



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

**2º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO
EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO. SÃO CARLOS, 03/04 NOV 2009**



Concreto Auto-adensável de Alta Resistência, com Baixo Consumo de Cimento Portland, para Elementos Pré-moldados

AUTORES:

TOBIAS AZEVEDO DA COSTA PEREIRA

PROF. DR. JEFFERSON B. L. LIBÓRIO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS



LABORATÓRIO DE MATERIAIS AVANÇADOS À BASE DE CIMENTO LMABC



CONCRETO PARA ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS

Material – Características de interesses

Propriedades mecânicas

- Resistência à compressão
- Módulo de elasticidade

Durabilidade

- Permeabilidade
- Resistência ao fogo
- Resistência à abrasão

Concreto

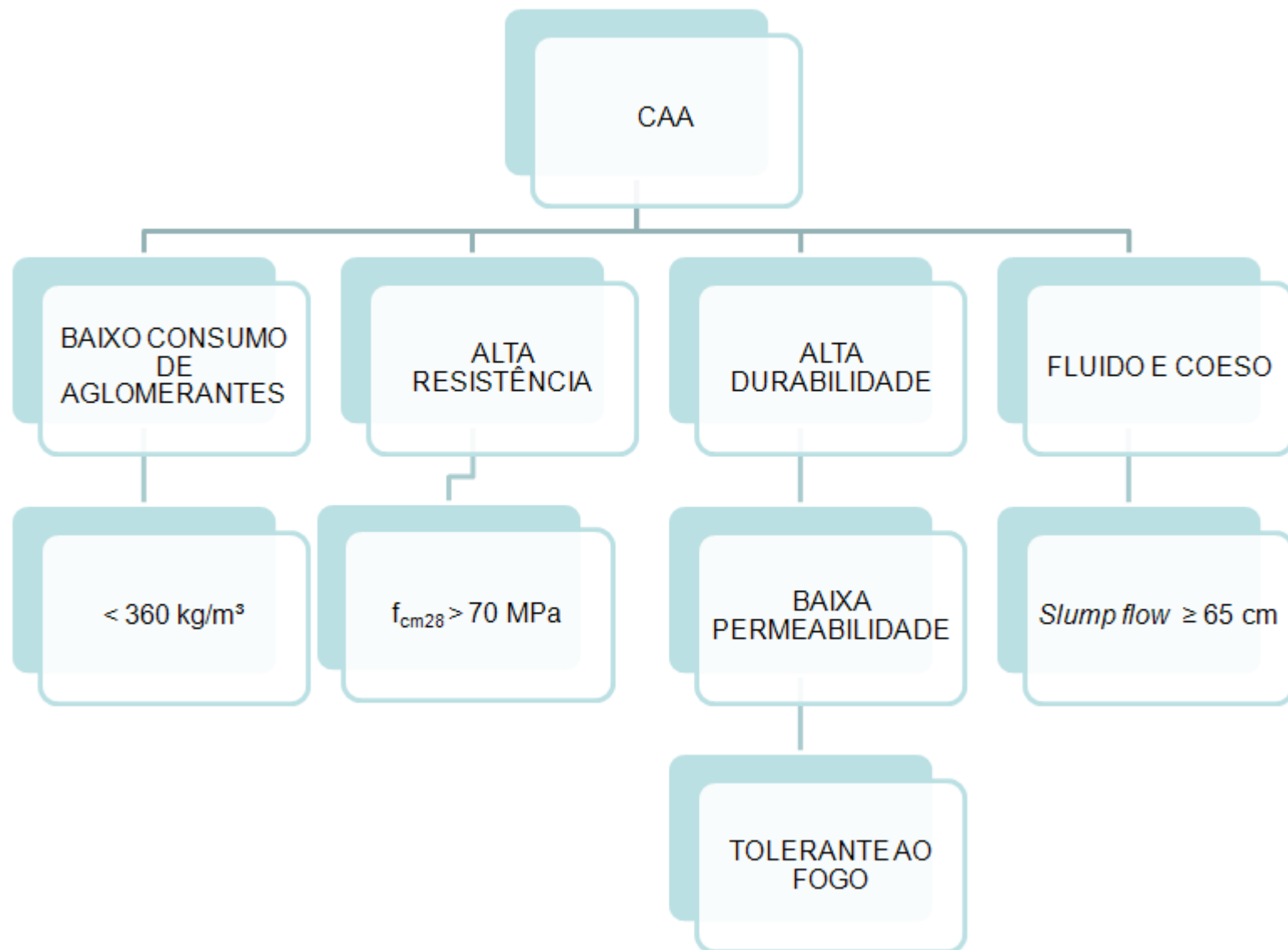
Custo

Consumo energético



CONCRETO PESQUISADO

Objetivos



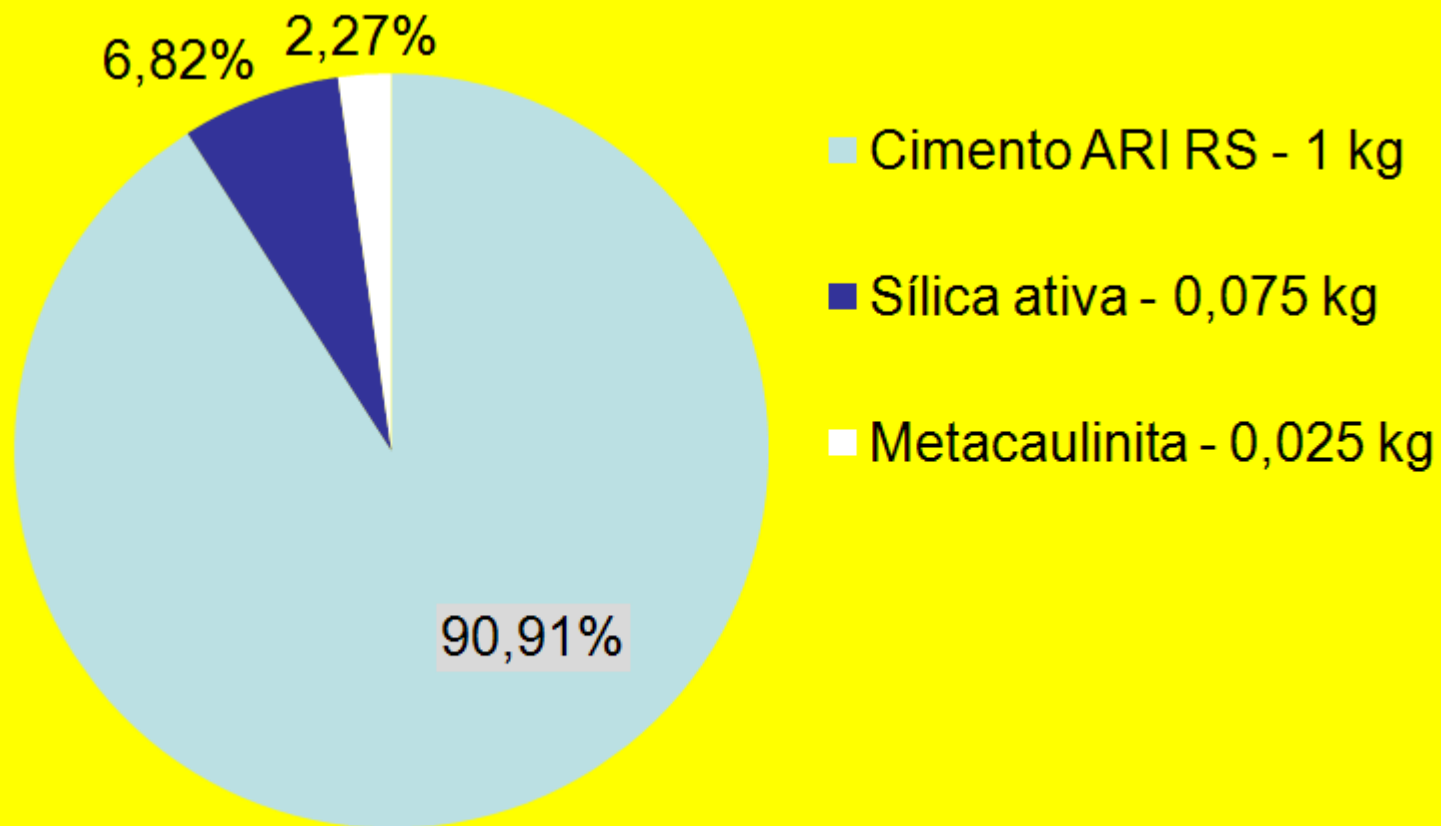


- Empacotamento de partículas
 - Agregados
 - Aglomerantes
- Substituição do cimento Portland por outros materiais finos
- Uso intensivo de aditivos superplastificantes



DOSAGEM

Escolha do sistema cimentício





DOSAGEM

Escolha e teor do aditivo superplastificante

- **Ensaio de Kantro**

- Pasta – aglomerantes+água ($a/c=0,35$)

