

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 cerca de 40 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
- Caminhou-se para implementar comissão no ABECE/IBRACON – CBT especificamente para o uso de fibras → não funcionou (publicamos apenas via CBT).

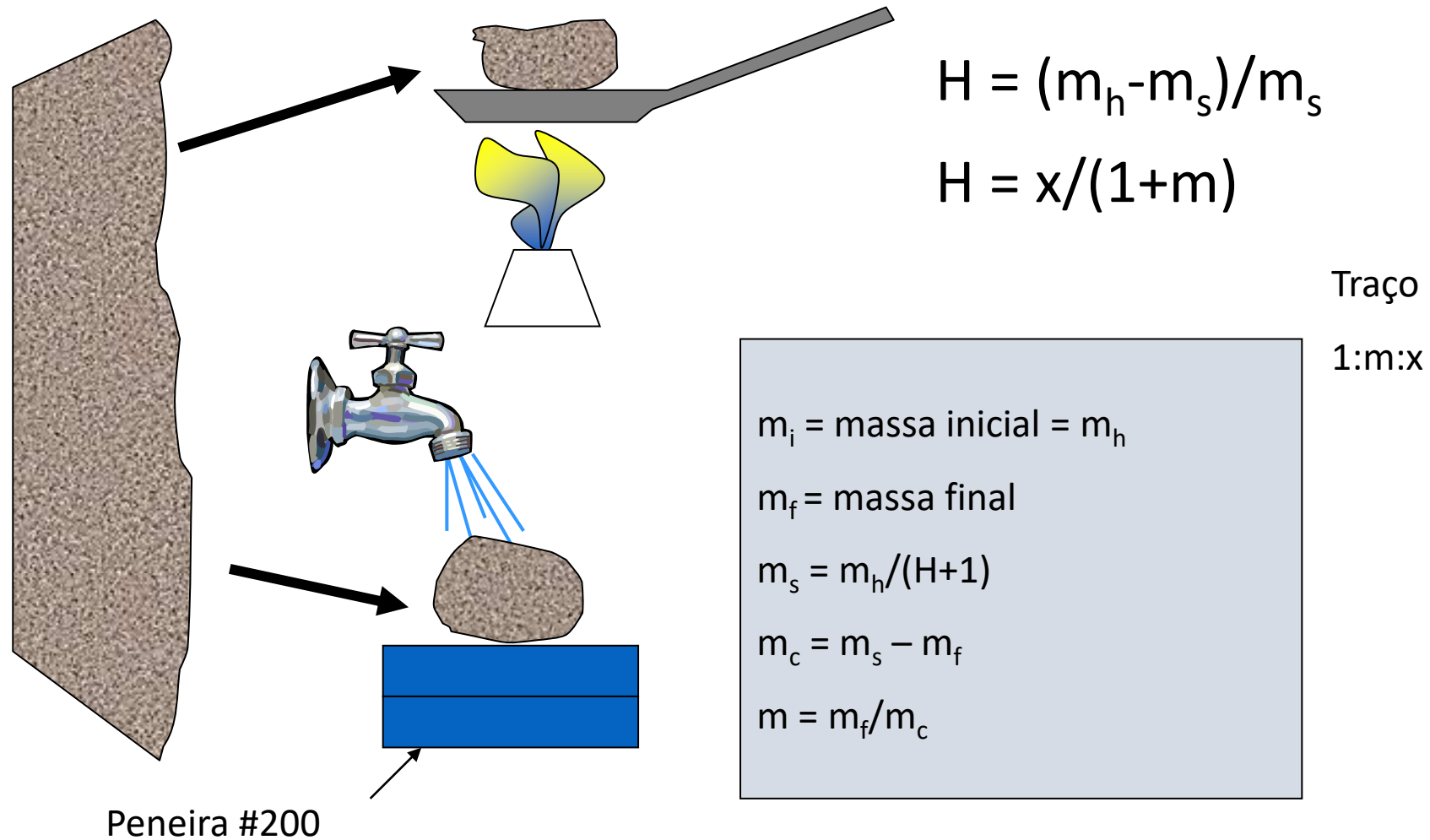
Métodos de ensaio

- 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)

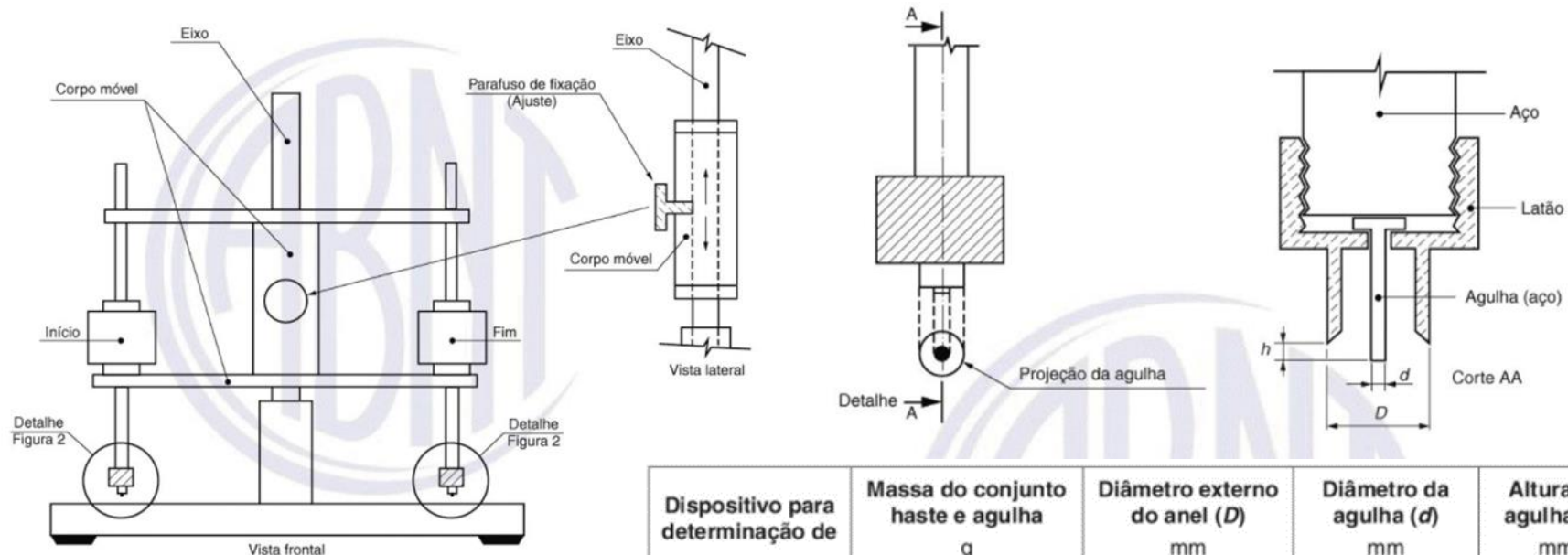
- Similar método recomendado pelo ACI em 1994.
- Determinação do teor de aditivos em pó (hoje muito difícil), proporção entre agregados (miúdo e graúdo) e entre estes e o cimento.
- Correção do teor de cimento: medindo o passante na peneira 200 (ou 100) do agregado e o retido para o cimento.

Reconstituição de mistura recém projetada (NBR 13044/2012)



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 propriedades e características determinadas por corpos de prova preparados a partir de testemunhos extraídos, mas não da estrutura
 - Procedimento básico.

