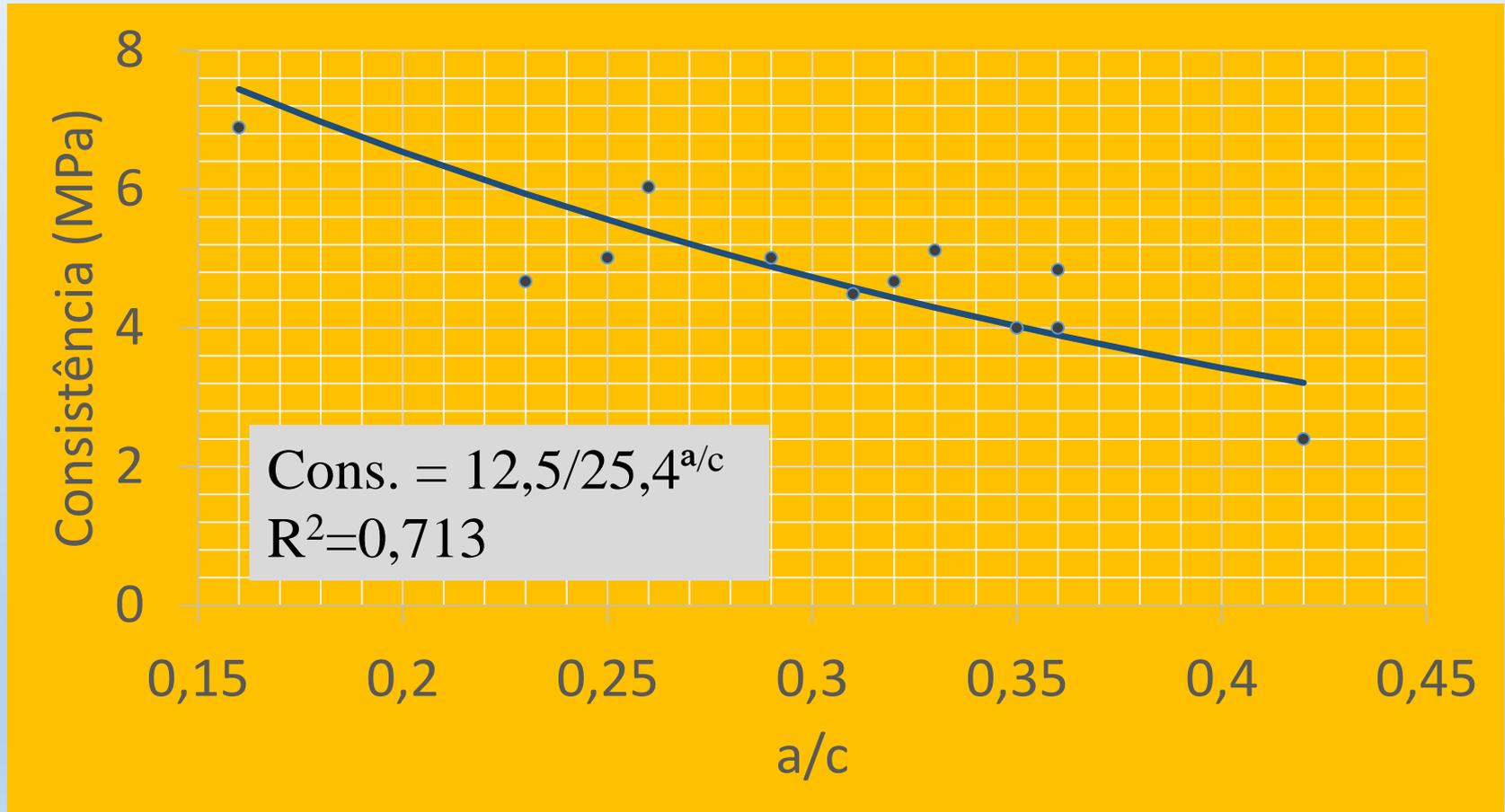
Test panel	Mixture proportions of the shotcrete (1:a:b:x)	Mortar content in the shotcrete (%)	Water absorption (%)	Cement consumption (kg/m <sup>3</sup> )	Water consumption (kg/m <sup>3</sup> )	Volume of paste per cubic meter (l/m <sup>3</sup> )
A70	1:2,44:1,00:0,42	83	8,3	409	172	304
A60	1:2,16:1,10:0,36	81	8,8	431	155	294
A50	1:1,72:0,83:0,25	82	9,4	516	129	295
A40	1:2,02:0,47:0,16	85	10,5	521	83	251
B70	1:2,47:0,68:0,23	87	11,5	443	102	245
B60	1:2,11:1,06:0,32	81	8,6	452	145	291
B50	1:1,65:1,14:0,33	78	7,1	502	166	328
B40	1:1,30:1,32:0,35	73	5,8	531	186	357
C70	1:2,24:1,06:0,36	75	7,1	481	173	328
C60	1:2,23:0,97:0,31	77	7,7	494	153	313
C50	1:2,25:0,75:0,29	81	7,3	522	151	320
C40	1:2,38:0,62:0,26	85	8,8	514	134	299

