PCC5021 Concreto Projetado
Histórico
Conceitos Básicos

Antonio Figueiredo

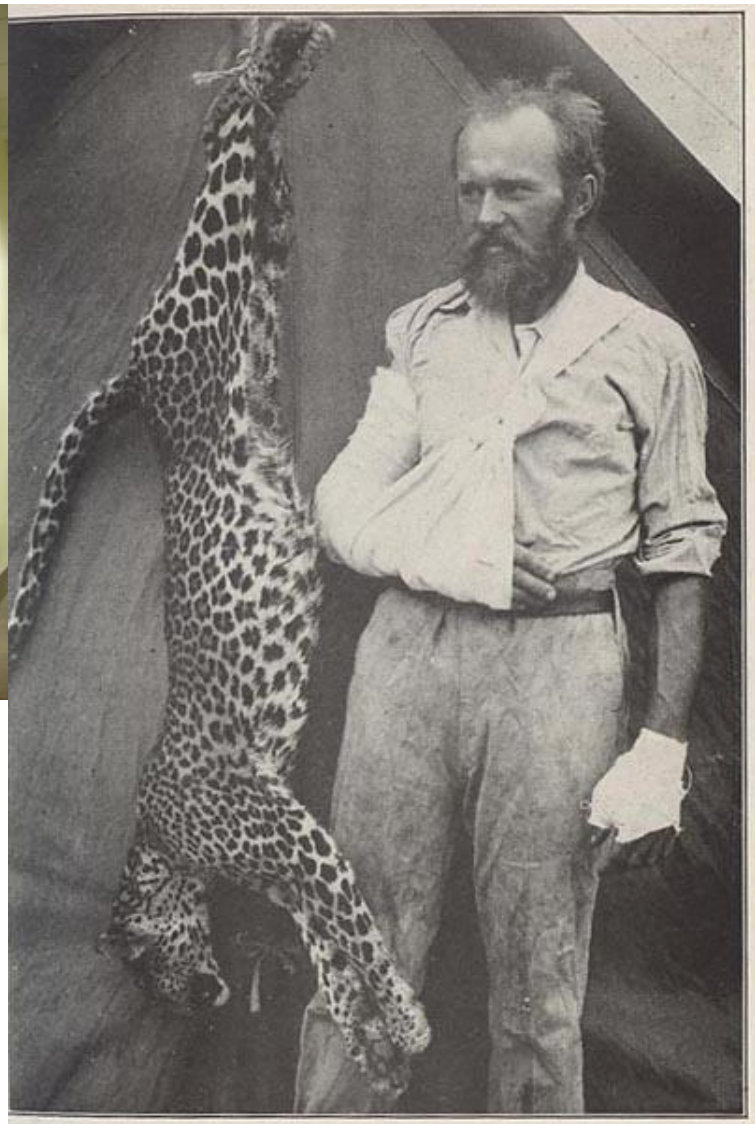
PCC

Concreto projetado

- Concreto com dimensão máxima característica do agregado maior ou igual a 9,5mm, transportado através de uma tubulação, projetado sob pressão sobre uma superfície, com compactação simultânea.

(NBR 14026).

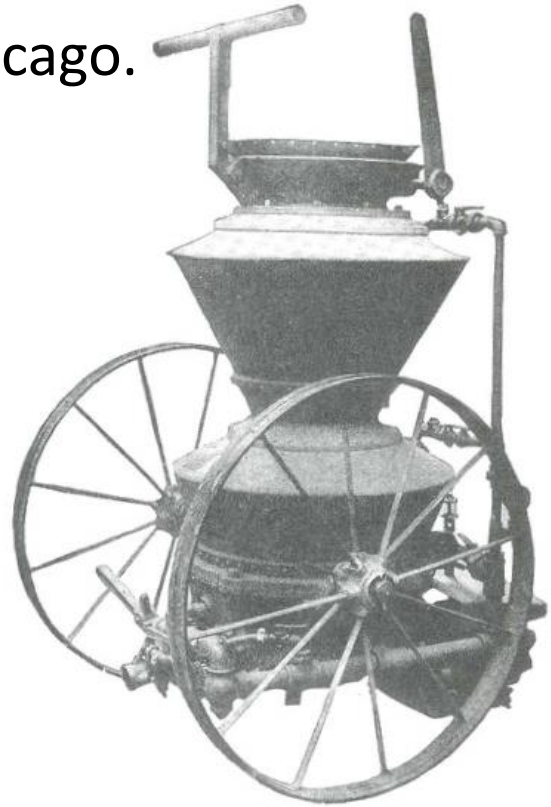
1907 - Invenção por Carl E. Akeley



MR. AKELEY AND THE LEOPARD HE KILLED BARE-HANDED

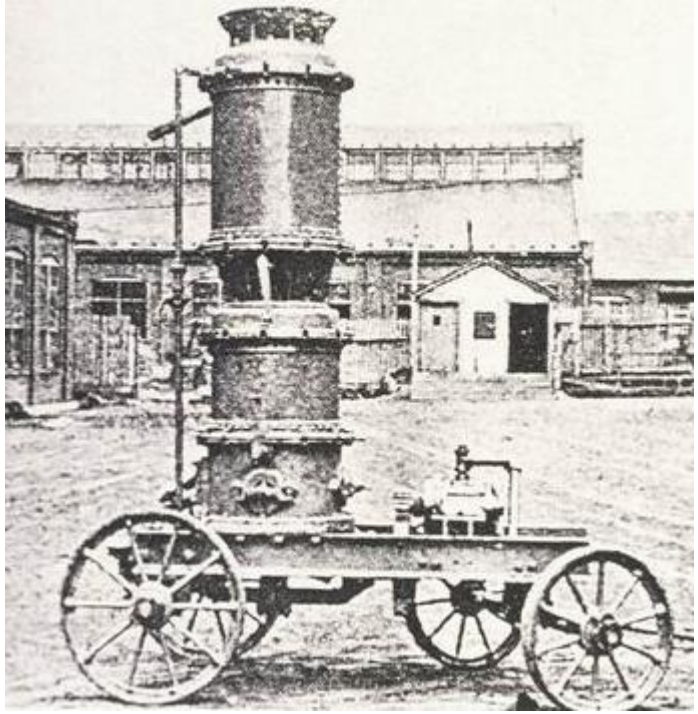
O início do uso do concreto projetado

- Em 1907 Akeley aplicou para a recuperação da fachada do Field Columbian Museu em Chicago.



watershapes.com/travelogues/history/beginnings.html

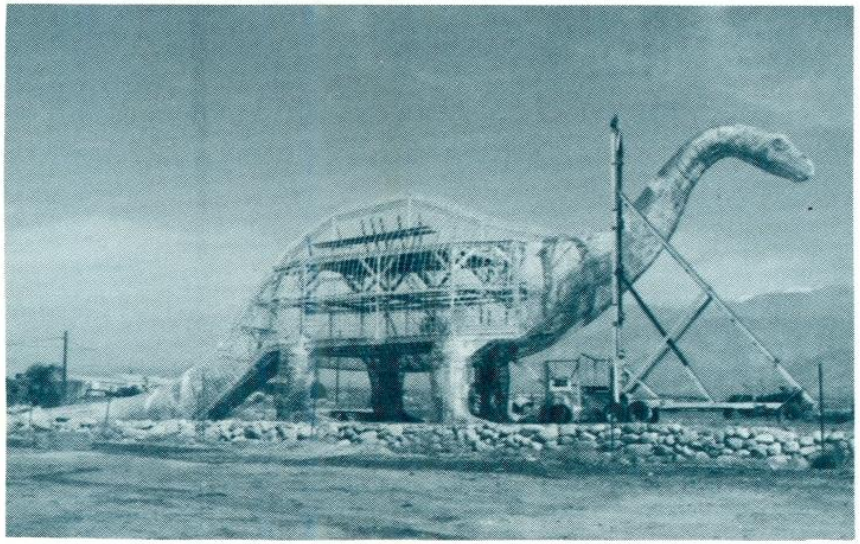
- Aplicações para construção civil já na primeira década do século XX.

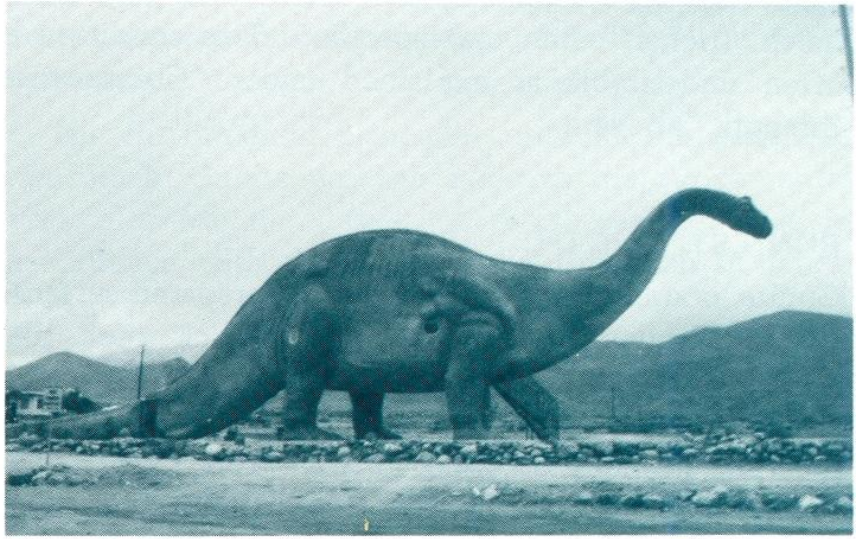


"Cement-Gun" por C.A. Akeley, 1910.

www.dr-sauer.com/resources/presentations-lectures/419

O nascimento do concreto projetado

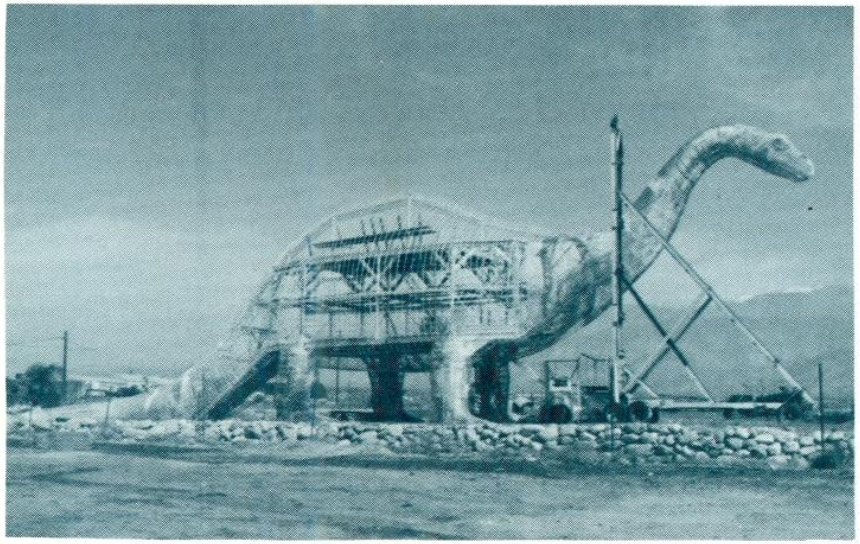


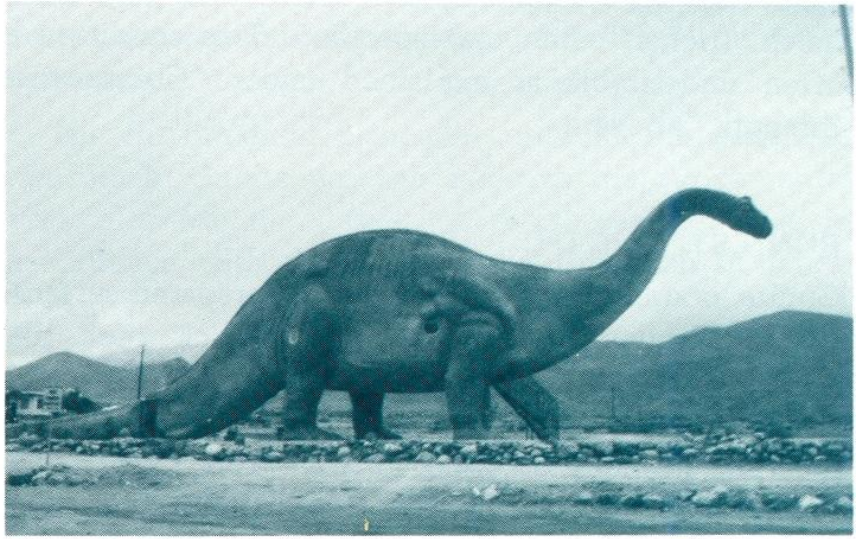


In order to reproduce lifelike prehistoric animals and giant reptiles such as the one pictured above, the original cement gun was conceived and developed. This is why it all started.