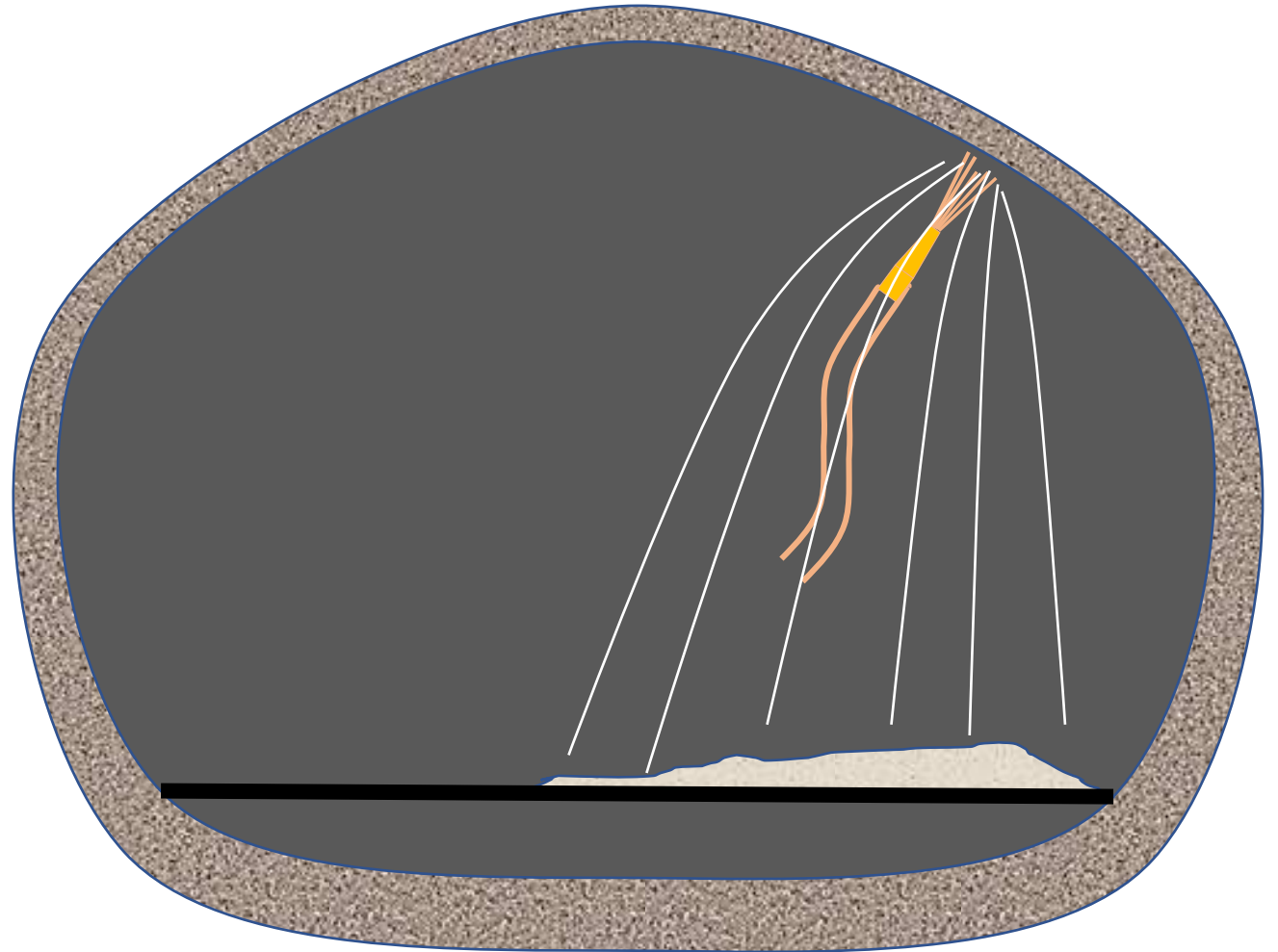


Reflexão

- 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).

Concreto projetado – Determinação do índice de reflexão por medida direta – (NBR 13317:2012).

- Pressupõe o controle do volume projetado
 - Exemplo: volume de um caminhão betoneira ou betonada
- E coleta no local de todo o material refletido



Determinação do índice de reflexão em placas



Medida da reflexão em placas



Determinação do índice de reflexão por reconstituição de traço

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

$M_{ms} = m_{\text{mistura seca}}$ $M_{cp} = m_{\text{concreto projetado}}$

$M_r = m_{\text{reflexão}}$

1: M_{ms} = traço da mistura seca ou do concreto que alimentou o equipamento via úmida

1: M_{cp} = traço do concreto projetado obtido de amostra coletada da parede do túnel ou da placa

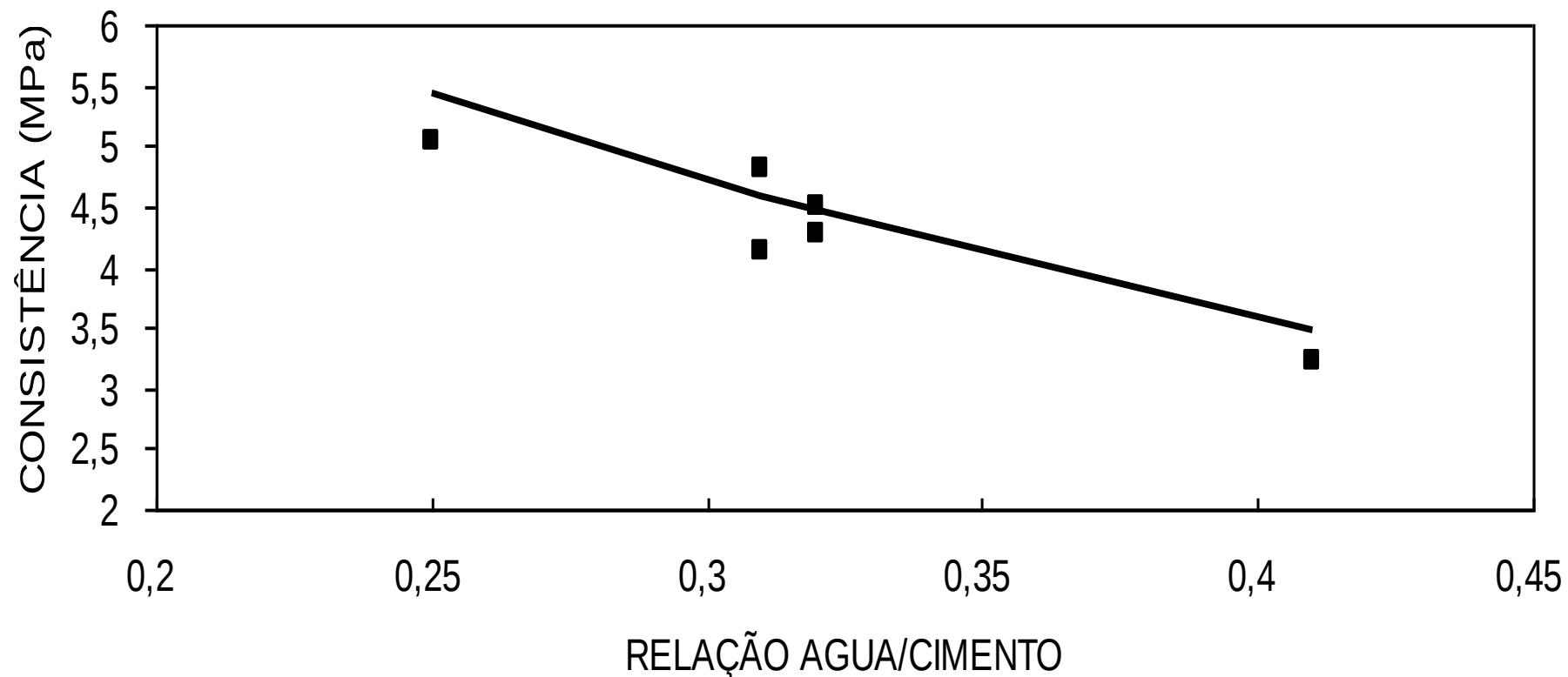
1: M_r = traço da reflexão obtido de amostra do material refletido

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



Controle da relação a/c por determinação da consistência

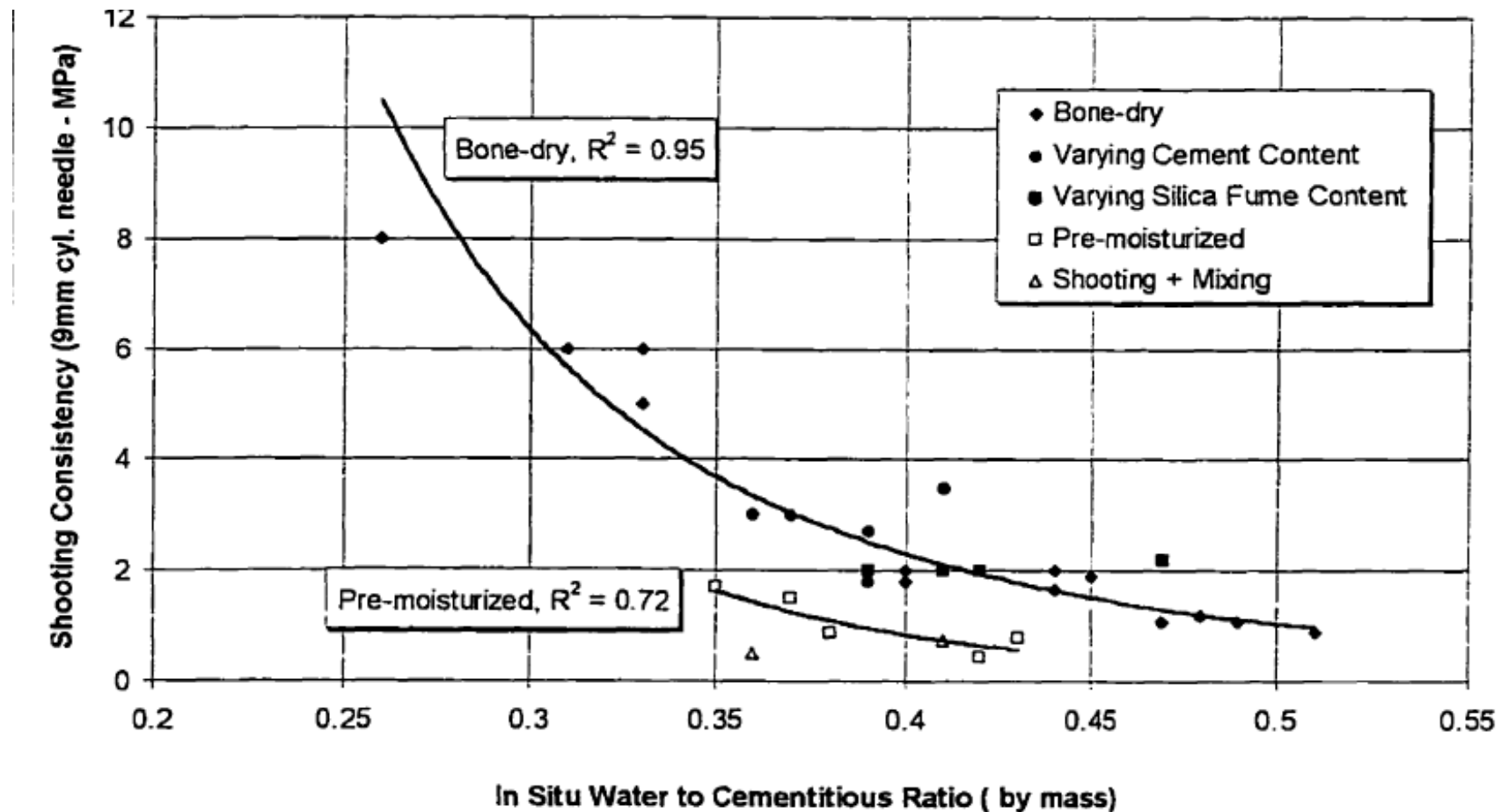


Figure 3.6 - Variation in the shooting consistency as measured by the penetrometer with the in-situ water to binder ratio for pre-moisturized and bone-dry mixes.*

Correlação da consistência com a espessura projetada no overhead (Armelin, 1997).