# Resultados

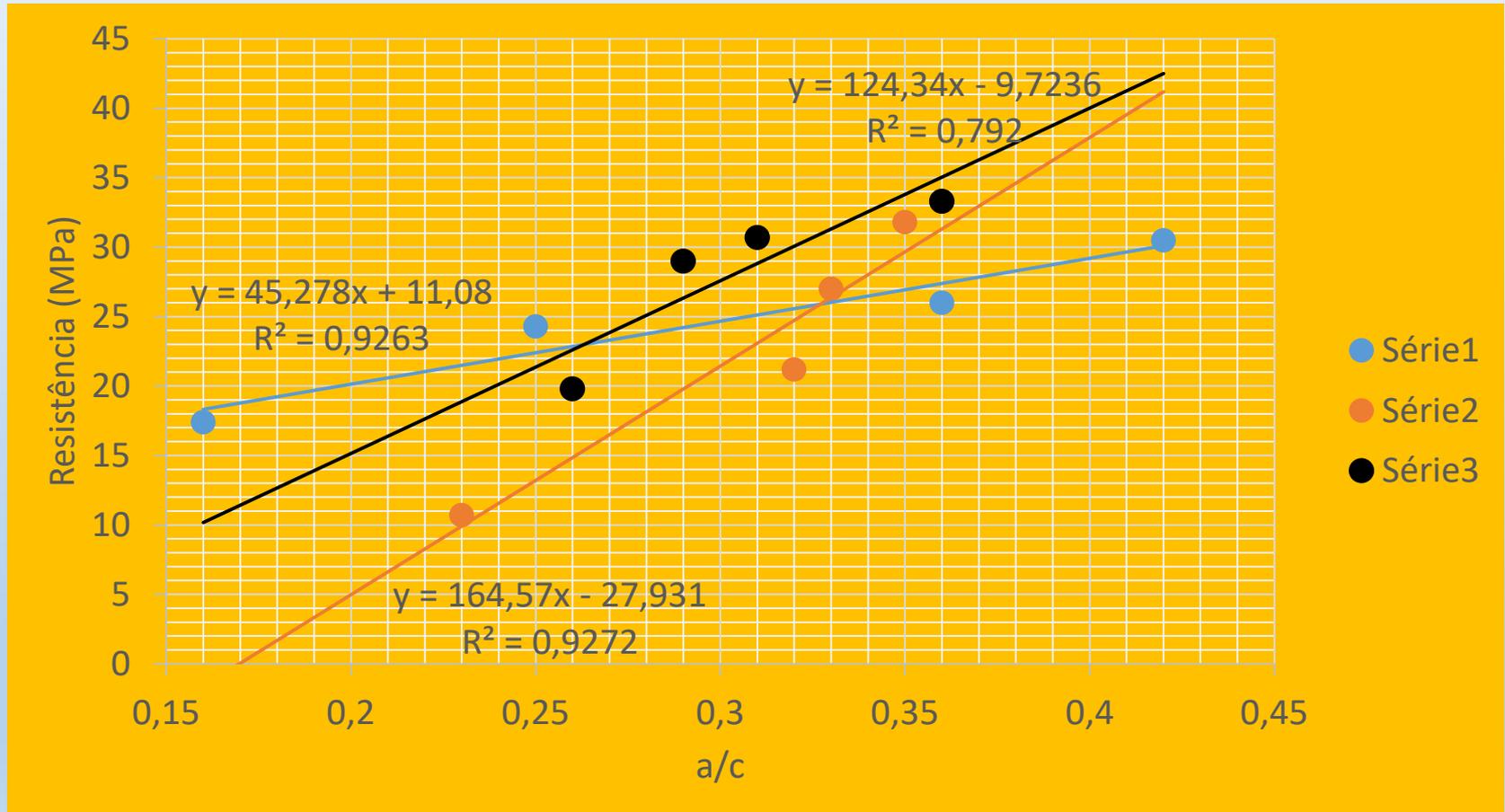
Test panel	Compressive strength (MPa) at 28 days	Water absorption (%)
A70	30.5±2.3	8.3±0.4
A60	26.0±2.3	8.8±0.9
A50	24.3±3.2	9.4±0.1
A40	17.4±1.8	10.5±0.3
B70	10.7±2.0	11.5±0.4
B60	21.2±6.1	8.6±1.1
B50	27.0±6.6	7.1±1.0
B40	31.8±6.4	5.8±0.4
C70	33.3±2.7	7.1±0.6
C60	30.7±3.3	7.7±1.1
C50	29.0±6.4	7.3±1.2
C40	19.8±7.1	8.8±1.6