Grande vantagem: dispensar o molde (a fôrma) para a execução da **estátua**.

O nascimento do concreto projetado





In order to reproduce lifelike prehistoric animals and giant reptiles such as the one pictured above, the original cement gun was conceived and developed. This is why it all started.

Grande vantagem: dispensar o molde (a fôrma) para a execução da **estrutura**.

HISTÓRICO

- 1948 - Primeiro registro brasileiro (Gilberto Molinari)
- 1950-60 - Invenção da via seca a rotor e via úmida (agregados graúdos)

HISTÓRICO

- 1960-1970 - Primeiras aplicações em túneis no Brasil e surgimento de empresas especializadas em recuperação de estruturas
- 1983 - Início dos trabalhos de normalização

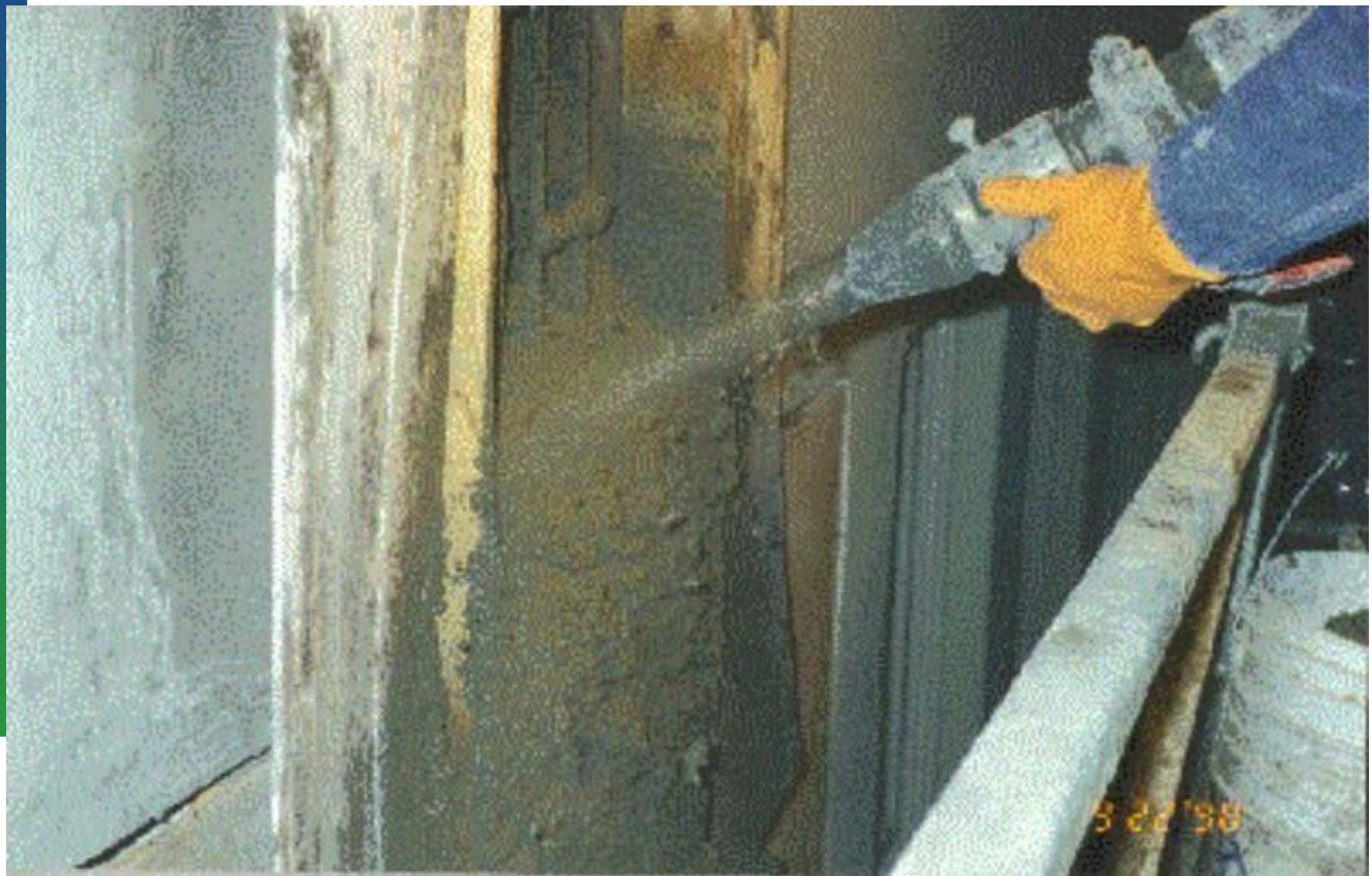
HISTÓRICO

- 1994 - Publicação das primeiras normas
- 1980-90 - Aplicação do concreto projetado como estrutura definitiva

Contenção de taludes

Contenção de taludes

Recuperação de estruturas



Recuperação de estruturas

Recuperação de estruturas

Novas construções

Novas estruturas

Restaurante do Parque Oceanográfico de Valência

http://www.muvprojects.com/servicios/estructuras-laminares/

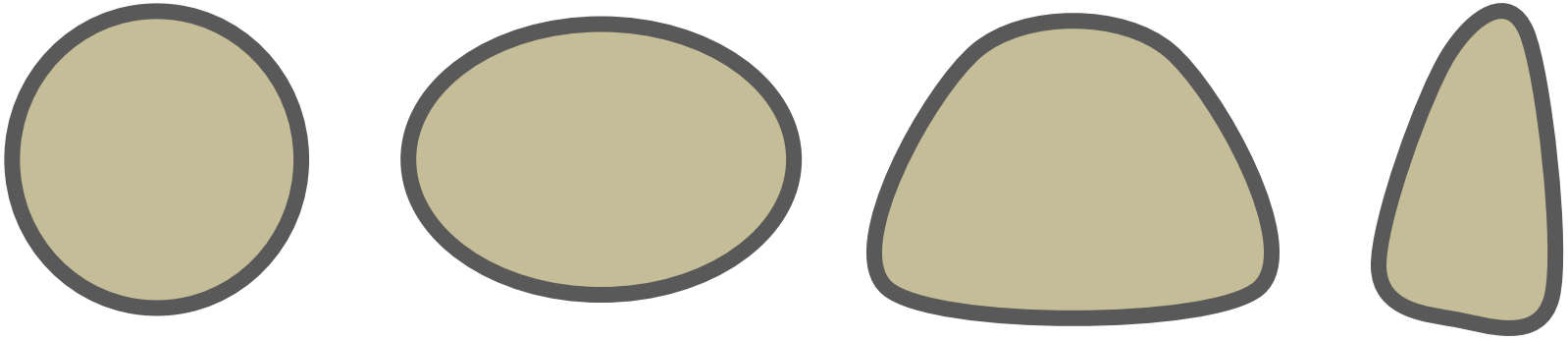
Túneis

Permite avanço do túnel sem instalação de fôrmas

Permite executar revestimento final sem instalação de fôrmas

Principais características

- Além de dispensas fôrmas:
  - Agilidade de produção e praticidade
  - O resultado final depende do processo de produção
  - Requisitos podem variar bastante dependendo da aplicação
  - Permite flexibilidade geométrica para a seção do túnel



CONCEITO FUNDAMENTAL:

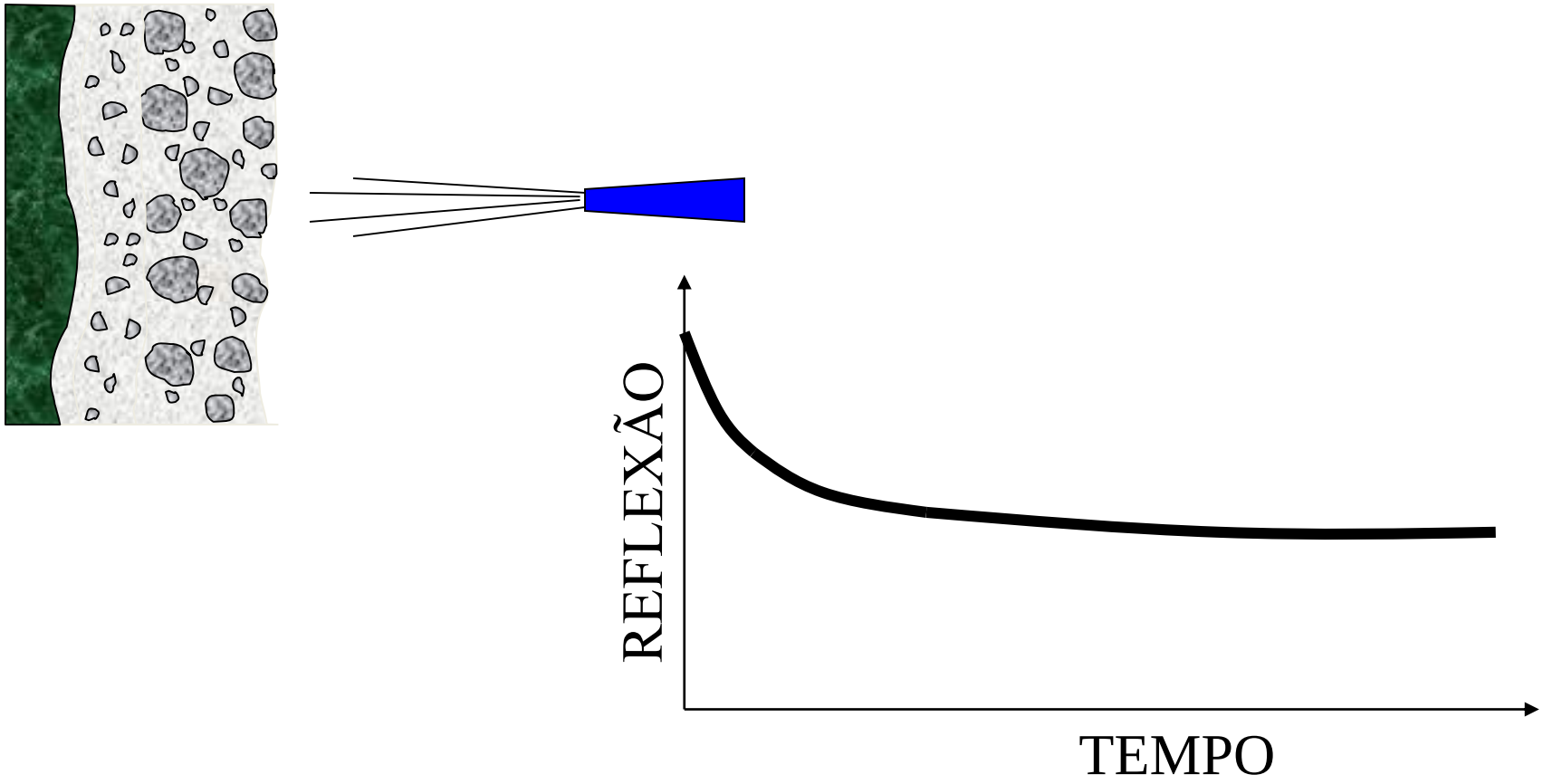
Concreto projetado é um processo

Característica principal: REFLEXÃO

- Parte do material não fica incorporado na estrutura caindo no solo
- A reflexão é majoritariamente agregados graúdos e fibras
- Altera o traço do concreto incorporado na estrutura
- Influencia as propriedades do material na estrutura

Reflexão do concreto projetado

Definição: **fenômeno** que ocorre durante a projeção do concreto, onde parte do material projetado ricocheteia do alvo de projeção.