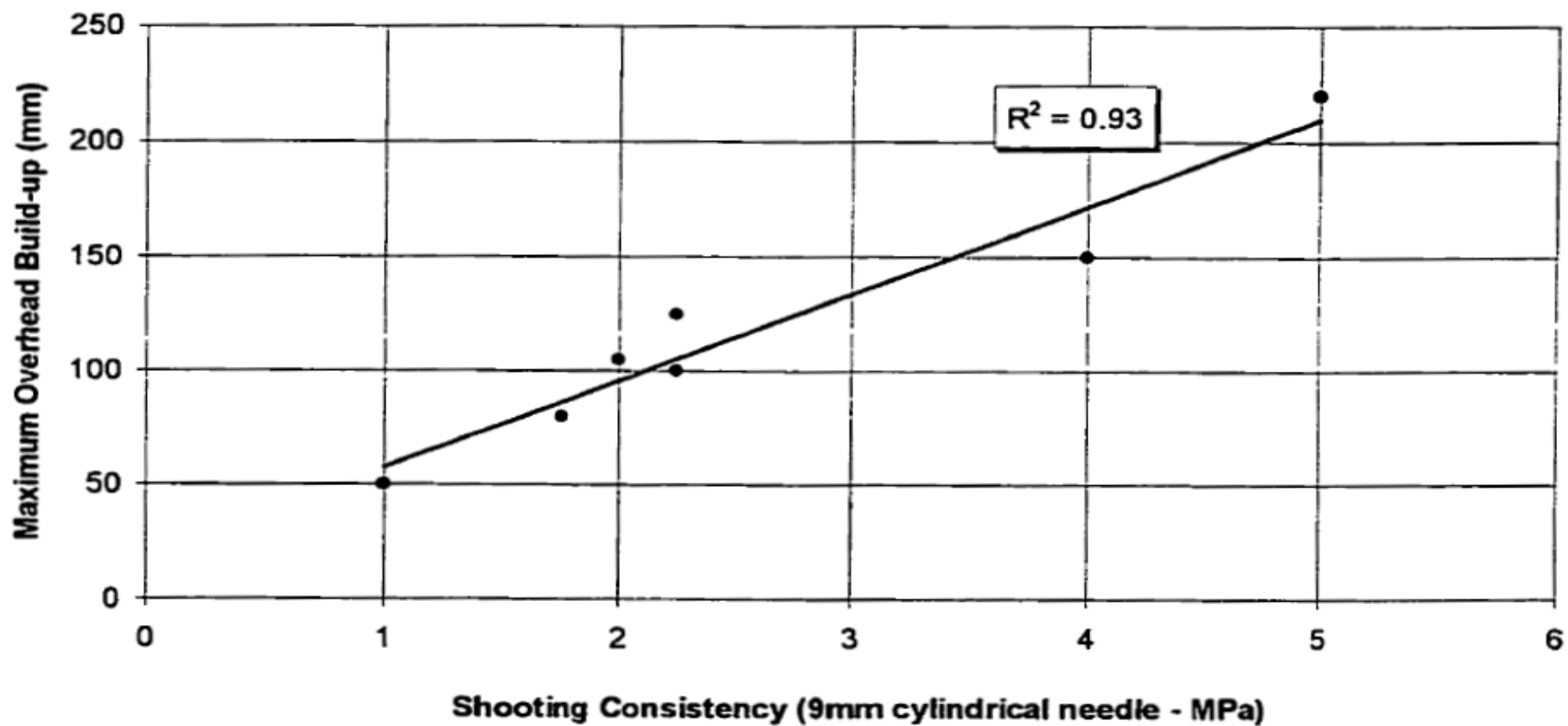


Figure 3.5 - Correlation between the maximum achievable overhead build-up and the shooting consistency measured using the penetrometer.

Correlação da consistência com a reflexão (Armelin, 1997).

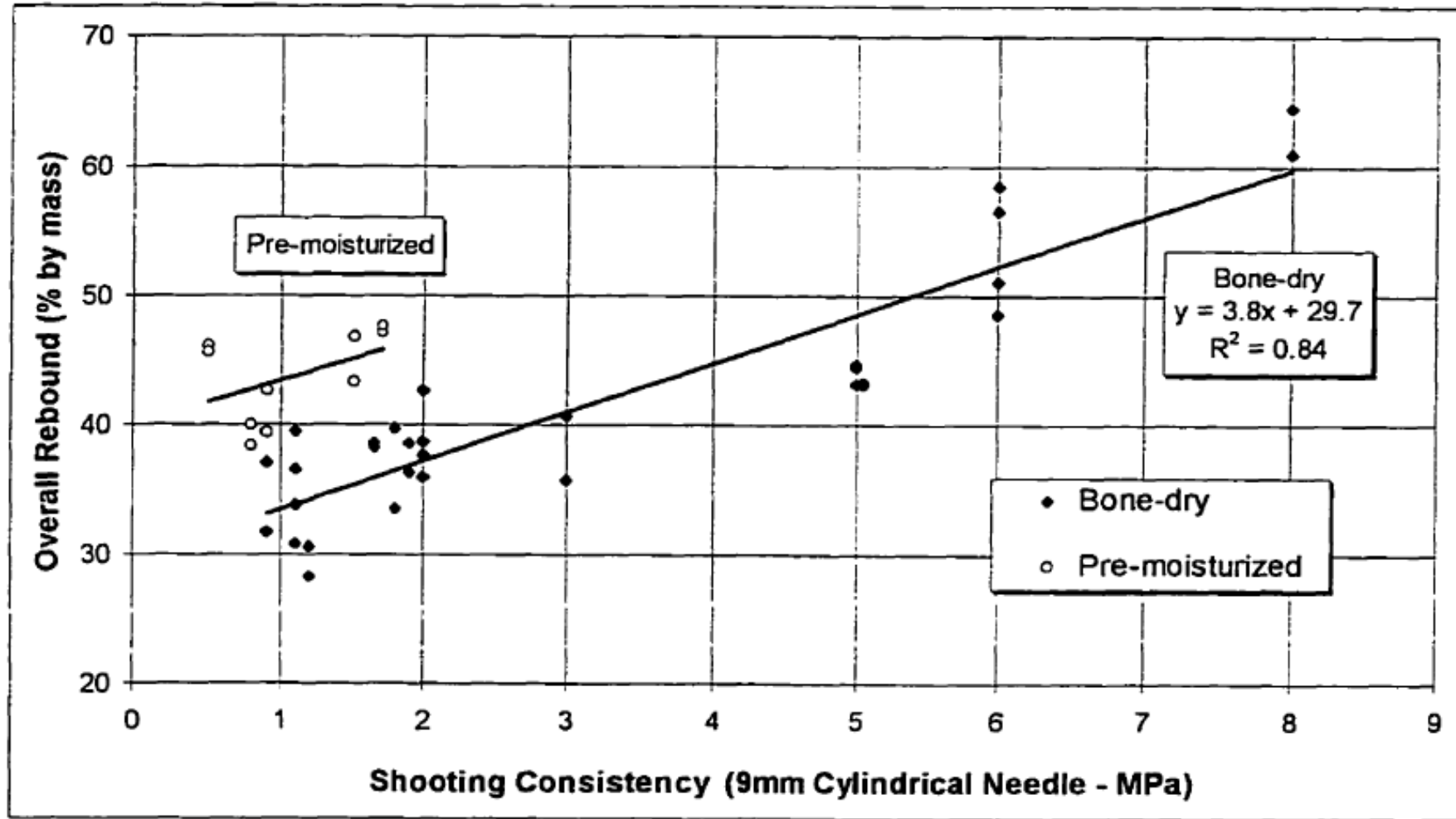


Fig. 3.7 - Variation in the overall rebound with the shooting consistency as measured using the penetrometer.

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 sequência)
 - Mangoteiro deve proceder a regulagem do equipamento
 - Variações limitadas (especialmente consistência)
- Procedimento fundamental para garantia da qualidade.

Este foi um mangoteiro auto-reprovado!



Concreto Projetado Especificação 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.

Concreto Projetado Especificação NBR 14026

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.

Concreto Projetado Especificação NBR 14026

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.

Concreto Projetado Especificação NBR 14026

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.

Concreto Projetado Especificação NBR 14026

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.

Nos estudos prévios devem ser executados os ensaios preconizados no projeto, para verificação do atendimento aos requisitos estabelecidos.