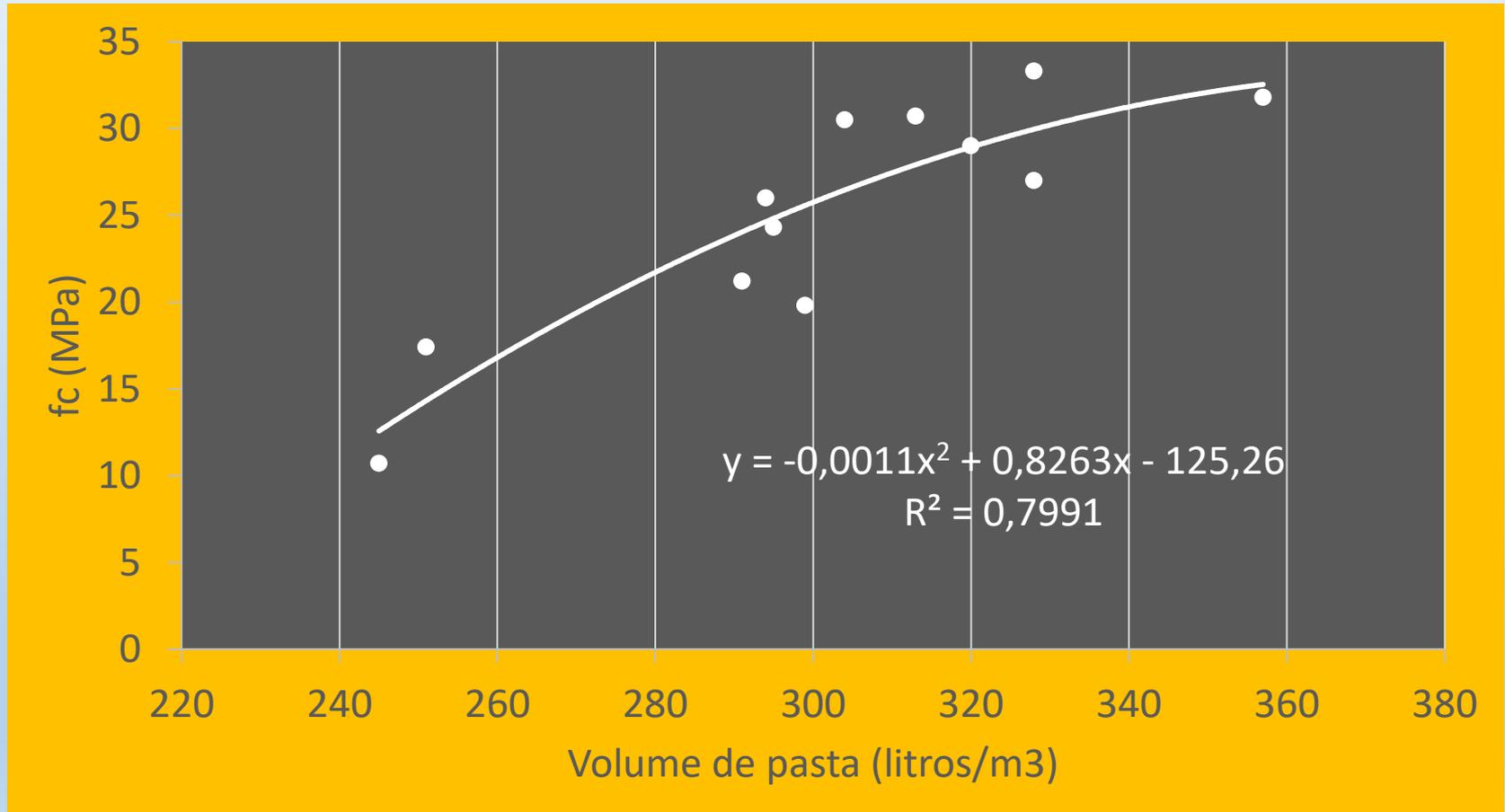
O que governa a consistência?