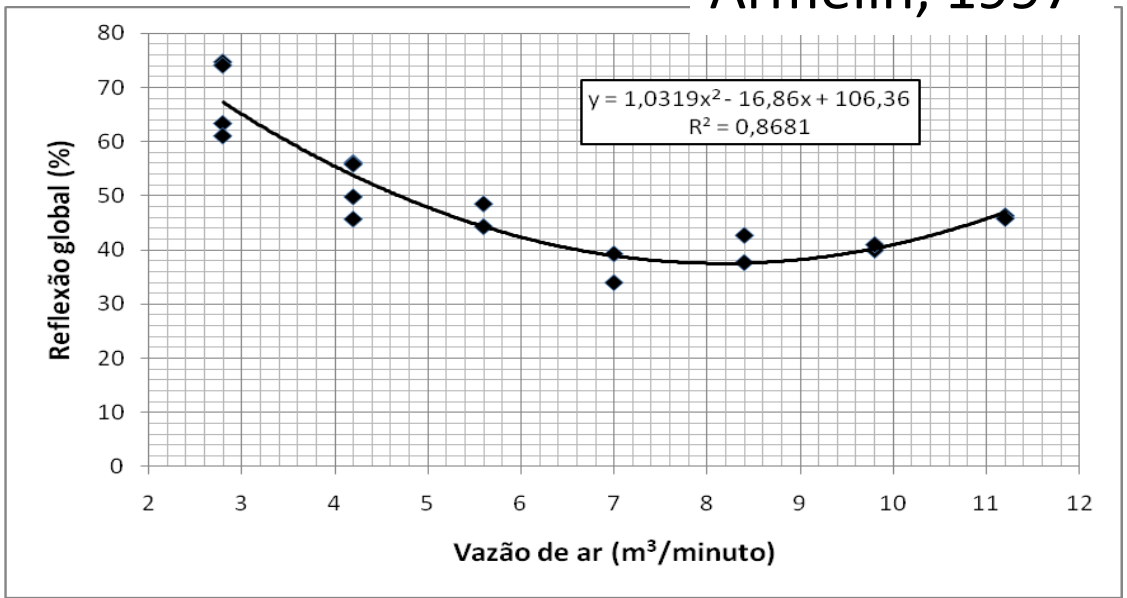
Aspectos que incidem sobre a intensidade da reflexão:

- Espessura da camada
  - Quanto maior→menor a reflexão
- Substrato
  - Quanto mais irregular e duro→maior a reflexão
- Umidificação ou processo
  - Quanto maior→menor a reflexão
- Velocidade de projeção
  - Quanto maior→maior a reflexão

Aspectos que incidem sobre a intensidade da reflexão:

- Distância de projeção
  - distância ótima ~1m
- Inclinação do jato
  - Quanto maior→maior a reflexão
- Granulometria da mistura
  - Quanto maior→maior a reflexão
- Vazão de ar

Armelin, 1997



Reflexão e teor de argamassa incorporado

Test panel	Mixture proportions of the shotcrete (1:a:b:x)	Mortar content in the shotcrete (%)
A70	1:2,44:1,00:0,42	83
A60	1:2,16:1,10:0,36	81
A50	1:1,72:0,83:0,25	82
A40	1:2,02:0,47:0,16	85
B70	1:2,47:0,68:0,23	87
B60	1:2,11:1,06:0,32	81
B50	1:1,65:1,14:0,33	78
B40	1:1,30:1,32:0,35	73
C70	1:2,24:1,06:0,36	75
C60	1:2,23:0,97:0,31	77
C50	1:2,25:0,75:0,29	81
C40	1:2,38:0,62:0,26	85
Average and standard deviation		81±4

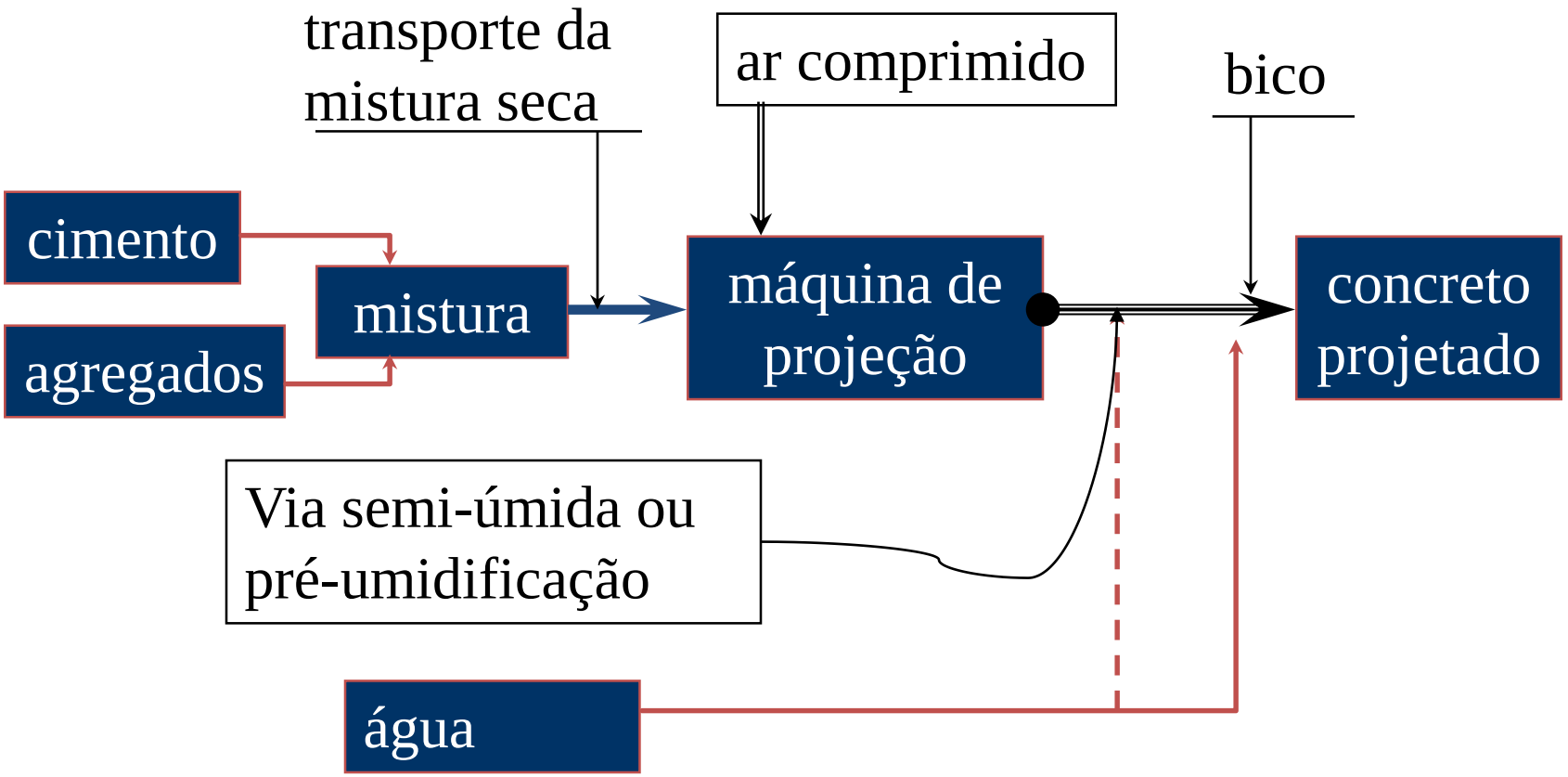
Pergunta: se a reflexão altera a composição do material, poderá alterar suas propriedades?

Processos de projeção disponíveis

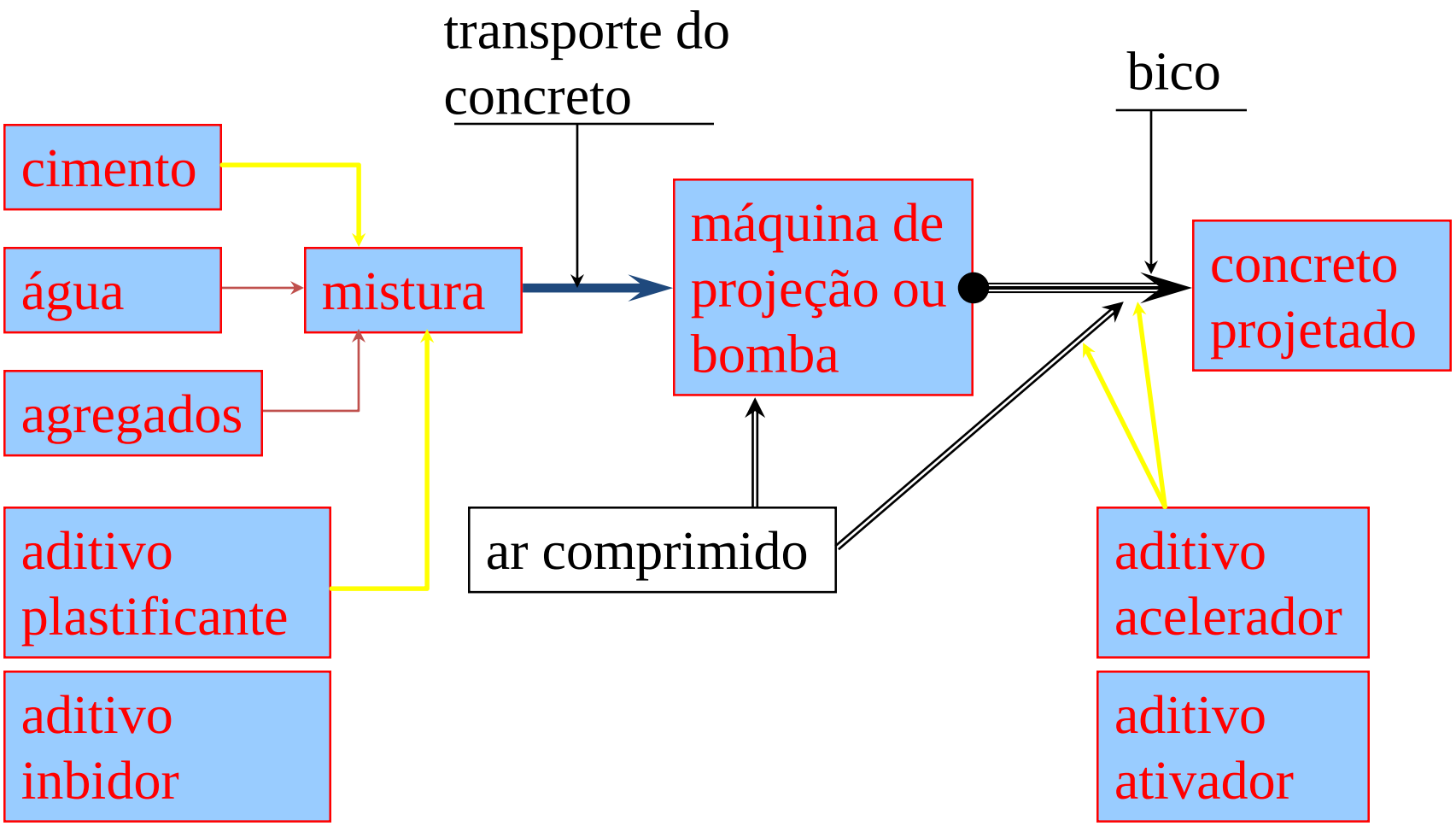
- Via seca
- Via úmida
- Pré-umidificação (via semi-úmida)
  - Material extremamente vinculado ao processo de projeção

Processos de projeção

Via seca ⇨ concreto de consistência seca



Via úmida ⇨ similar a concreto bombeado



Comparação entre via seca e úmida

FATOR	VIA SECA	VIA ÚMIDA
Equipamento	* barato * facilidade de manutenção e operação	* caro * exige “robô” * menor desgaste e consumo de ar
Mistura	* na obra ou usina * ”pre-bagging” viável * grande interferência do e no processo	* só na usina * maior homogeneidade * abatimento interfere no processo
Produção	* até ~5m^3/h	* de 2 a 20m^3/h
Reflexão	* alta	* baixa
Características físicas e mecânicas	* maior resistência * menor homogeneidade	* menor resistência * maior homogeneidade

Comparação entre via seca e úmida

FATOR	VIA SECA	VIA ÚMIDA
Velocidade de projeção	* Maior, permitindo excesso ou carência	* Menor, dificilmente permitindo excesso
Aditivos	* Em pó ou líquido * Grande versatilidade para aplicação	* Não é viável aplicar sem aditivos * Apenas aditivos líquidos
Produção de poeira e névoa	* grande	* Baixa para fluxo denso * Média para fluxo aerado
Versatilidade	* Alta * Permite grandes interrupções	* Baixa * Interrupções geram grandes perdas