Os estudos prévios devem ser concluídos com antecedência suficiente ao emprego das misturas (traços) definitivas, de modo a permitir a conclusão dos ensaios preconizados pelo projeto.

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

<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 $\pm 15\%$.

Materiais

- Basicamente os mesmos usados no concreto convencional.
- Há bastante tempo se desenvolve materiais específicos:
 - Cimentos,
 - Aditivos e
 - Fibras
- **Deve-se garantir a “projetabilidade”**

Agregados

- Seixo rolado: baixa coesão
- Irregulares: abrasão e entupimentos
- Lamelares: aprisionamento de ar e entupimentos
- Principal característica: **granulometria**
- Reflexão = f(granulometria)
- Proporção areia/pedrisco
- $\Phi_{\text{máx}} = f(\text{diâmetro do bico}) \rightarrow \Phi_{\text{máx}} \leq 9,5\text{mm}$

Agregados

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

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	±3%
>1,2	±5%
Maior peneira da série (Dmax)	±3%

Cimentos

- Qualquer cimento pode ser utilizado
- Cimentos especiais
 - Serrana TL
 - ARI RS
 - Compatibilização: $\uparrow f_{c_{\text{inicial}}} \Rightarrow \downarrow C_3A$
- Compatibilidade com aditivos

Adições

- Uso em substituição ao cimento
 - Escória: aglomerante complementar
 - Pozolanas: cinza volante, sílica ativa e metacaulim
- Redução da porosidade
- Aumento de f_c e resistência à lixiviação $\{Ca(OH)_2 \rightarrow C-S-H\}$
- Resistência ao ataque de íons sulfato (redução da fase aluminato)

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)

Aditivos

- Atualmente existem duas grandes famílias de aditivos em termos de composição
 - Aditivos alcalinos (ex. aluminatos e silicatos de sódio e de potássio)
 - Aditivos livres de álcalis (ex. sulfato de alumínio)
- Existem duas principais possibilidades de fornecimento quanto ao estado físico: líquido e em pó.
- Fundamental: estudos prévios de qualificação e verificação de compatibilidade cimento/aditivos

Exemplo de estudo prévio

- Objetivos

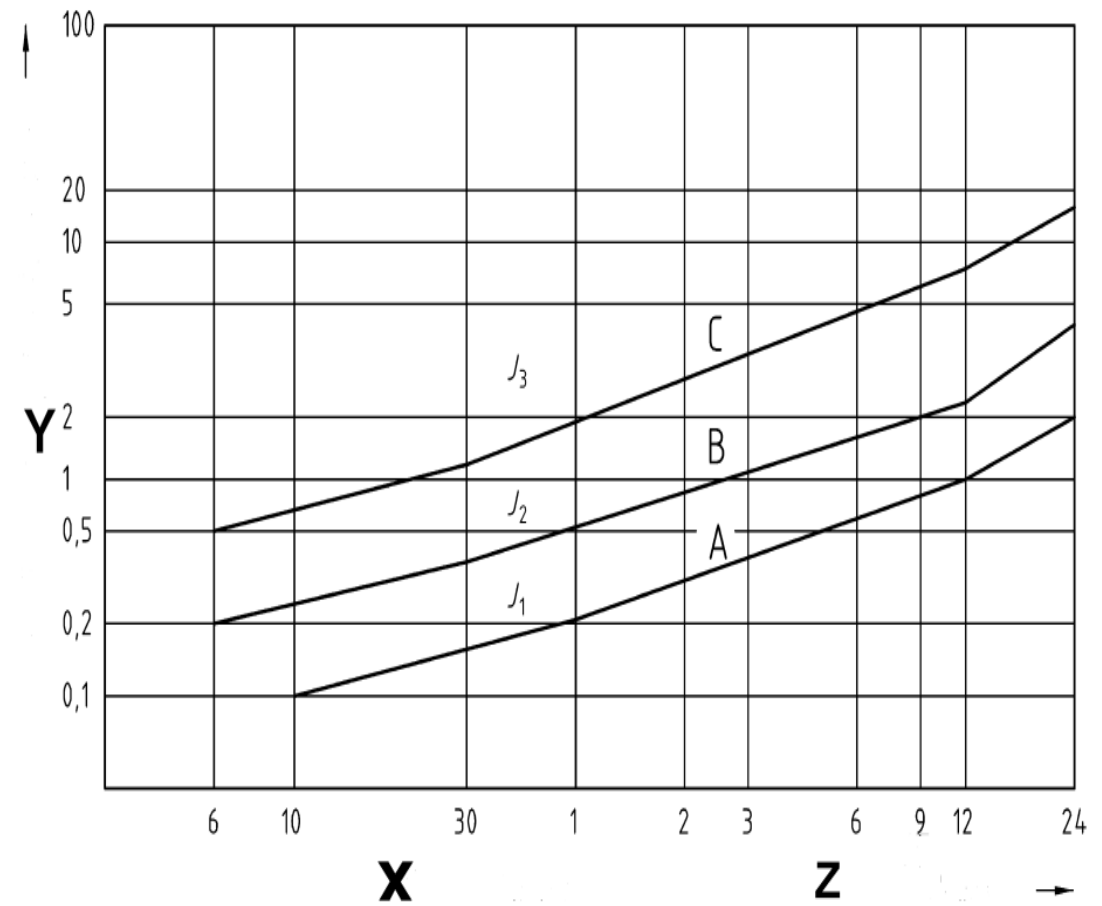
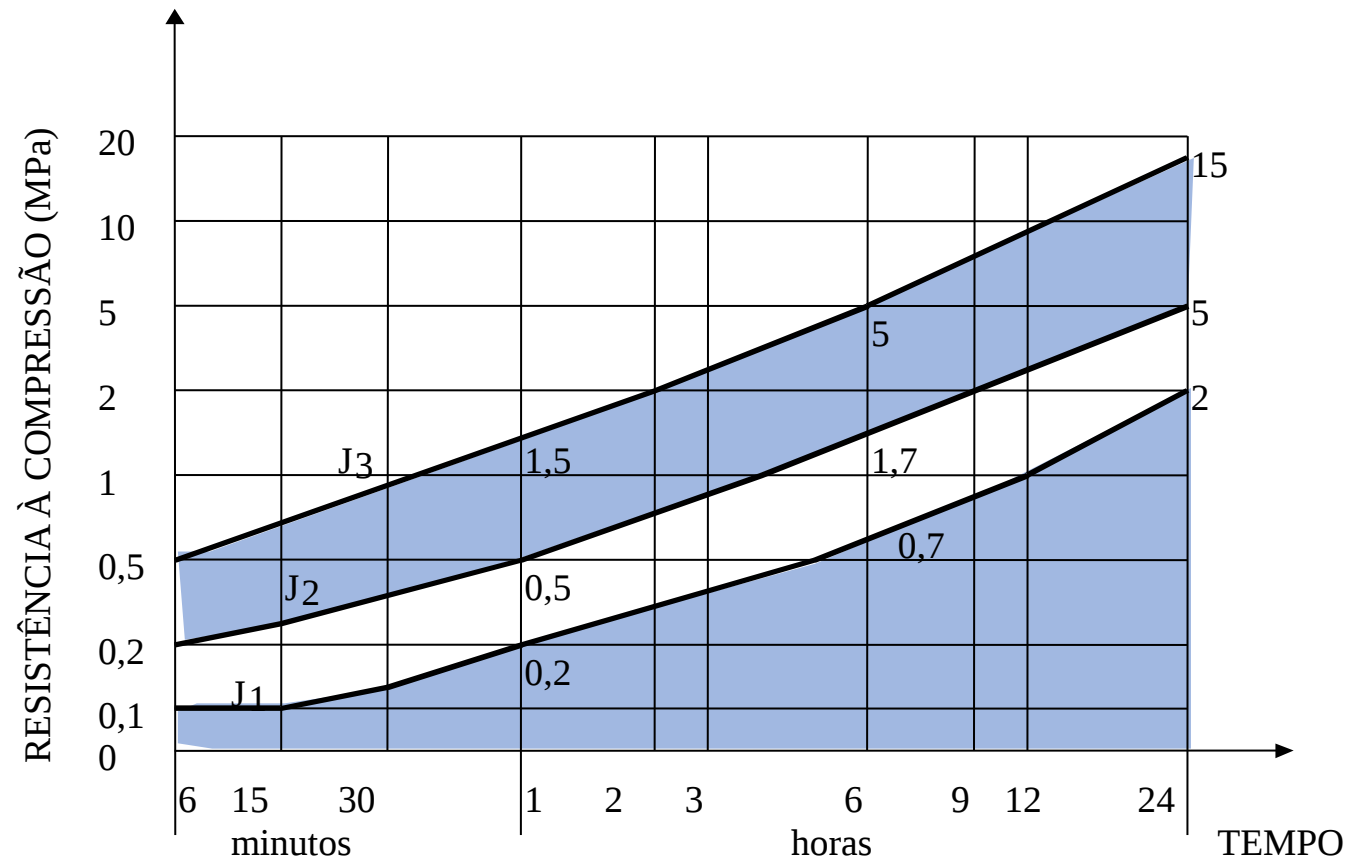
- Avaliação da evolução da resistência inicial por penetrômetros
- Avaliação de metodologias específicas para aceleradores em pó e líquidos
- Verificação da influência da temperatura

Procedimento experimental

- Equipamento: via seca a rotor com pré-umidificação e injeção de água sob pressão.
- Penetrômetros: PPC e PEC.
- Consistência determinada com agulha de Proctor.