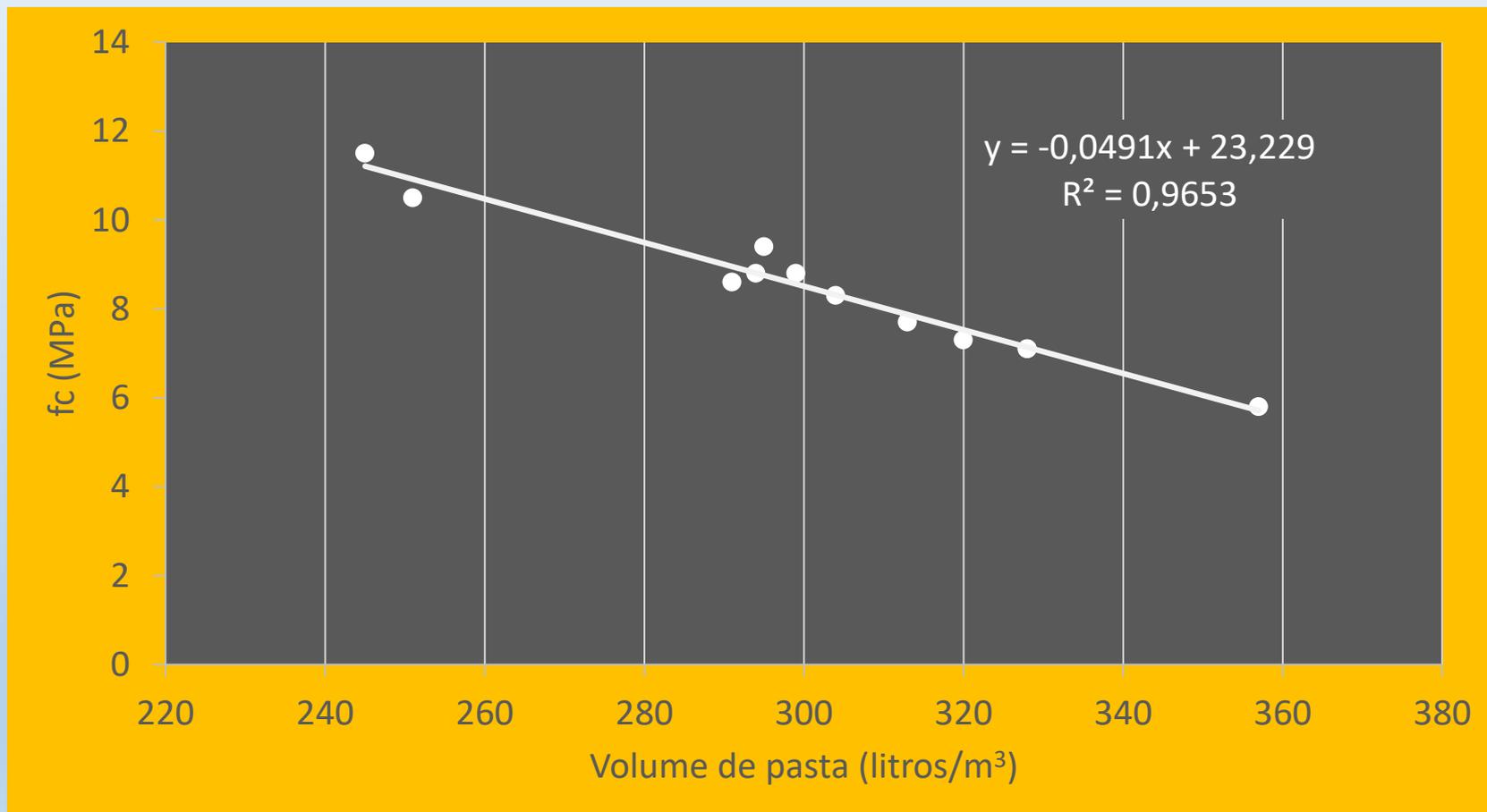
# O que governa a resistência?