Processos de projeção disponíveis

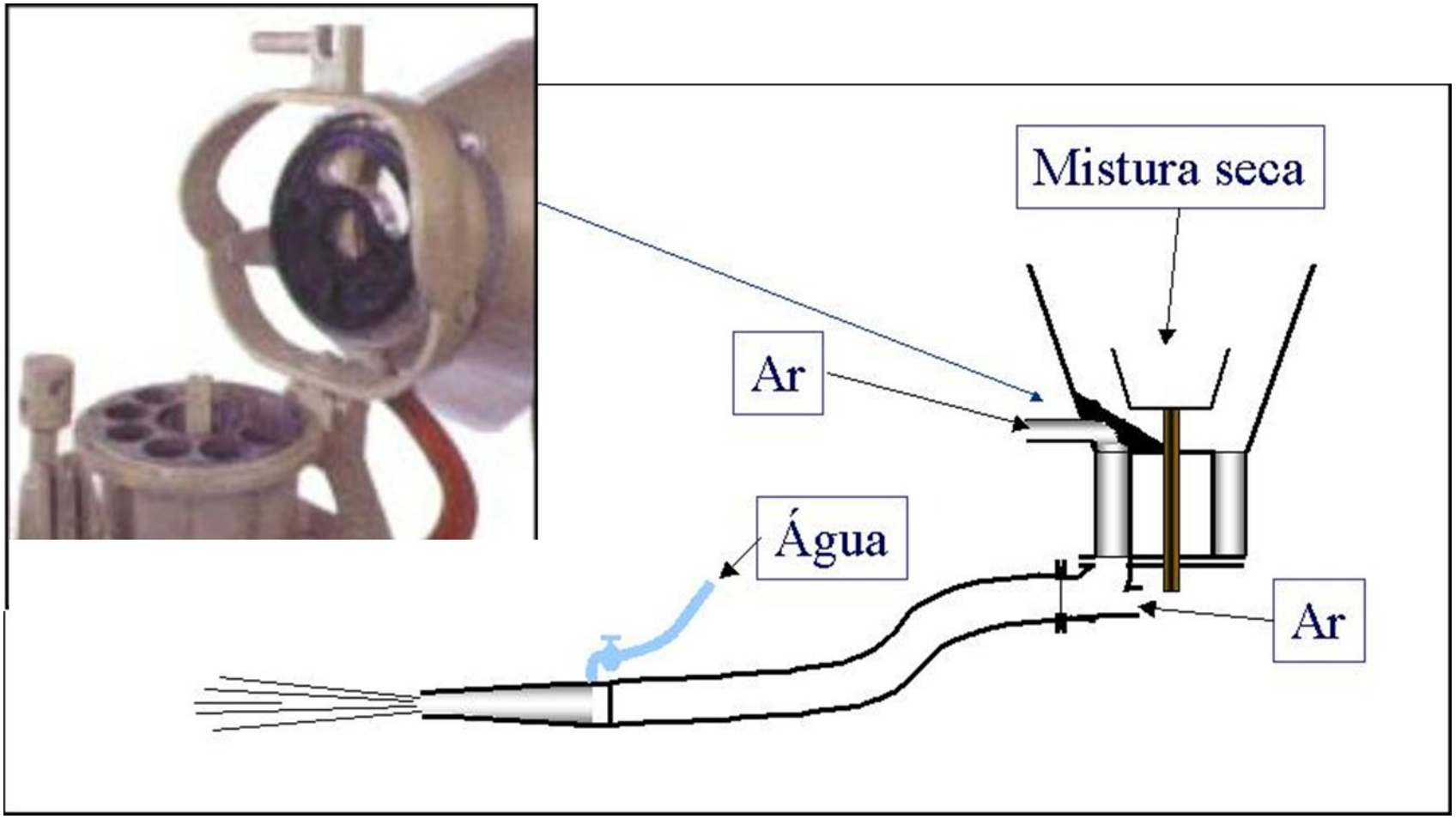
- O concreto projetado é um **processo** que depende do equipamento.
- A decisão sobre que equipamento a utilizar depende:
  - Condicionantes de **projeto**.
  - Condicionantes de **execução**.
  - Condicionantes do **custo global**.
- O custo do equipamento **não é o fundamental**.

Máquinas de projeção

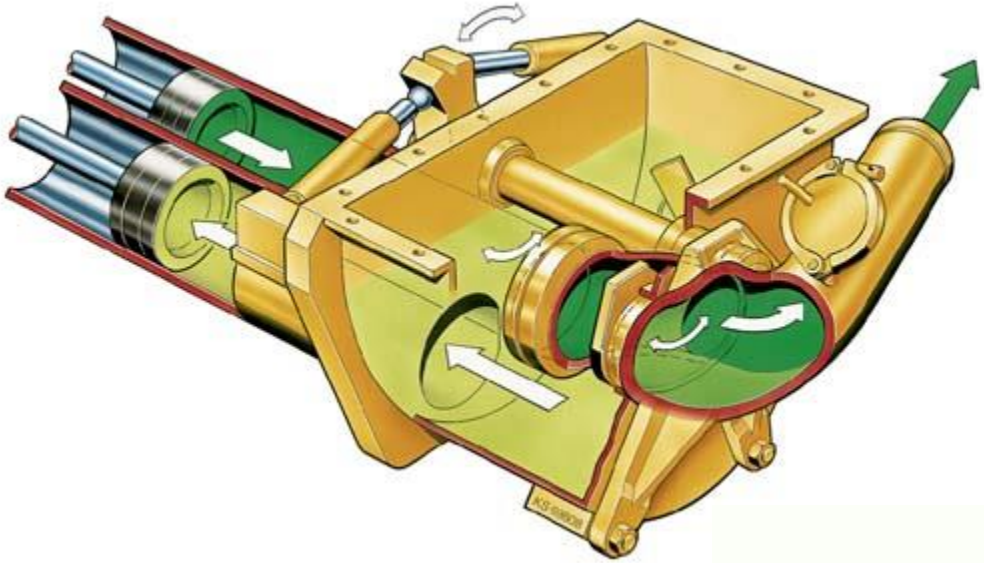
Via seca

Via úmida

Máquinas de projeção via seca e via úmida mais comum

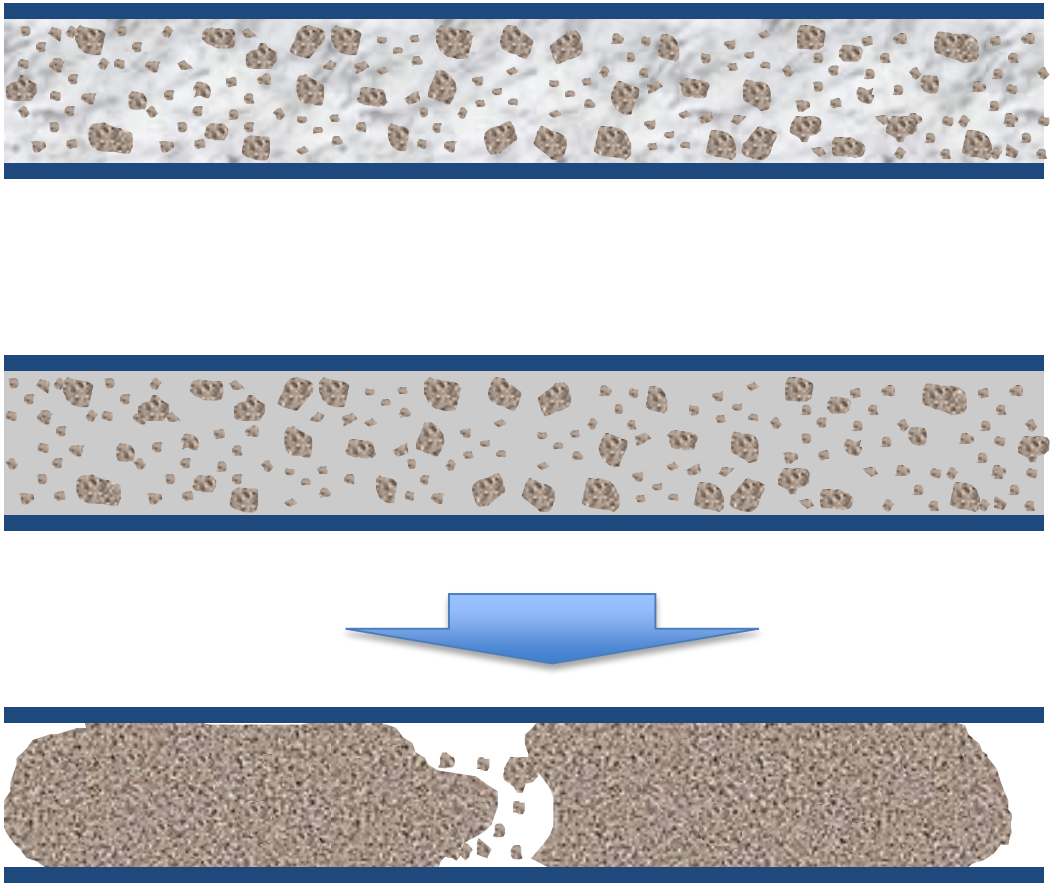


Concreto Projetado Via Úmida



http://www.putzmeister.es/

Tipos de fluxo no mangote



aerado

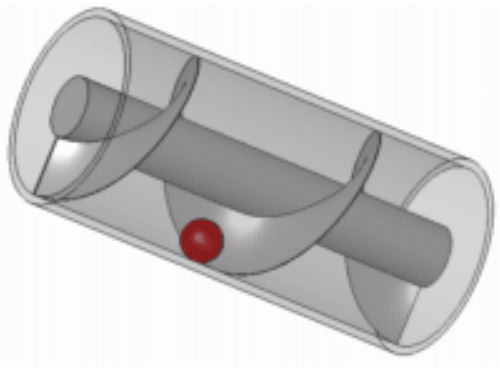
denso

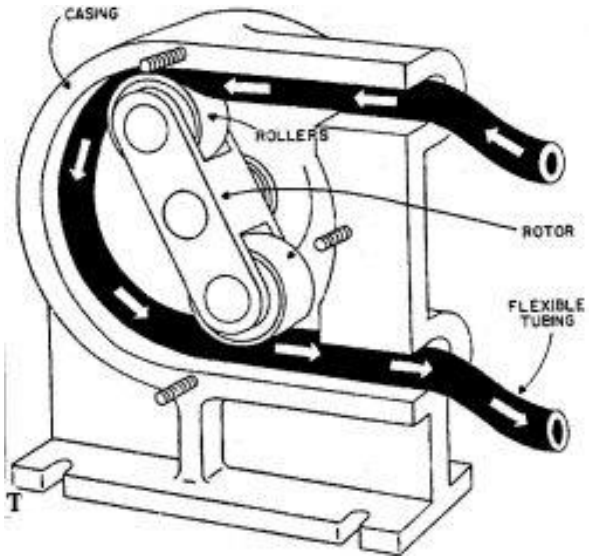
descontínuo

Outros equipamentos para projeção

- Dosadores de aditivos
- Grande importância no processo
- A qualidade final do produto depende do equipamento bem ajustado
- São bombas de fluxo contínuo acopladas a bombas de concreto de fluxo descontínuo

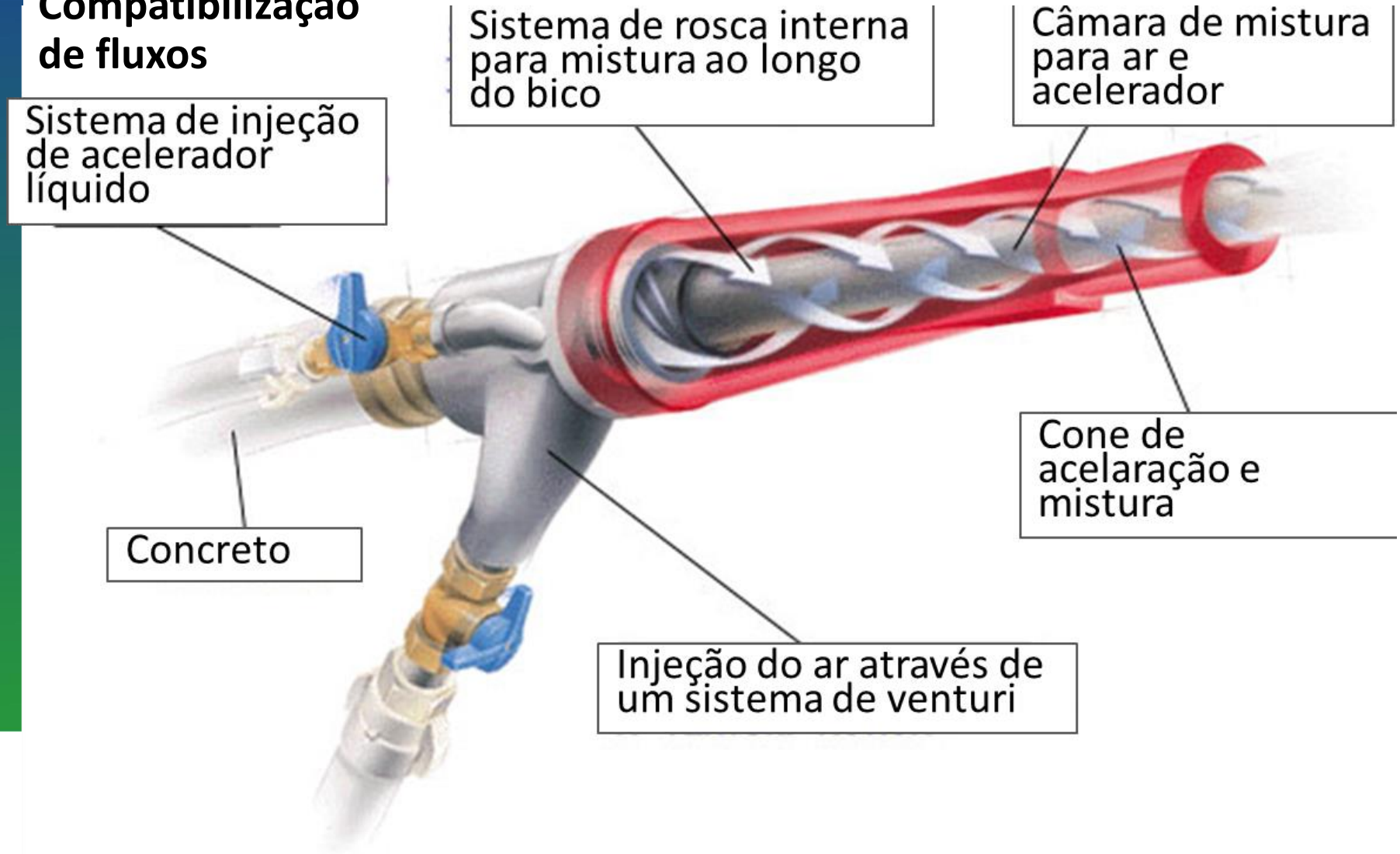
MEYCO Mix





Outros equipamentos para projeção

Compatibilização de fluxos



Concreto Projetado Via Úmida

Outros equipamentos para projeção

Fundamental: garantia da maior continuidade do fluxo possível

Perguntas fundamentais:

- O equipamento de projeção afeta o custo global?
- O equipamento de projeção afeta o comportamento do material?

Estudos prévios à obra

- Não é possível prever comportamento ou realizar estudo de dosagem sério do concreto projetado em laboratório
- O máximo que é possível é realizar estimativas.
- Valores precisos e qualificação de pessoal devem ser obtidos em estudos prévios ao início de qualquer obra.
- Volumes pequenos: perdas pequenas (talvez aceitáveis)
- Volumes grandes: perdas grandes (sempre inaceitável)

Qualificação do concreto projetado

O material

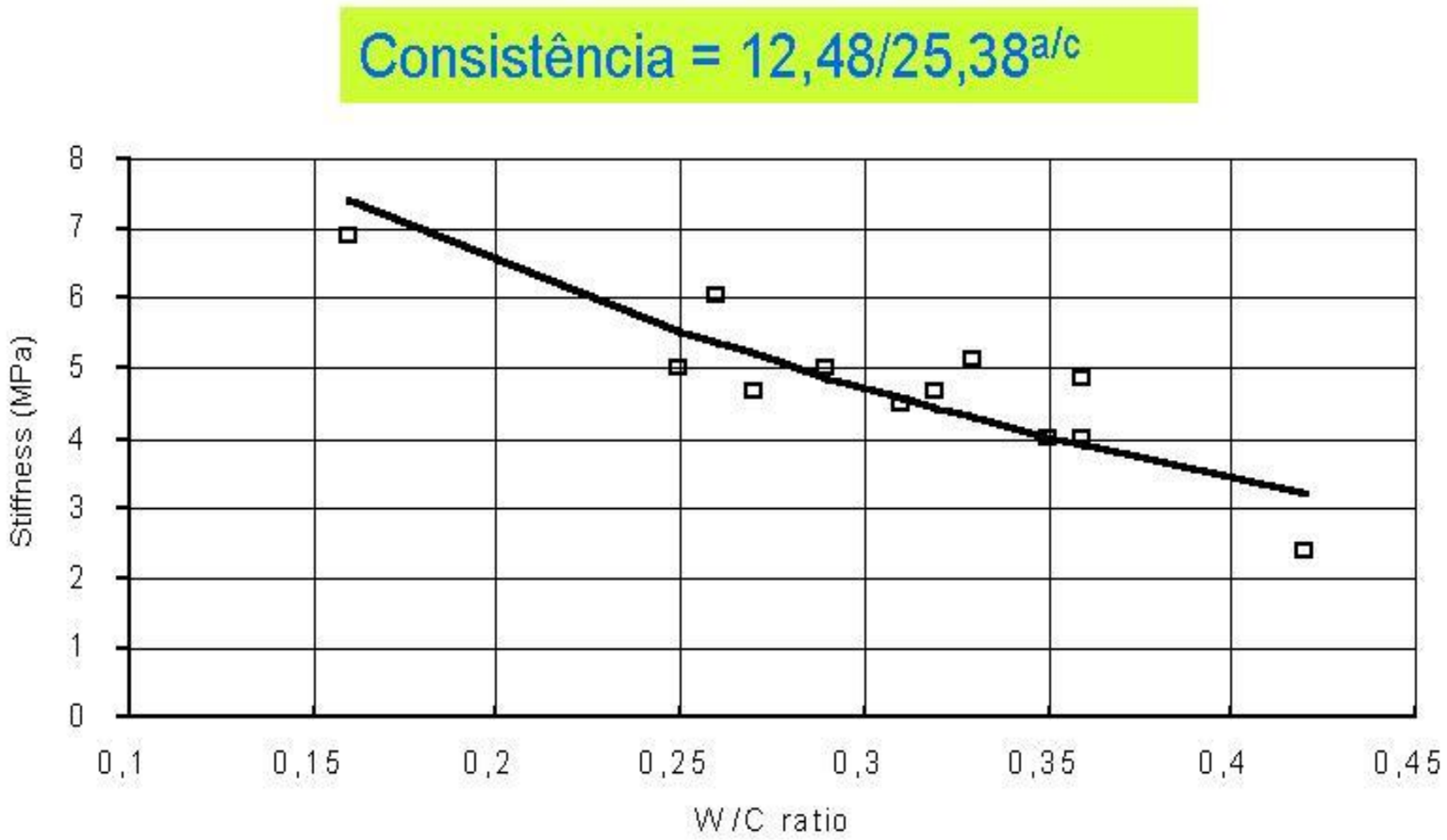
Concreto projetado ≠ concreto convencional

Diferenças	Convencional	Projetado
Dosagem	Vários métodos	Poucos propostos e ainda em desenvolvimento
Traço	Definido	Variável
Transporte Lançamento Adensamento	Operações isoladas	Operações simultâneas
Exsudação	Frequente	Inexistente
Cura	Fôrma	Ocorre?

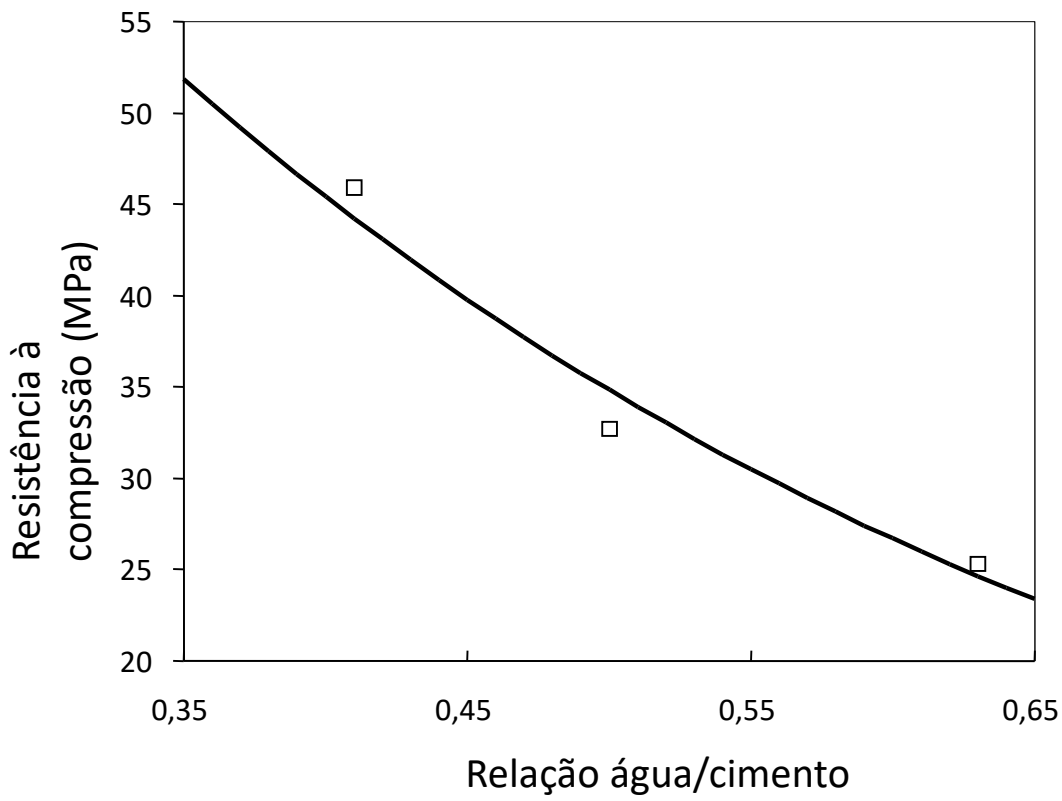
Consistência

- A consistência do concreto projetado aplicado por via seca é determinada pela agulha de Proctor (resistência à penetração).
- Medida indireta da trabalhabilidade:
  - ✓ Concreto muito seco ↦grande perda por reflexão
  - ✓ Concreto muito úmido ↦escorrimentos e desplacamentos
- É função da relação água/cimento.

O índice de consistência guarda uma relação exponencial com a relação a/c (POWERS, 1968)