Requisitos de desempenho à baixa idade

Austrian Concrete Society (1990) = EN14.488-1



Faixa J1: condições de exigência

- Necessidade de aplicação rápida e em camadas espessas (inclusive no teto)
- Quando há infiltrações
- Ocorrência de tensões logo após a projeção do concreto (ex.: perfurações para colocação de tirantes e vibrações devido a explosões)

Faixa J2: condições de exigência

- Ocorrência de todas as condições de J1 e
- Ocorrência de pressões ativas do maciço desenvolvendo-se muito rapidamente.

Faixa J3: condições de exigência

- Casos excepcionais.
- Todos os que conheci no Brasil.



Classes de resistência

Austrian Concrete Society (1990)

Classe	fc média mínima (MPa)	Observações
SC 12	12	J1, J2 ou J3
SC 16	16	
SC 19	19	Com requisitos J1 ou J2 (28 dias)
SC 22	22	Com requisitos J1 ou J2 (28 dias)
SC 25	25	Com requisitos J1 ou J2 (91 dias)
SC 28	28	
SC 30	30	Sem exigências para baixas idades
SC 40	40	

Análise da dosagem do aditivo

- Três séries de 4 placas foram moldadas variando o teor (quatro) de dois aditivos diferentes:
 - “A”: aditivo em pó à base de carbonato de sódio
 - “B”: aditivo líquido à base de aluminato de potássio



Procedimento

- Acelerador “A”:
 - O aditivo acelerador foi dosado em substituição ao cimento mantendo o volume de pasta total constante.
- Acelerador “B”:
 - O aditivo acelerador foi diluído em água e o teor final foi determinado por reconstituição de traço/medição de consumo.

Propriedades no estado endurecido

- Depois do uso de penetrômetros as placas foram cobertas com lona plástica até o dia seguinte, quando foram extraídos testemunhos cilíndricos para determinação da resistência e MAV.
- Quatro testemunhos foram utilizados por determinação.



Resultados gerais para primeira série acelerador A

Accelerator dosage (%)	Penetration resistance (MPa)	Compressive Strength at 28 days (MPa)	Compressive strength loss (%)	Water content H* (%)
0	4,33	38,6±4,7	0	7,60
1.5	3,65	34,2±7,6	11,4	8,60
3	4,83	29,6±3,5	23,3	8,06
4.5	4,49	25,6±0,8	33,7	9,41

Resultados gerais para segunda série acelerador A

Accelerator dosage (%)	Penetration resistance (MPa)	Compressive Strength at 28 days (MPa)	Compressive strength loss (%)	Water content H* (%)
0	5,01	39,9±4,6	0	7,53
1.5	5,35	31,2±5,5	21,8	7,60
3	5,01	27,4±5,6	31,3	7,49
4.5	5,69	24,0±4,1	39,8	7,25

Resultados gerais para acelerador B

Accelerator dosage (%)	Penetration resistance (MPa)	Compressive Strength at 28 days (MPa)	Compressive strength loss (%)	Water content H* (%)
0	3,99	26,0±1,6	0	8,4
1.12	3,99	25,7±3,7	1,2	8,9
2.24	5,19	21,2±3,2	18,5	9,4
3.36	7,39	20,5±3,4	21,2	9,3

Resultados

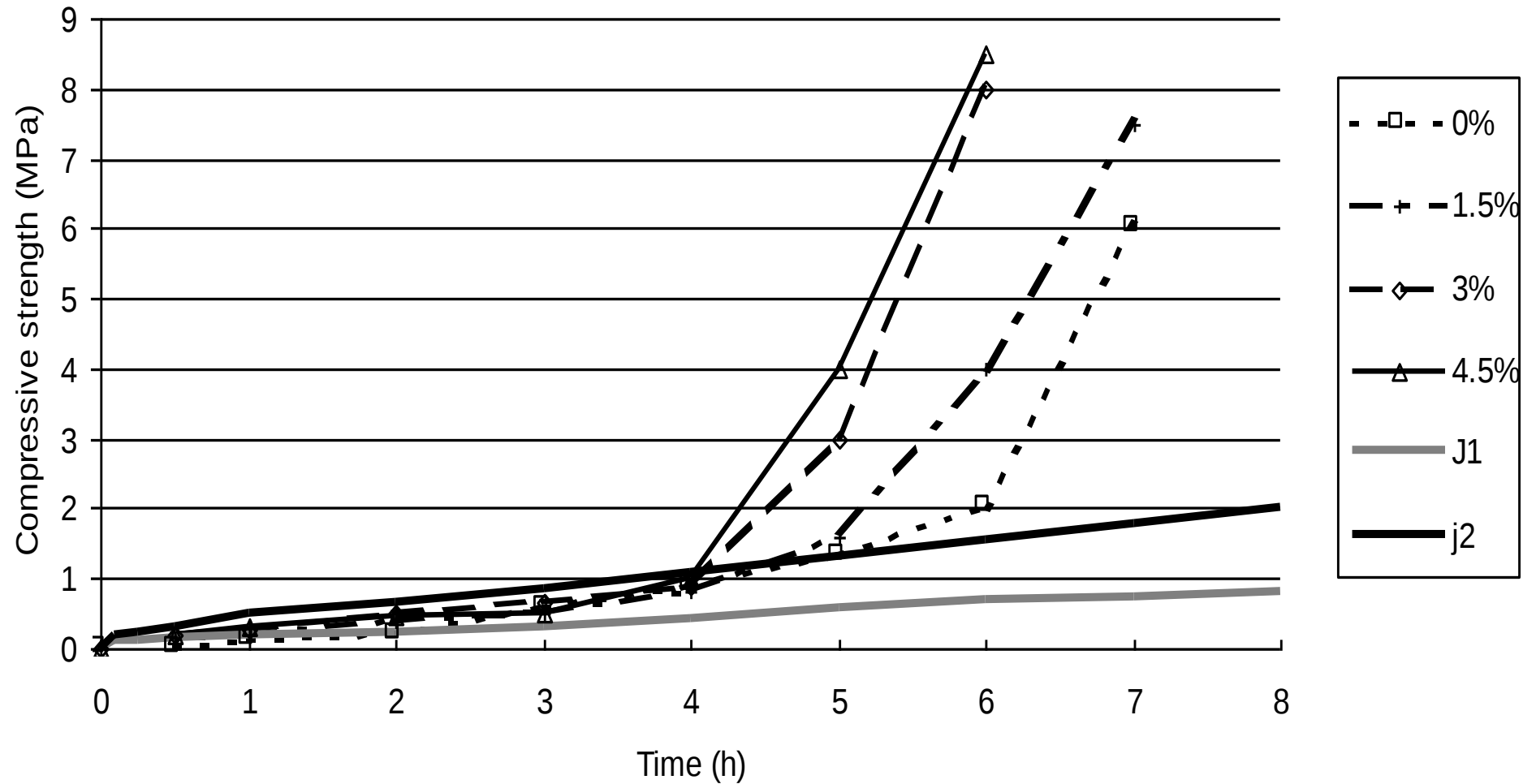
Consistência

- Sem variação significativa para “A”
- Aumento da consistência com aumento do teor de “B”

Acelerador “A”- teor (%)	Consistência (MPa) Primeira série	Consistência (MPa) Segunda série	Acelerador “B” - teor (%)	Consistência (MPa)
0	4,33	5,01	0	3,99
1.5	3,65	5,35	1.12	3,99
3	4,83	5,01	2.24	5,19
4.5	4,49	5,69	3.36	7,39