# O que governa a resistência?



# O que governa a porosidade?

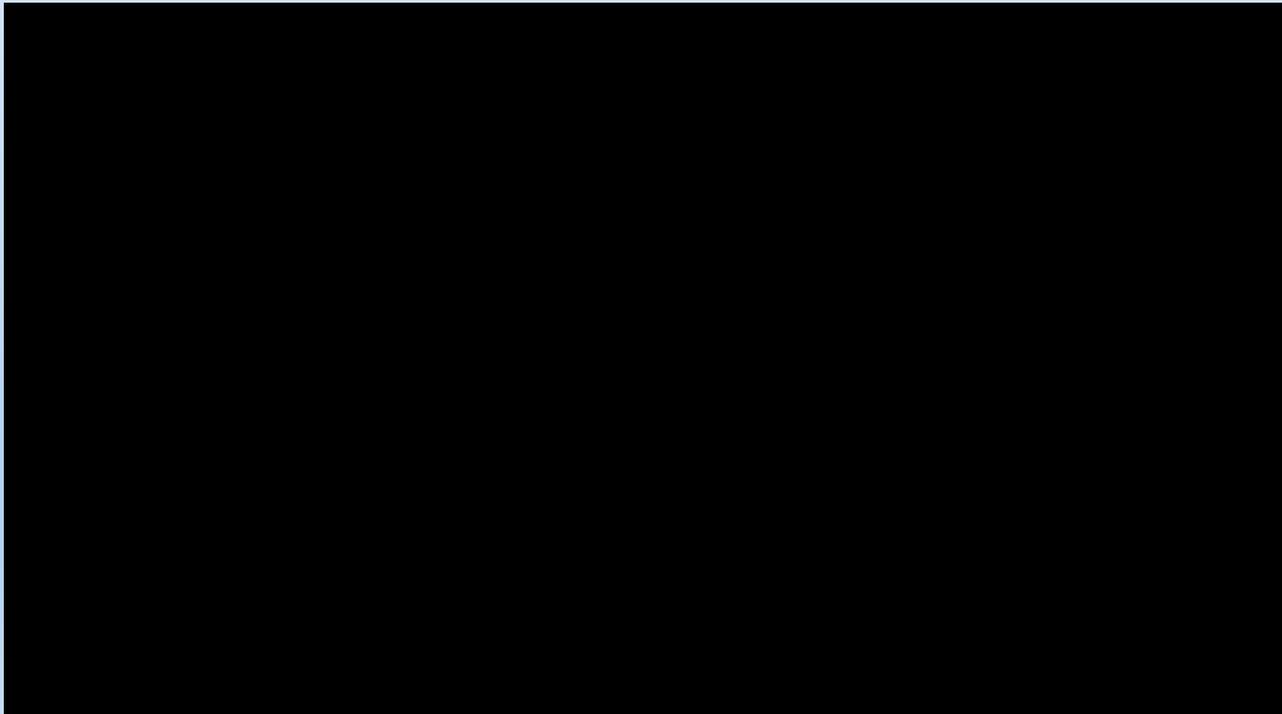


# Conclusões

- Não adianta tentar diminuir o volume de argamassa: o concreto projetado vai possuir cerca de 80% por efeito de reflexão.
- A relação água/cimento governa a consistência do concreto projetado via seca.
- A maior facilidade de compactação (menor consistência) pode propiciar melhor resistência em conjunto com um volume de pasta adequado para preenchimento dos vazios dos agregados.
- Se aumentar demais a/c a resistência começa a cair junto com a consistência: umidade ótima de compactação.