Lei de Abrams do concreto convencional

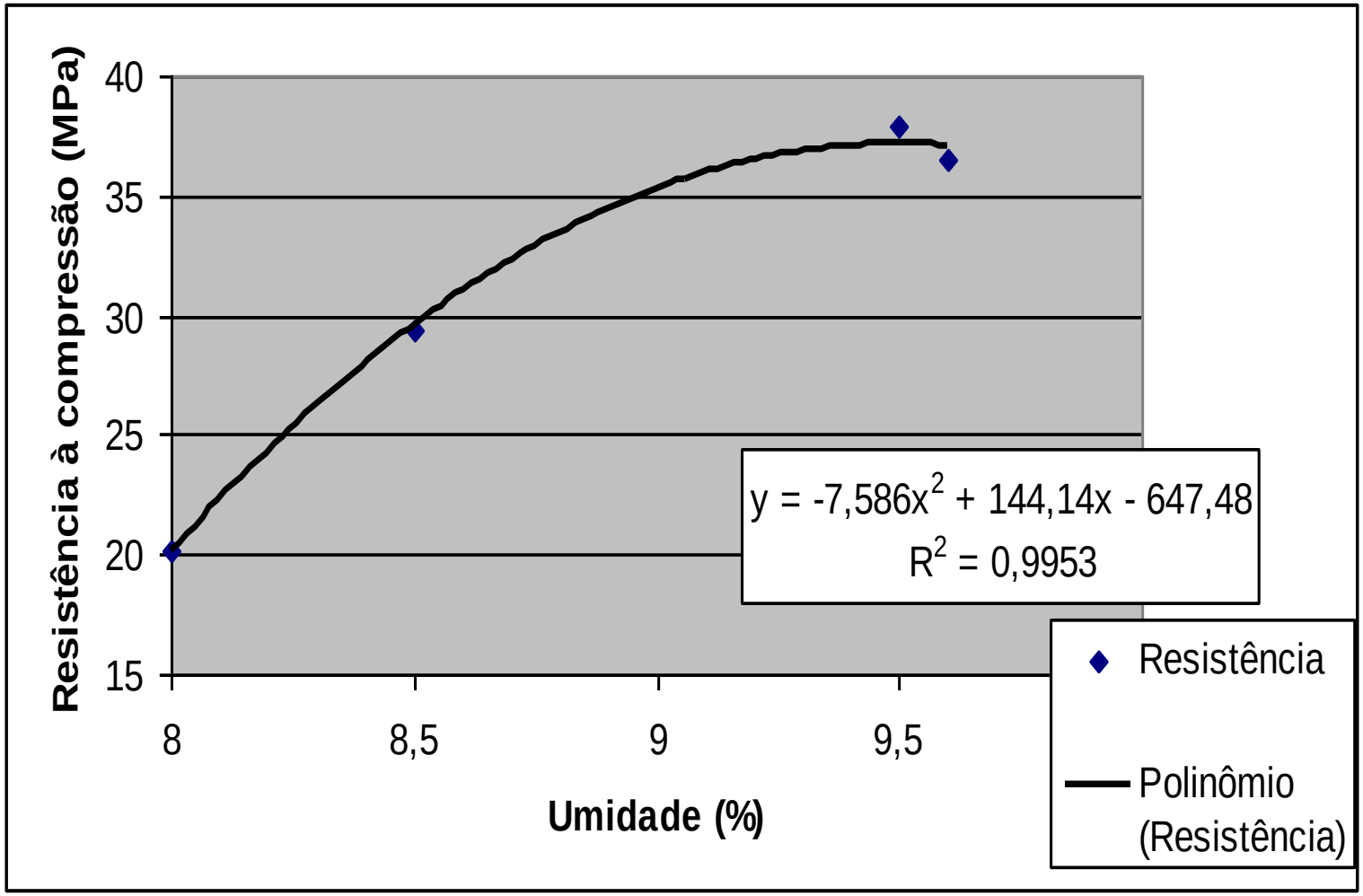


$$f_{cj} = \frac{k_1}{k_2^{\,a/c}}$$

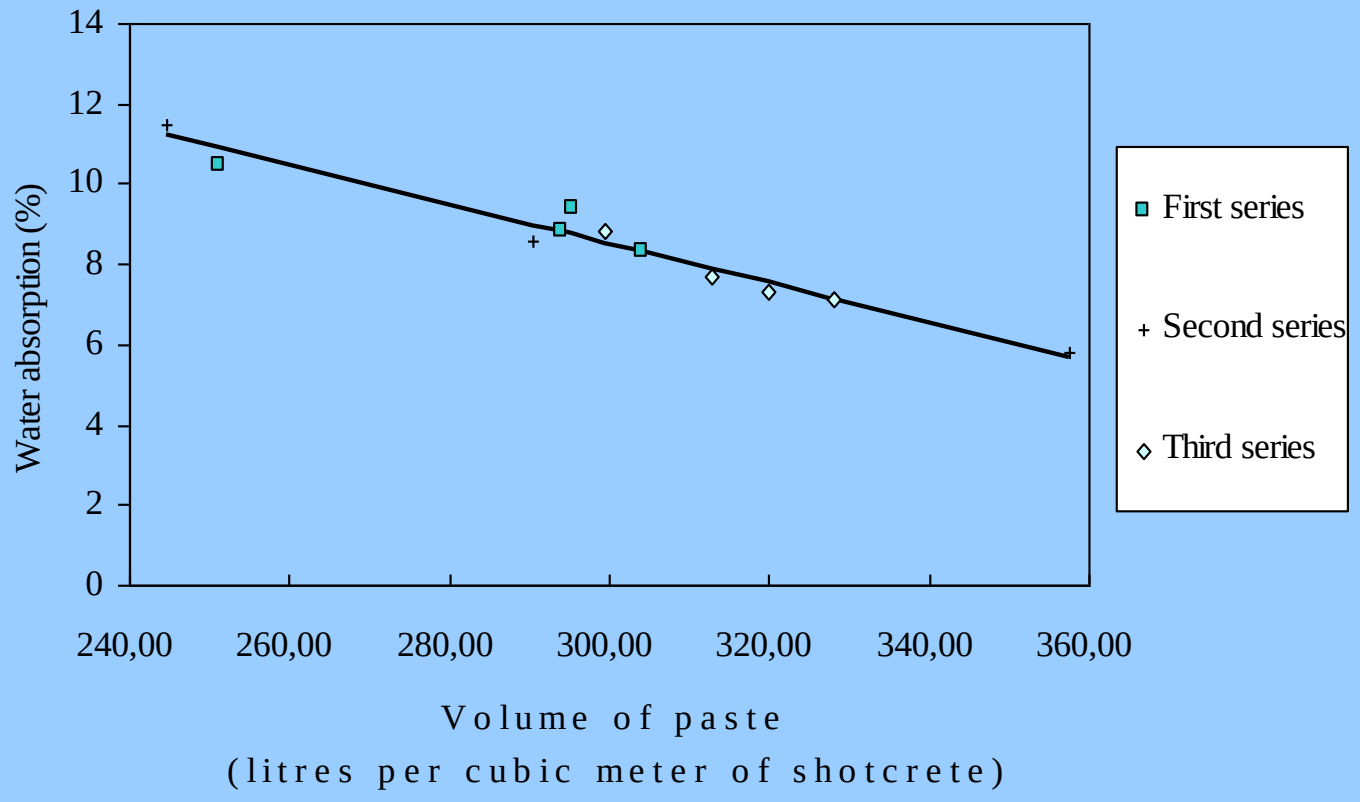
Experimental result

Regression

“Lei de Abrams” do concreto projetado via seca: comportamento distinto



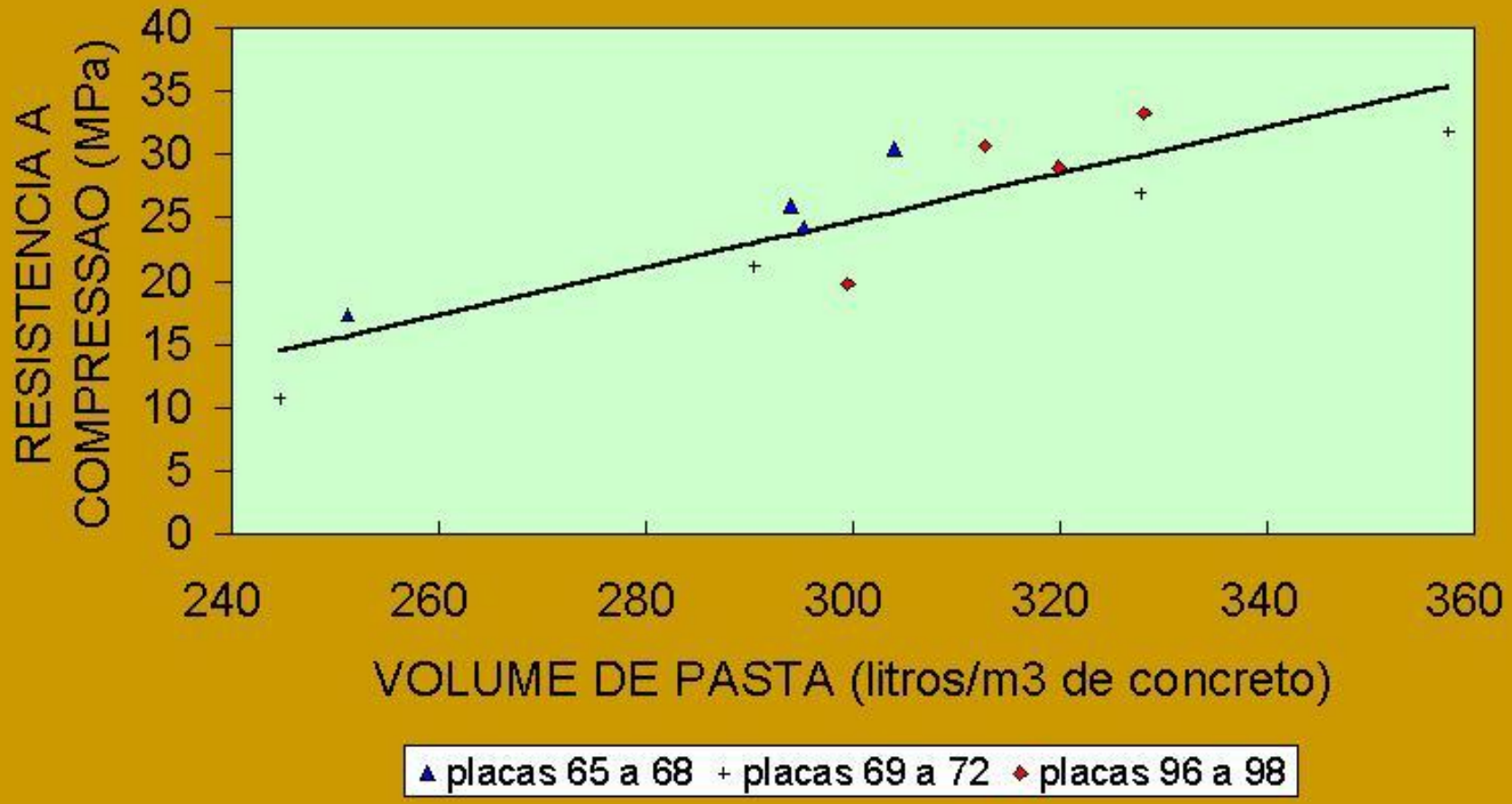
A absorção (compactação) é função do volume de pasta incorporado ao concreto



$Ab = 23,2 - 0,05 * V_p$ com $r^2 = 0,964$

Resistência à compressão é função da compactação e, desta forma, do volume de pasta

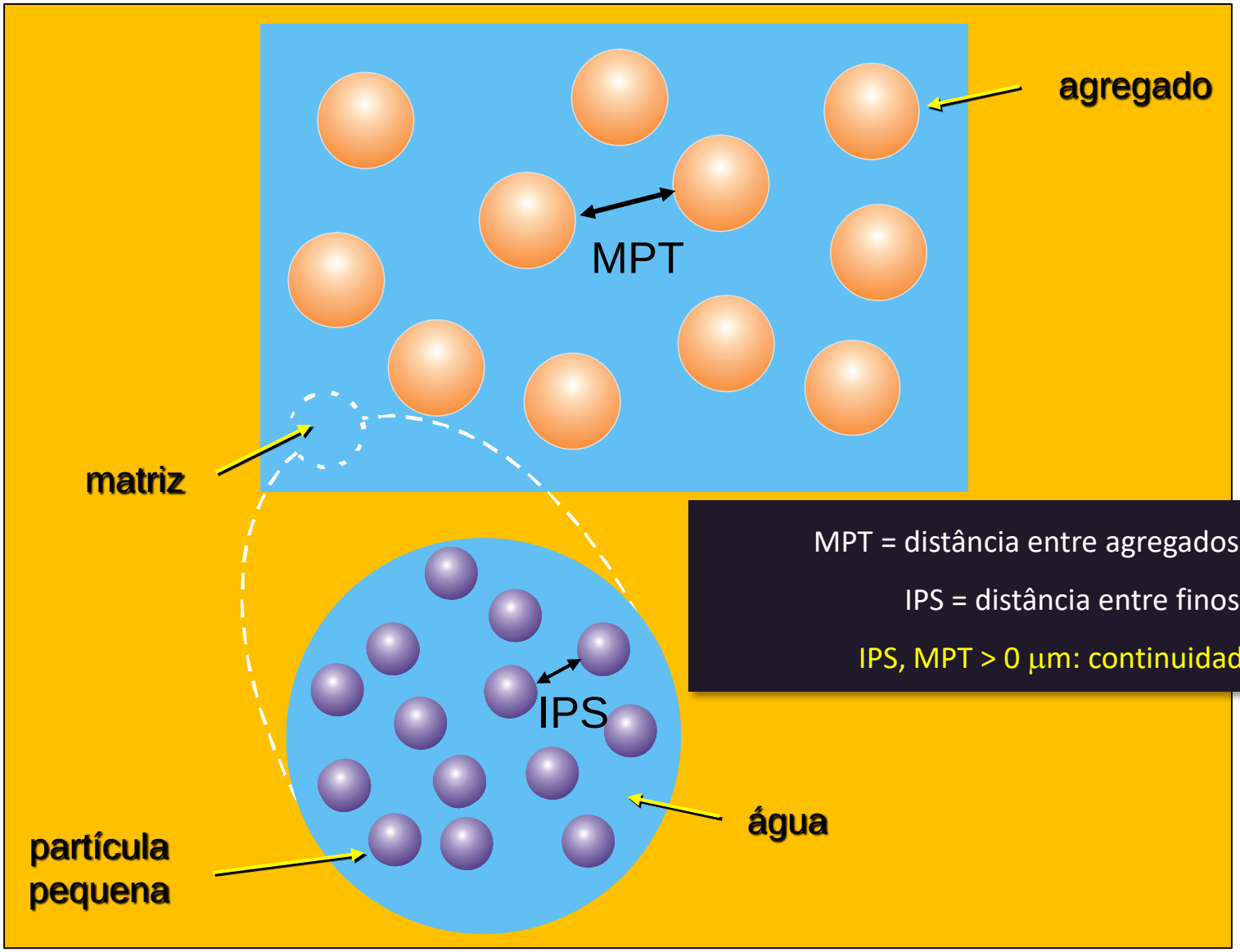
$f_{c28} = 0{,}187Vp - 31{,}25$ com $r^2 = 0{,}760$