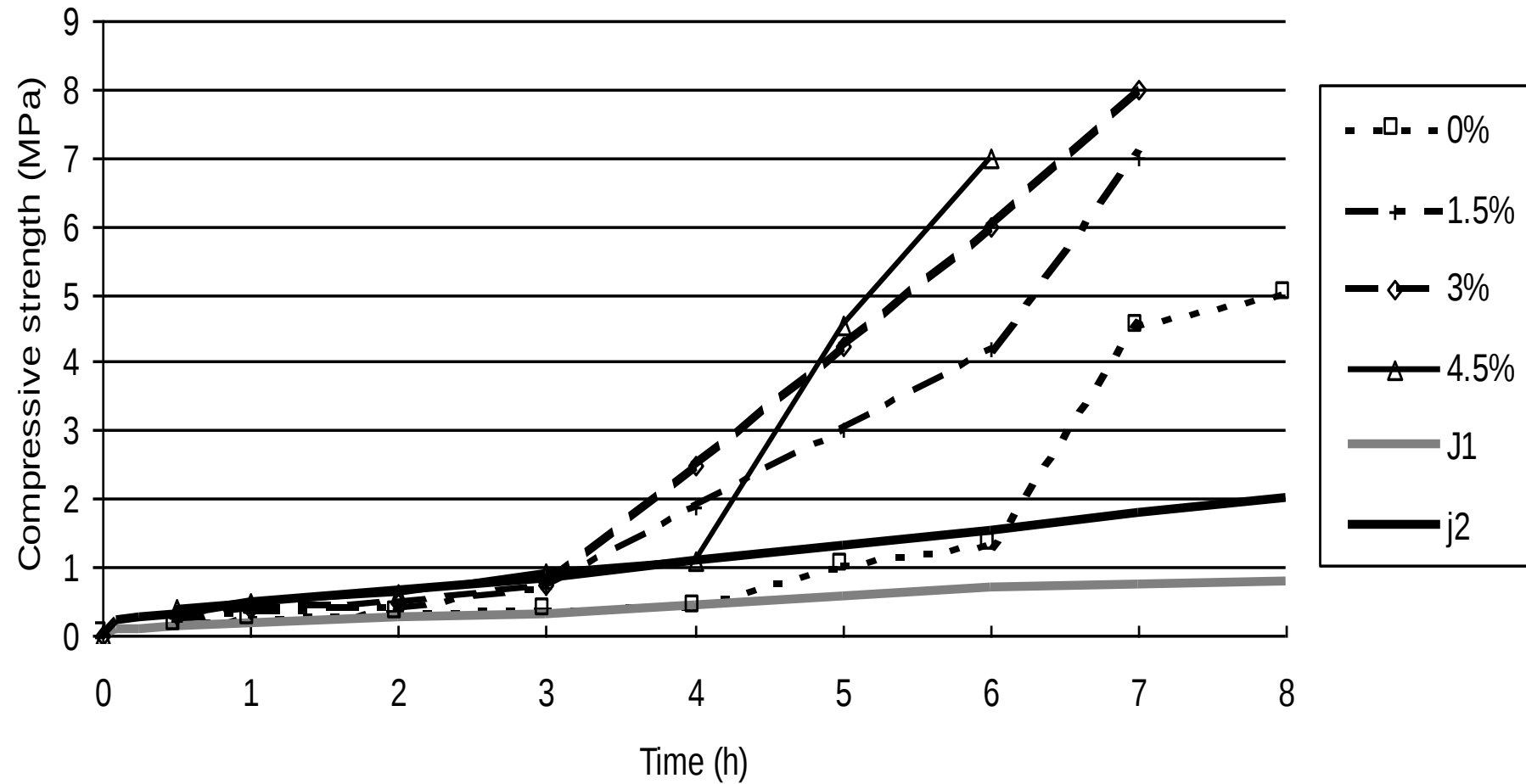
Resistência inicial

Accelerator "A" - First Series



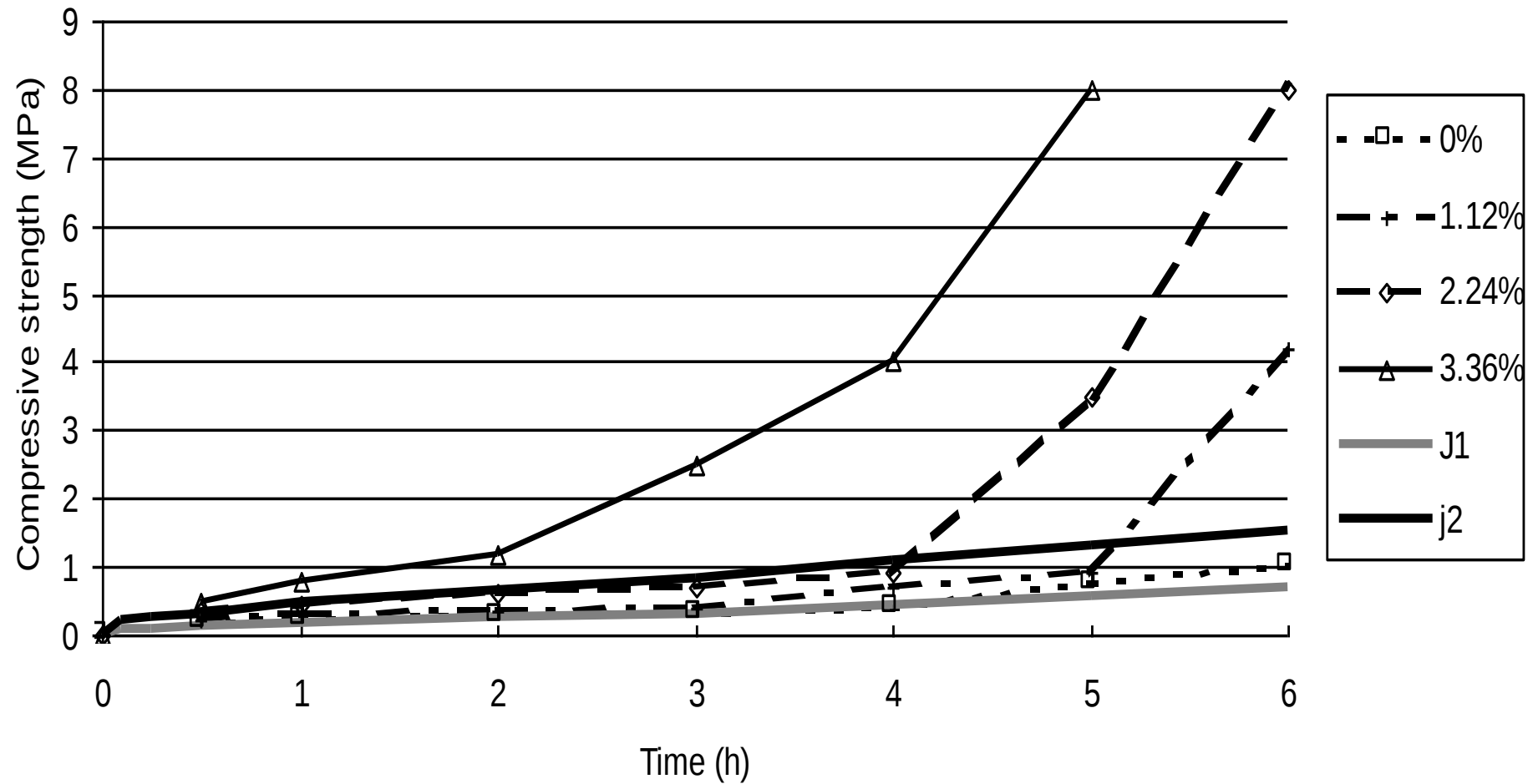
Resistência inicial

Accelerator "A" - Second Series



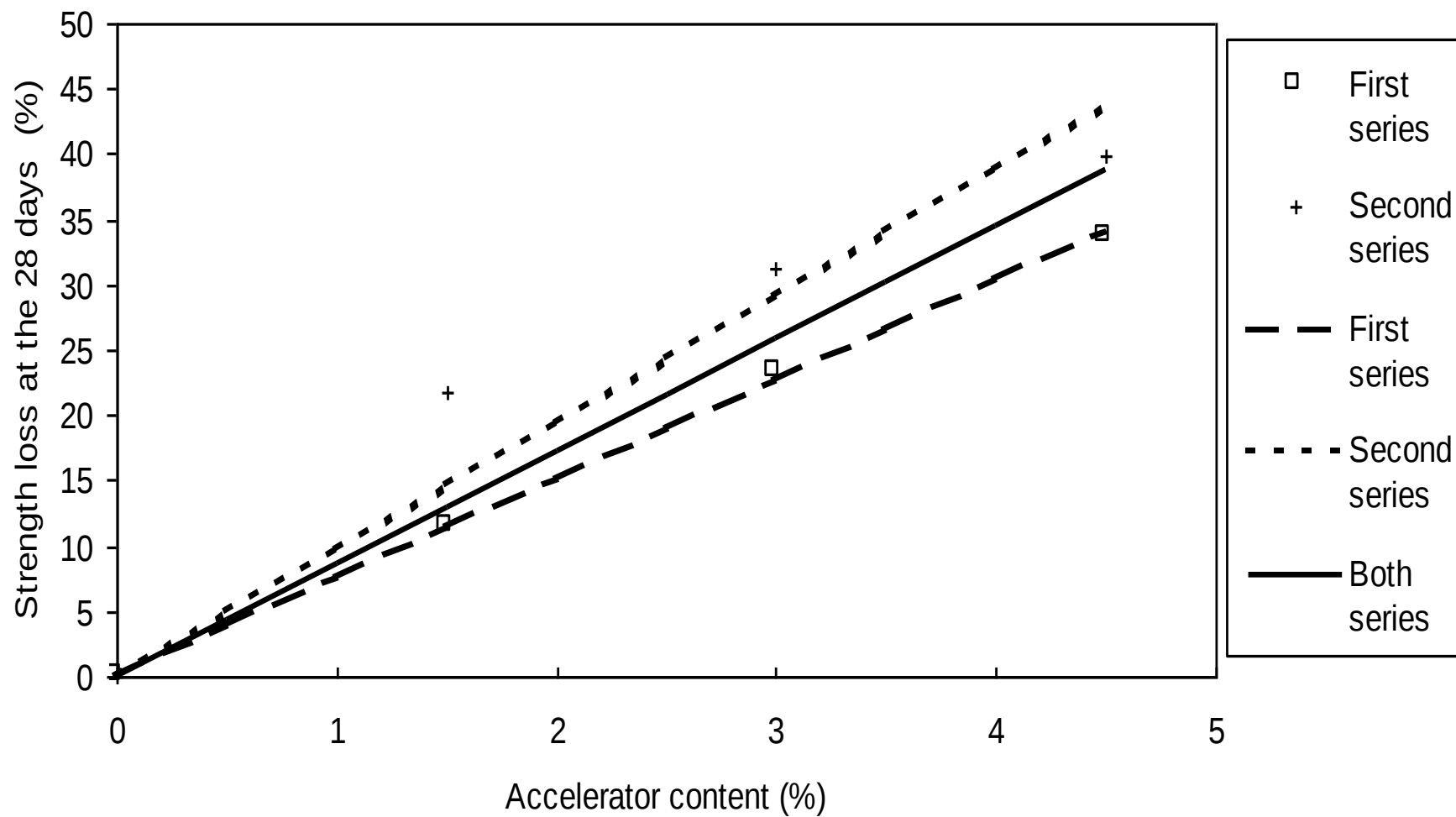
Resistência inicial

Accelerator "B"