# Reologia do concreto projetado via úmida

- Há preocupação com a “projetabilidade”.
- Prática comum:
  - Bombeabilidade avaliada pelo ensaio de consistência.
  - “buildability” governada pelos aditivos aceleradores.



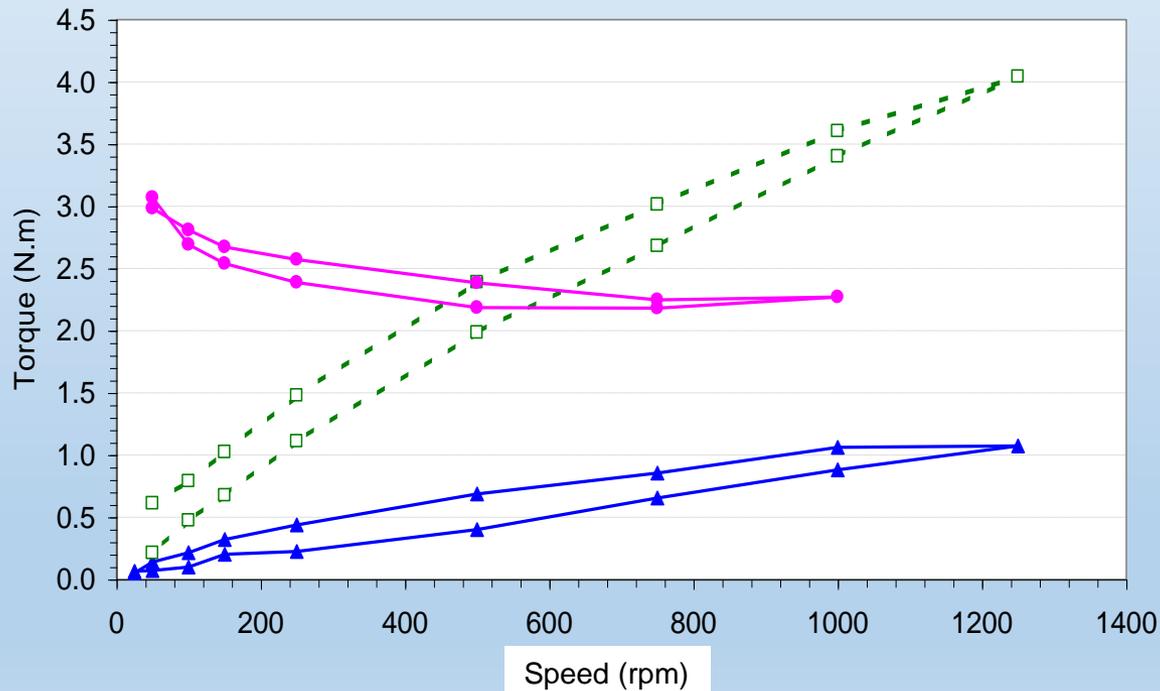
# Condições reológicas



Projetado  
via úmida

Bombeável

[http://www.felcon.com.au/files/media/thumbcache/004/aea/0f9/iStock\\_000008409136Medium.jpg](http://www.felcon.com.au/files/media/thumbcache/004/aea/0f9/iStock_000008409136Medium.jpg)



Auto-adensável



<http://vhprasad.files.wordpress.com/2010/03/scc.jpg>

# Conclusões sobre reologia via úmida

- Há ainda bastante coisa a ser desenvolvida como paralelo ao estudo reológico do concreto convencional.
- Muitas decisões são tomadas nos estudos prévios realizando as aplicações protótipo.
- Via seca e via úmida são dois problemas completamente distintos:
  - Coesão para a projeção tem fenomenologia distinta para os dois sistemas.