As relações de dosagem são volumétricas

- Normalmente fazemos dosagem em massa
- O comportamento é dado por volumes relativos:
  - Volume das fases
- Teor de água
  - É o principal lubrificante do sistema
- Aditivos
  - Alteram todo o comportamento reológico
- Granulometria e textura dos materiais particulados
- Técnica de mistura, bombeamento e jateamento

Modelo conceitual dos Concretos

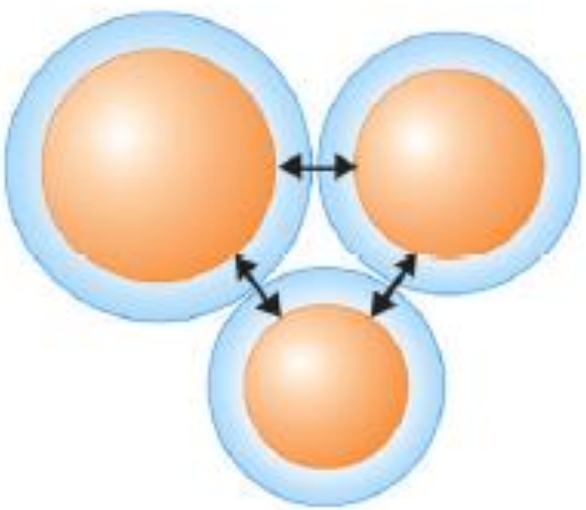


MPT = distância entre agregados > 100 μm

IPS = distância entre finos < 100 μm

IPS, MPT > 0 μm: continuidade espacial

Distância de separação entre partículas



$$IPS = \frac{2}{VSA} \times \left[\frac{1}{V_s} - \left(\frac{1}{1 - P_{of}} \right) \right]$$

Aplicável para a matriz (cimento, filer, água)

$$MPT = \frac{2}{VSA_g} \times \left[\frac{1}{V_{sg}} - \left(\frac{1}{1 - P_{of_g}} \right) \right]$$

Aplicável para os agregados (areia e brita)

VSA – área superficial volumétrica (m^2/cm^3) = área superficial (m^2/g) x densidade (g/cm^3)
Vs – fração volumétrica dos sólidos
P_{of} – fração de poros no sistema, quando as partículas estão empacotadas

Condição para continuidade espacial

$V_{água} + V_{ar}$ > Vol. entre grãos de cimento e fíleres

(dificilmente é um problema)

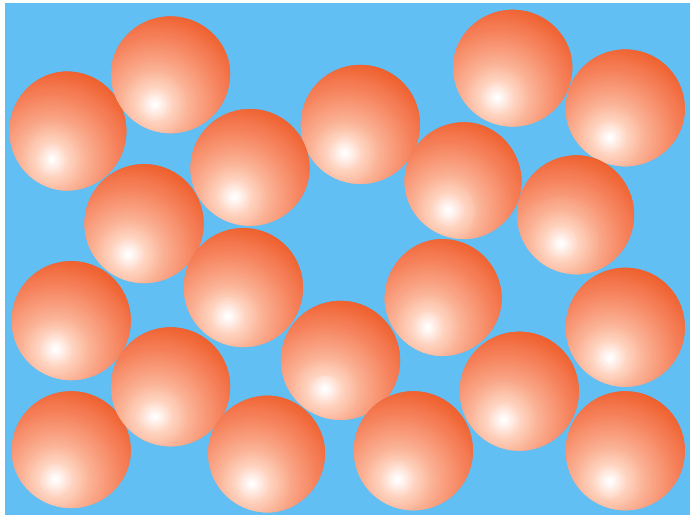
V_{pasta} > Volume entre grãos de areia

$V_{pasta} = V_{cimento} + V_{água} + V_{ar}$

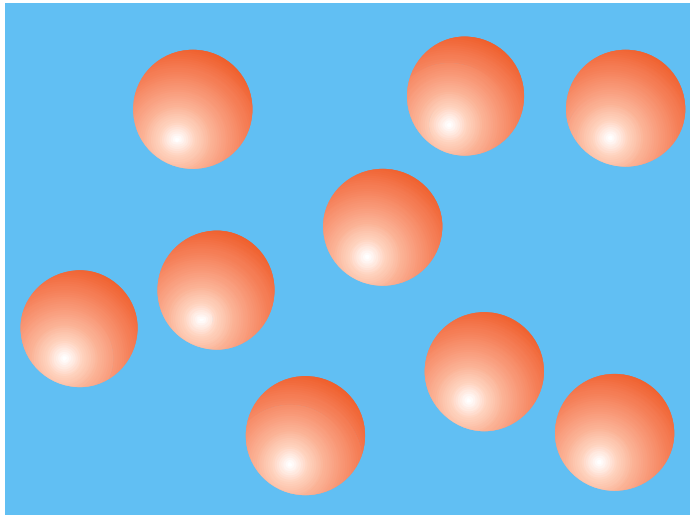
$V_{argamassa}$ >> Volume entre grãos de ag. graúdo

$V_{argamassa} = V_{pasta} + V_{areia}$

Teor de água controla mobilidade



↓ Água
Mobilidade reduzida
Reflexão alta

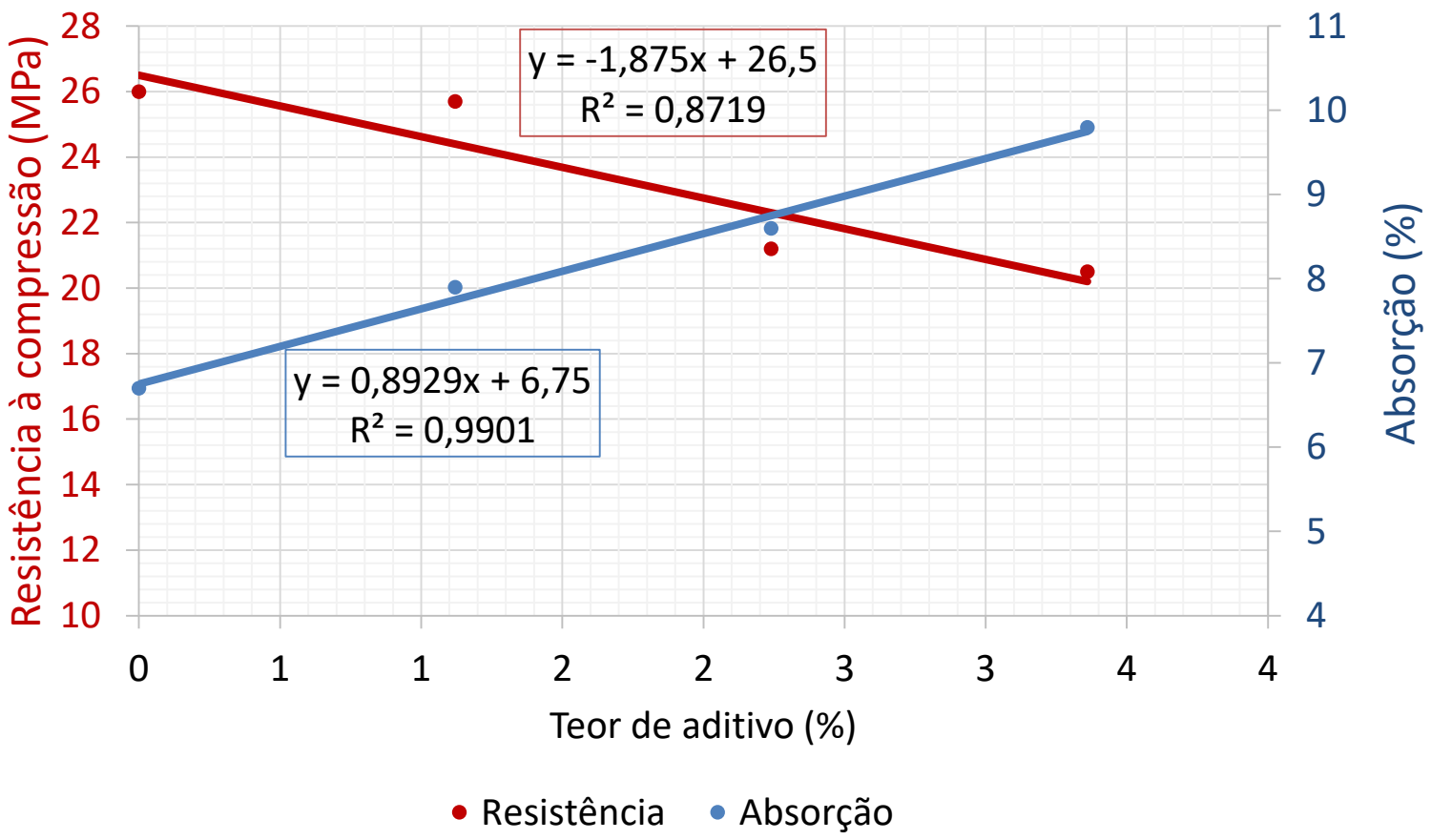


↑ Água
Mobilidade facilitada
Reflexão baixa

Aditivos aceleradores

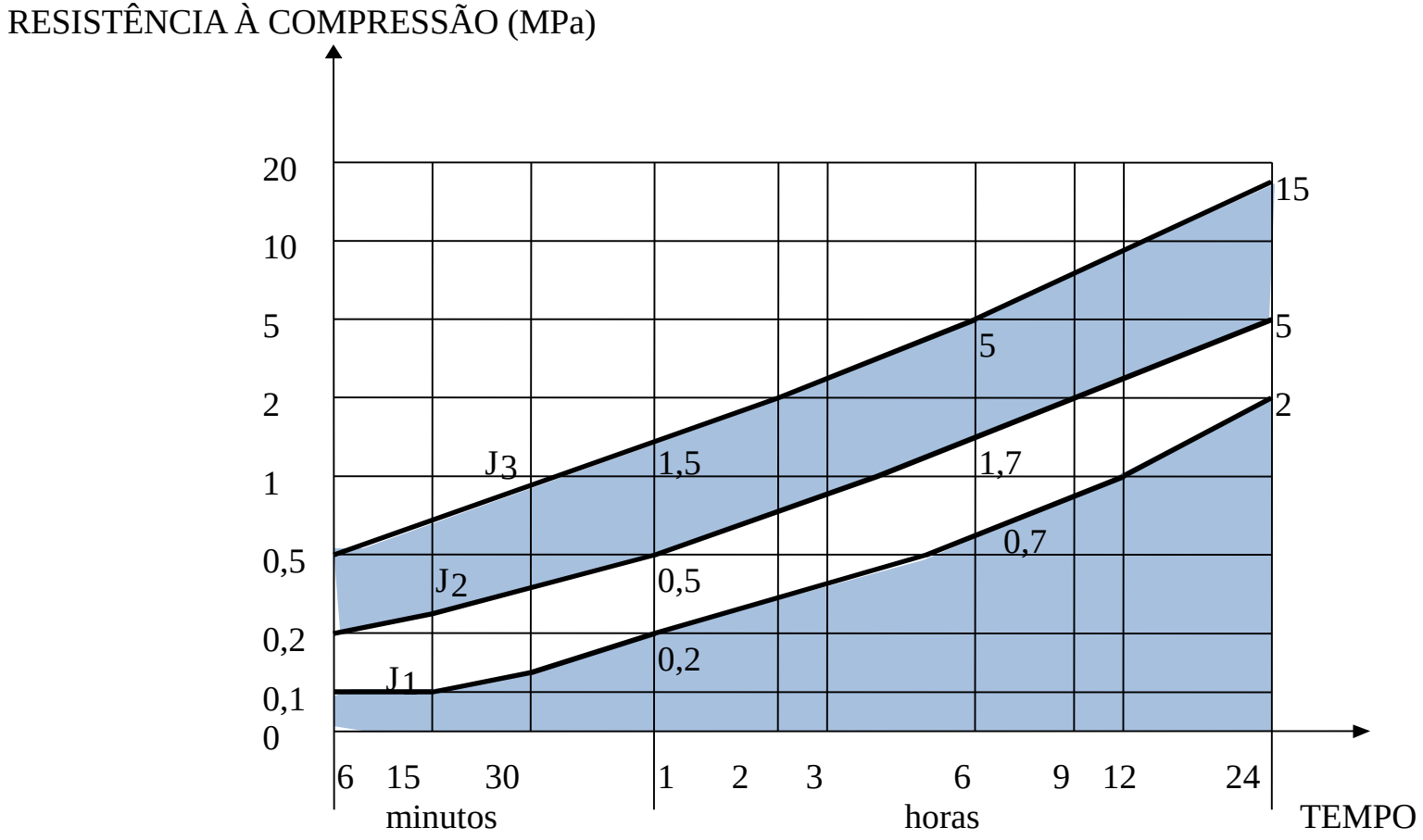
- Para via seca são dispensáveis do ponto de vista de aplicabilidade (o sistema pode trabalhar por coesão)
- Para via úmida são necessários para aplicabilidade.
- Para o revestimento primário de túneis são fundamentais para garantir resistência inicial adequada para estabilização da frente de escavação.