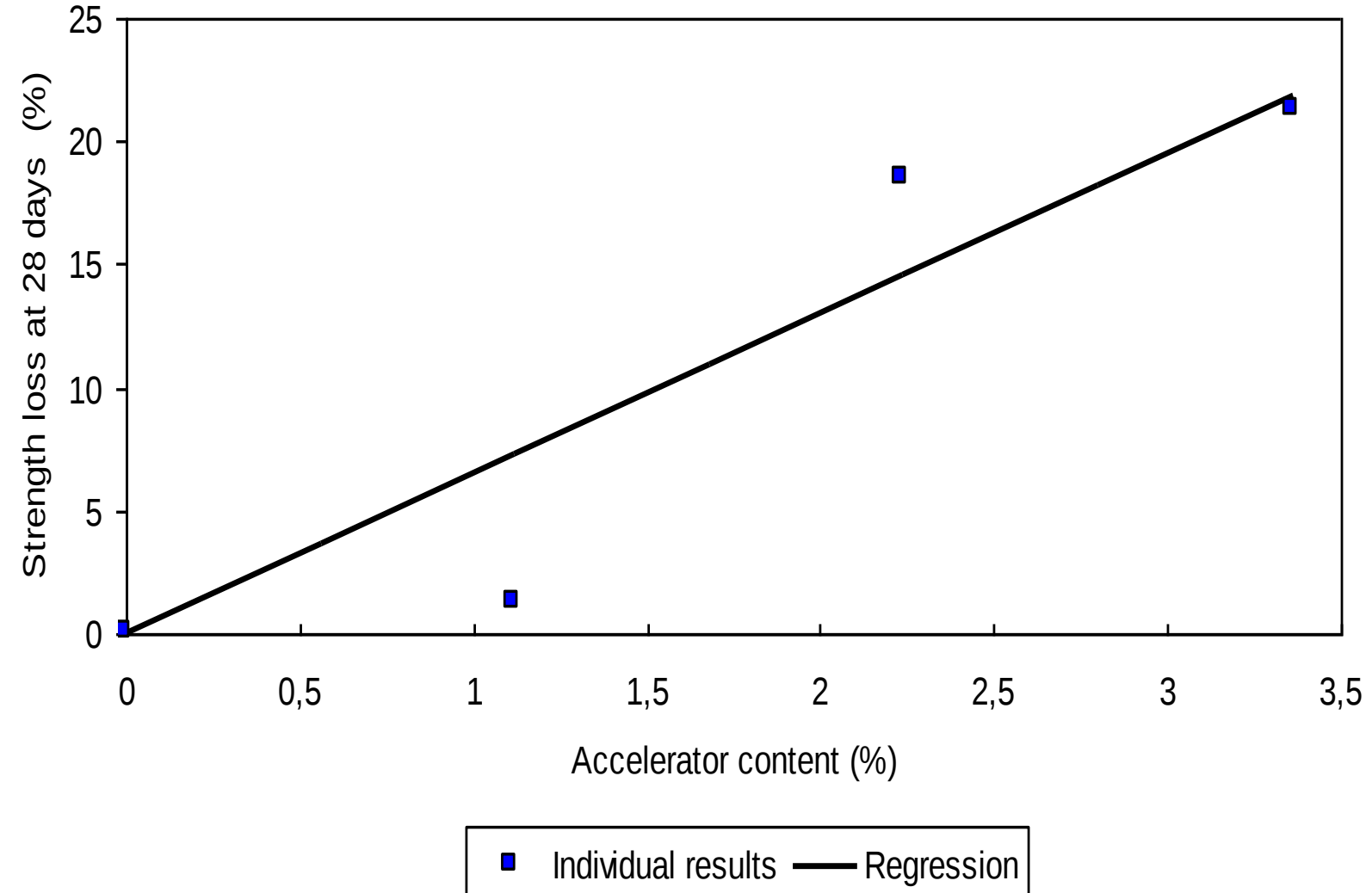
Resistência final

Accelerator "A"



Resistência final

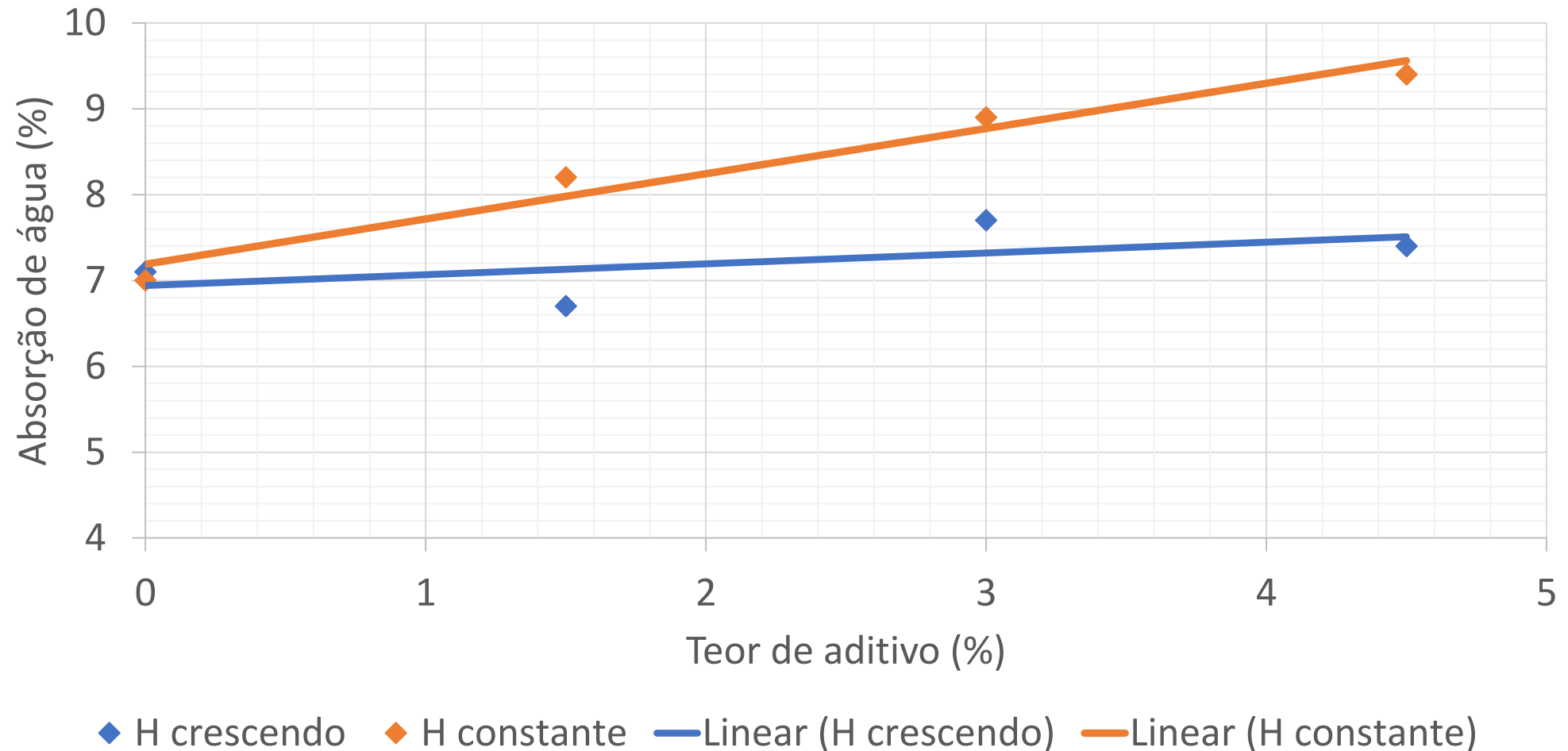
Accelerator "B"



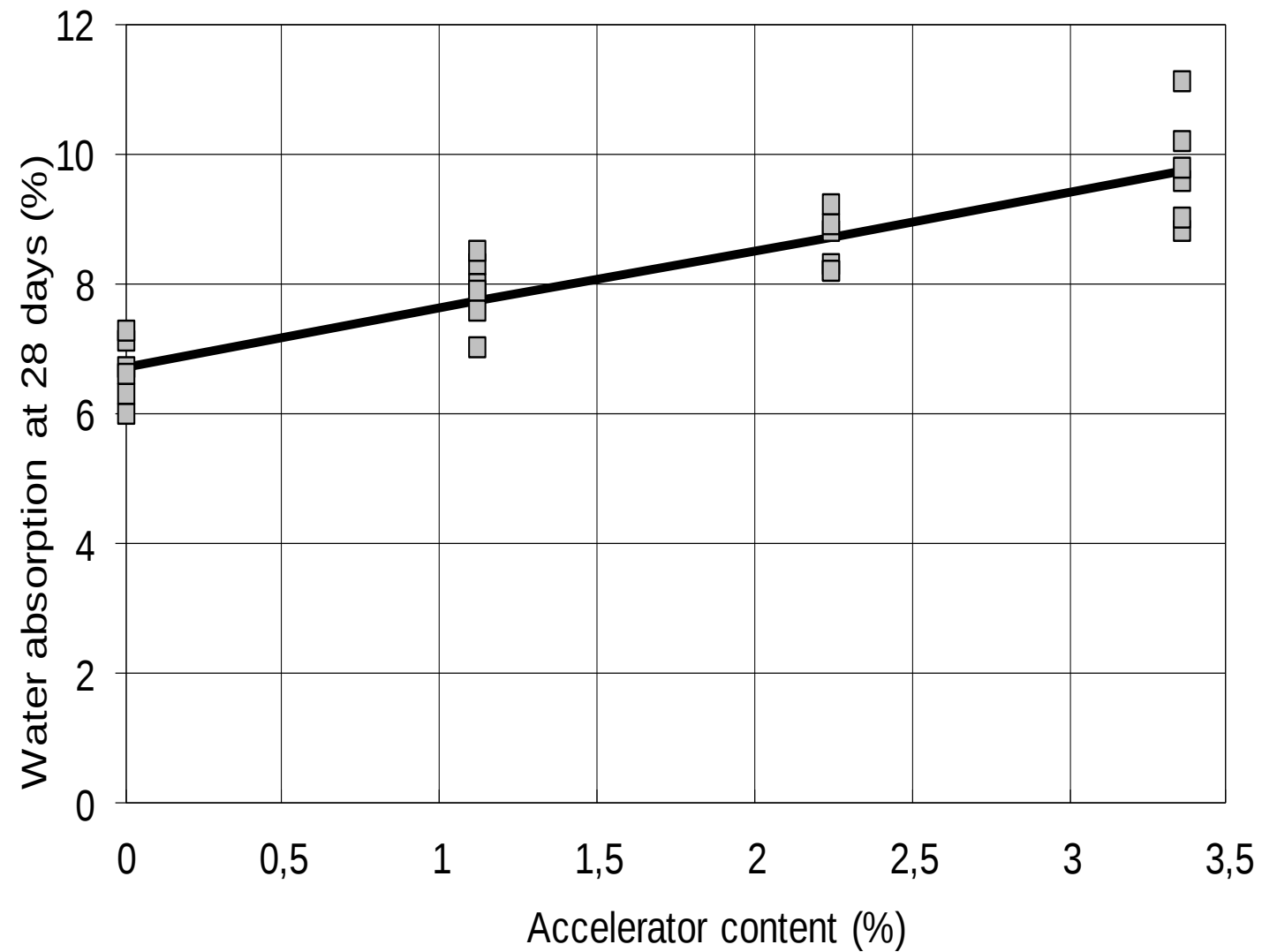
Absorção de água

Acelerador	Teor (%)	Absorção (%)	Volume de vazios permeáveis (%)	H (%)
“A”	0	7,1±0,5	15,2±1,1	7,60
	1.5	6,7±0,6	14,6±1,2	8,60
	3	7,7±0,6	14,6±1,0	8,06
	4.5	7,4±0,7	15,9±1,5	9,41
	0	7,0±0,41	5,3±0,7	7,53
	1.5	8,2±0,41	7,6±0,8	7,60
	3	8,9±0,91	8,8±1,7	7,49
	4.5	9,4±0,81	9,7±1,4	7,25
“B”	0	6,7±0,5	14,1±0,8	8,4
	1.12	7,9±0,5	16,2±0,9	8,9
	2.24	8,6±0,4	17,5±0,7	9,4
	3.36	9,8±0,8	19,4±1,2	9,3

Resultados da variação de porosidade para acelerador A



Absorção de água



Discussão dos resultados

- Os resultados obtidos para ambos aceleradores confirmam o apresentado por Gebler (92) e contradizem os resultados de Prudêncio, Armelin, e Helene (96) que não encontraram diferença significativa na resistência final para aditivos à base de carbonato.
- Possível explicação (especialmente para o acelerador “A”) está na mudança do procedimento experimental: o acelerador não foi meramente adicionado à mistura seca mas substituiu o cimento (volume de pasta constante)

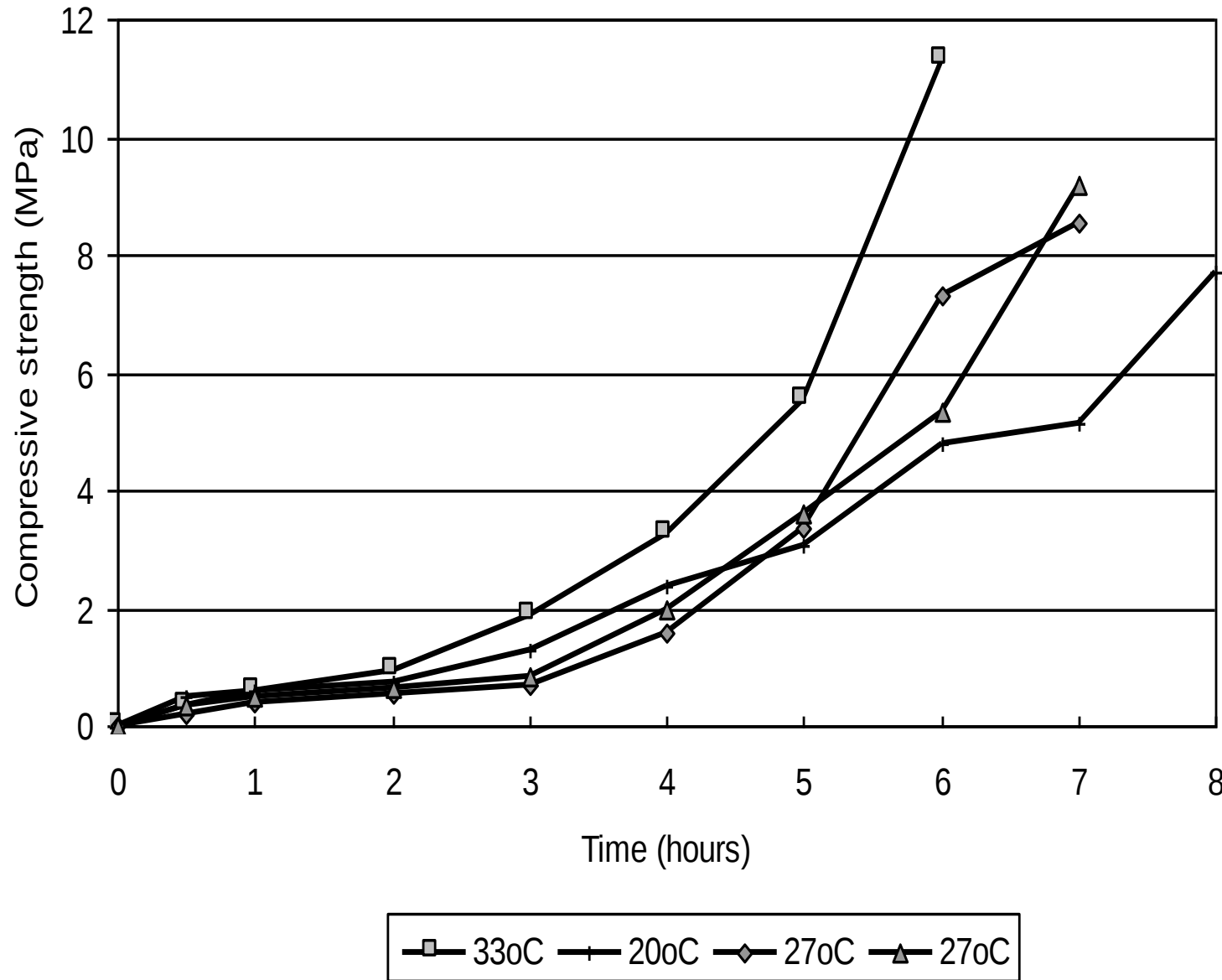
GEBLER, S. H.; LITVIN, A.; McLEAN, W. J.; SHCUTZ, R. **Durability of Dry-Mix Shotcrete Containing Rapid-Set Accelerators**. ACI Materials Journal, V. 89, N. 3, 1992. pp. 259-62.

PRUDÊNCIO Jr. L.R.; ARMELIN, H. S. and HELENE, P. **Interaction between accelerating admixtures and Portland cement for shotcrete: the influence of the admixture's chemical base and correlation between paste tests and shotcrete performance**. ACI Materials Journal, V. 93, N. 6, 1996. pp. 619-28.

Influência da temperatura ambiente

- Acelerador “B” (aluminato de sódio).
- Teor: 2.0%.
- Mesmo mangoteiro para todos os dias de moldagem.
- Quatro placas por dia de moldagem.
- Um termohigrógrafo registrou temperatura.

Resultados



- A influência só foi observada na evolução da resistência inicial
- Não se observou diferença significativa para a resistência final (contra as expectativas)

Conclusões gerais

- A análise do efeito dos aditivos nas resistências iniciais é crítico para túneis
- Avaliação de aceleradores é a mais complexa para a dosagem do concreto projetado
- O procedimento experimental altera o resultado final da análise do material
 - Influência do processo de projeção é constante
- Aditivos líquidos alteram pega e evolução da resistência de maneira mais significativa
 - Não é recomendável usar aditivos em pó

Obrigado!