Efeito dos aditivos aceleradores de pega

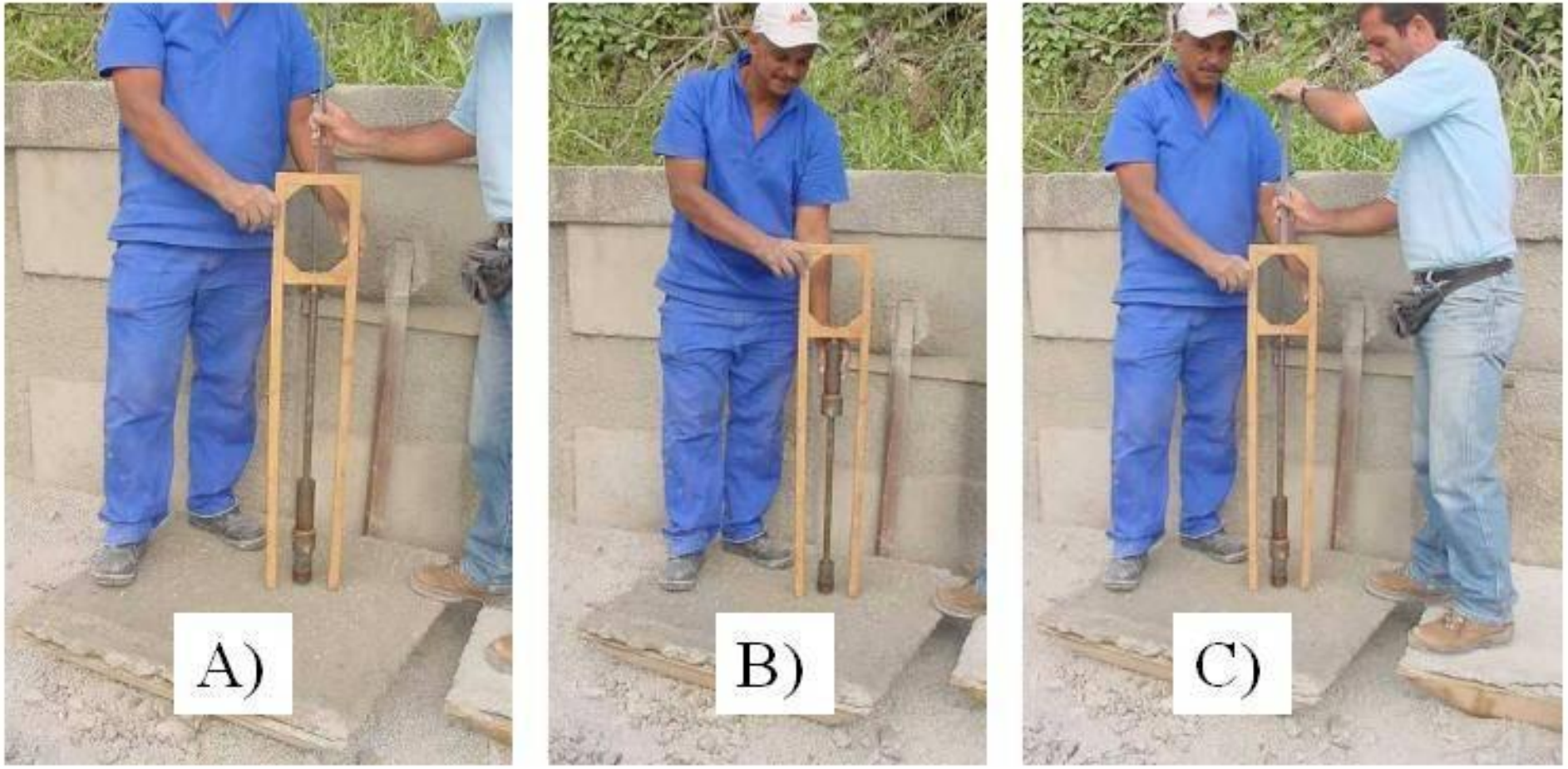


(FIGUEIREDO, 1997)

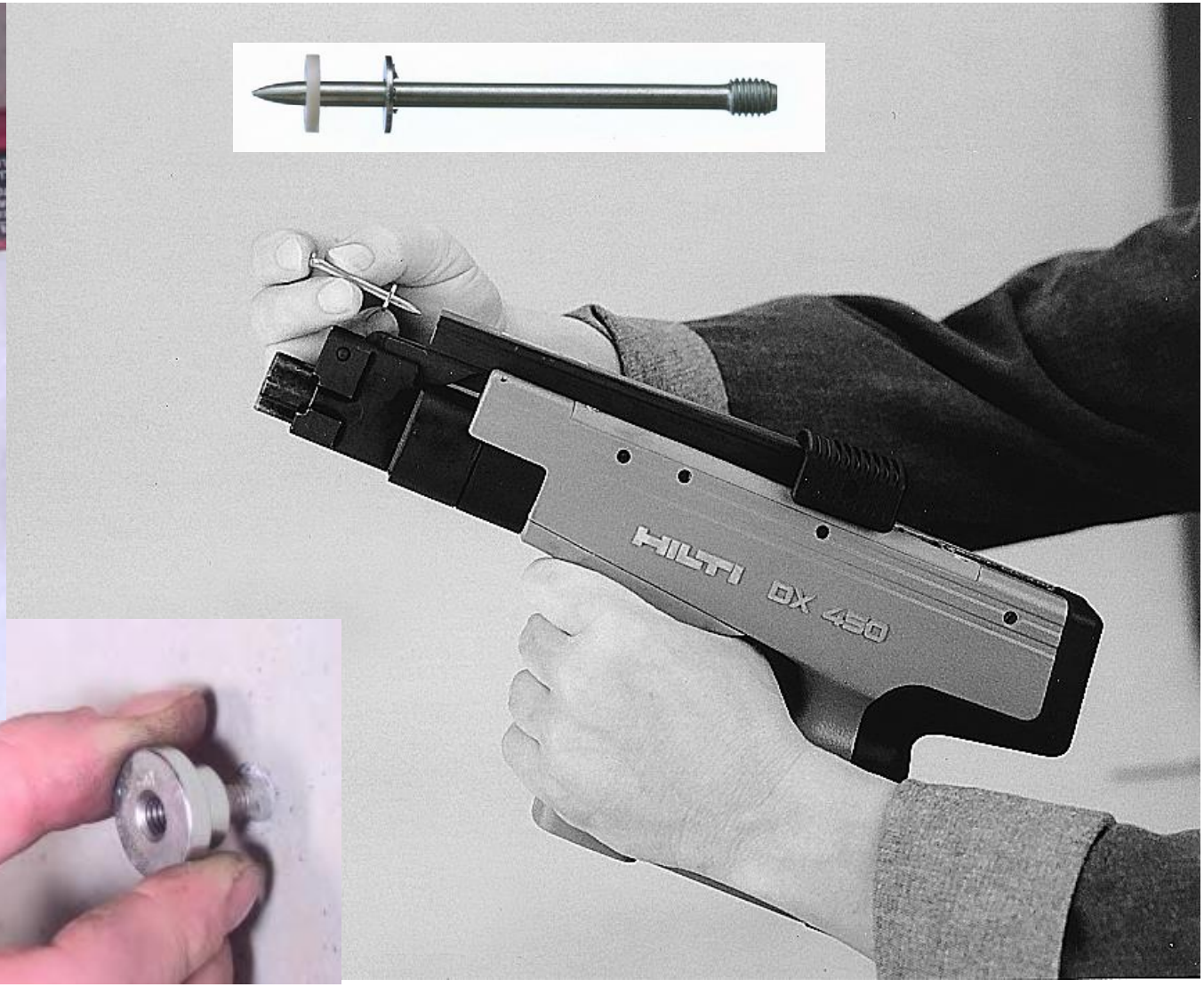
Requisitos de desempenho à baixa idade
Austrian Concrete Society (1990)



Determinação da evolução de resistência inicial



Determinação da evolução de resistência inicial



Classes de resistência
Austrian Concrete Society (1990)

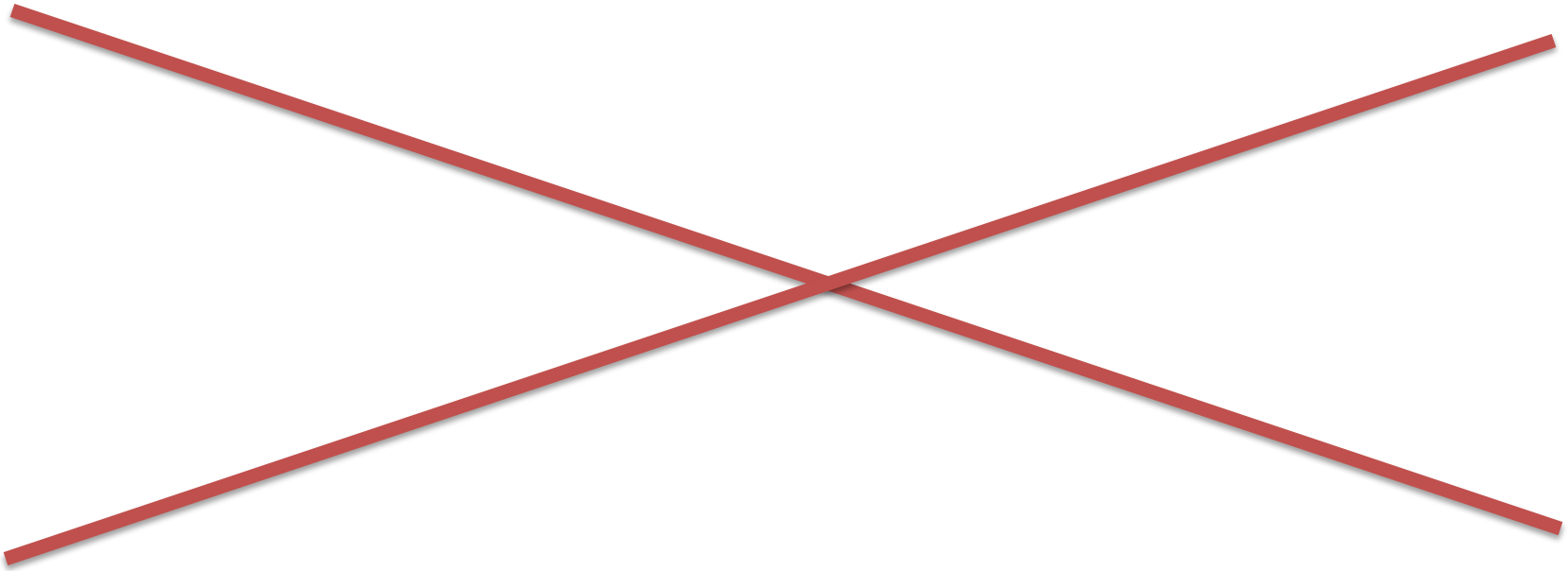
Classe	fc média mínima (MPa)	**Observações**
SC 12 SC 16	12 16	J1, J2 ou J3
SC 19	19	Com requisitos J1 ou J2 (28 dias)
SC 22	22	Com requisitos J1 ou J2 (28 dias)
SC 25 SC 28	25 28	Com requisitos J1 ou J2 (91 dias)
SC 30 SC 40	30 40	Sem exigências para baixas idades

Aditivos aceleradores

- Os aditivos podem ser de dois tipos básicos:
  - Alcalinos e
  - Não alcalinos
- Cada tipo exige estudo prévio de dosagem pois depende da **compatibilidade com o cimento**.
- Em caso de ambiente agressivo (sulfatos) os aditivos alcalinos não podem ser aplicados.
- É fundamental caracterizar e ter um procedimento de qualificação do produto, pois dele depende a estabilidade da frente de excavação.

Dosagem do concreto projetado

- É possível estabelecer um traço sem conhecer: materiais, equipamentos e mão de obra?



Comentários finais

- Não é possível analisar concreto projetado desvinculado do processo.
- Estudos experimentais são mais difíceis porque dependem de equipamentos específicos, mão de obra, maiores volumes de materiais, etc.
- Dificuldade não é impossibilidade.
- O estudo não é irrelevante.

Não se esqueçam de qualificar o mangoteiro (ABNT NBR 13597:2012)!

Obrigado pela atenção!