- Saturação

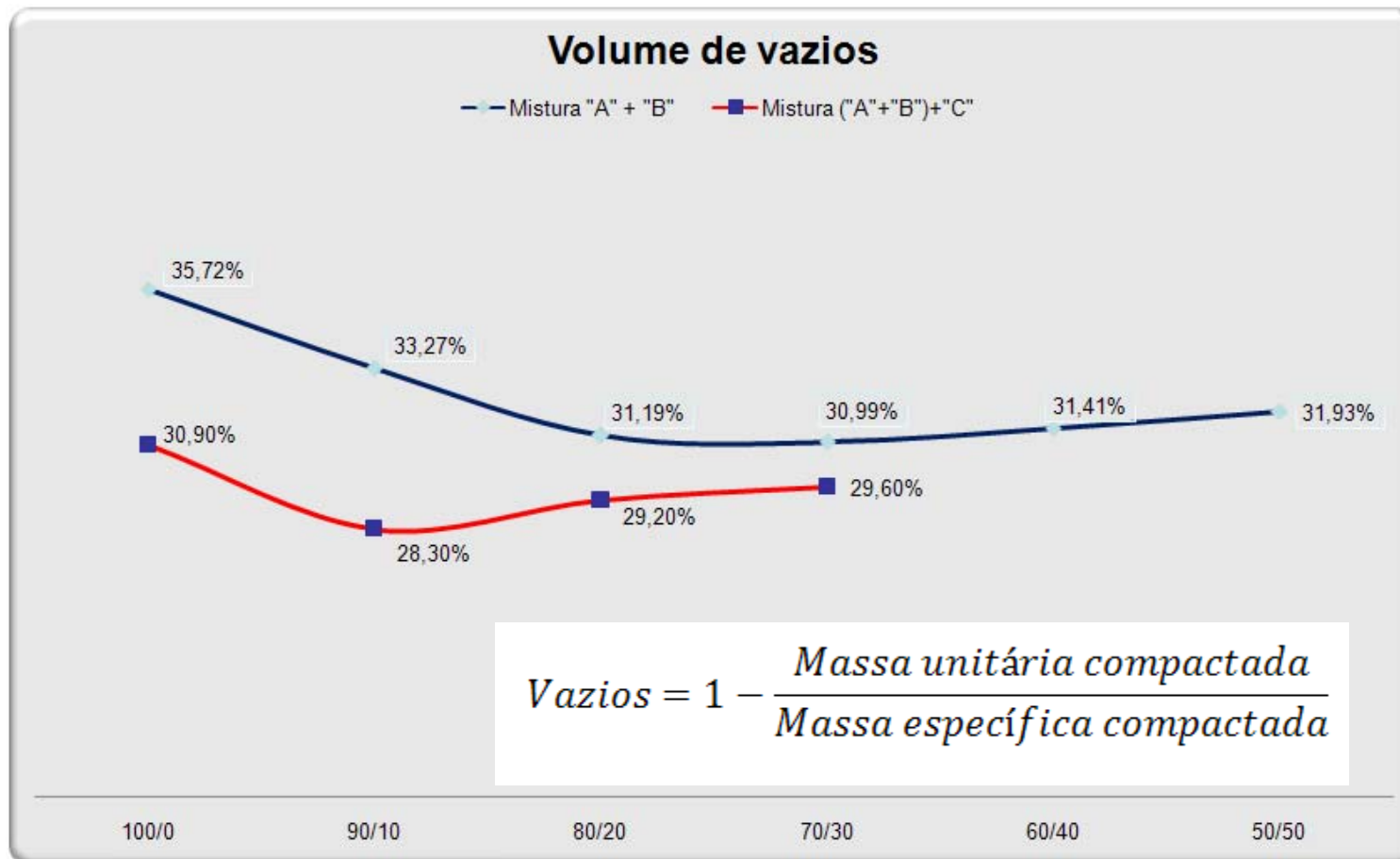
- **Retardamento do tempo de pega!!!**

- 1,7%(água+sólidos) da massa do cimento



DOSAGEM

Empacotamento das areias



- Areia média = 75,5%; areia fina = 17%; fíler inerte = 7,5%



DOSAGEM

Argamassa auto-adensável

•m (IPT/EP

•O que j

•Aglo

•sp/c

•m

•Com

•O que f

•a/c



inerte



DOSAGEM

Concreto

- **Composição britas**

- 60% brita 19 mm + 40% pedrisco 4,8 mm

- **Fibras**

- Poliamida – 21 mm
- Aparas de lã-de-rocha

- **Qual o teor do agregado graúdo e fibras?**

- Ensaio concreto fresco



COMPOSIÇÃO DOS CONCRETOS

Dosagem para 1 m³

Material	C1	C2	C3
AGLOMERANTES – 359,45 kg/m³			
Cimento ARI RS (kg)	326,77	325,20	325,08
CLÍNQUER – 228,74 kg/m³	175,84	174,99	174,92
Água (l)			
ESCÓRIA – 98,03 kg/m³	1.045,67	1.040,63	1.040,24
Areia (kg)			
Brita (kg)	861,2	857,05	856,73
SÍLICA ATIVA – 24,51 kg/m³	32,68	32,52	32,51
Pozolana (kg)			
Superplastificante (kg) *	5,56	5,53	5,53
METACAULINITA – 8,17 kg/m³			
Fibras de poliamida – (g)	—	344,01	—
Fibras de lã-de-rocha (g)	—	—	1.075,11

*Corresponde à massa do aditivo na forma líquida, composto de 70% de água e 30% de sólidos

C1 – SEM FIBRA

C2 – POLIAMIDA

C3 – LÃ DE ROCHA.



CONCRETO FRESCO

Ensaio de caracterização





CONCRETO FRESCO

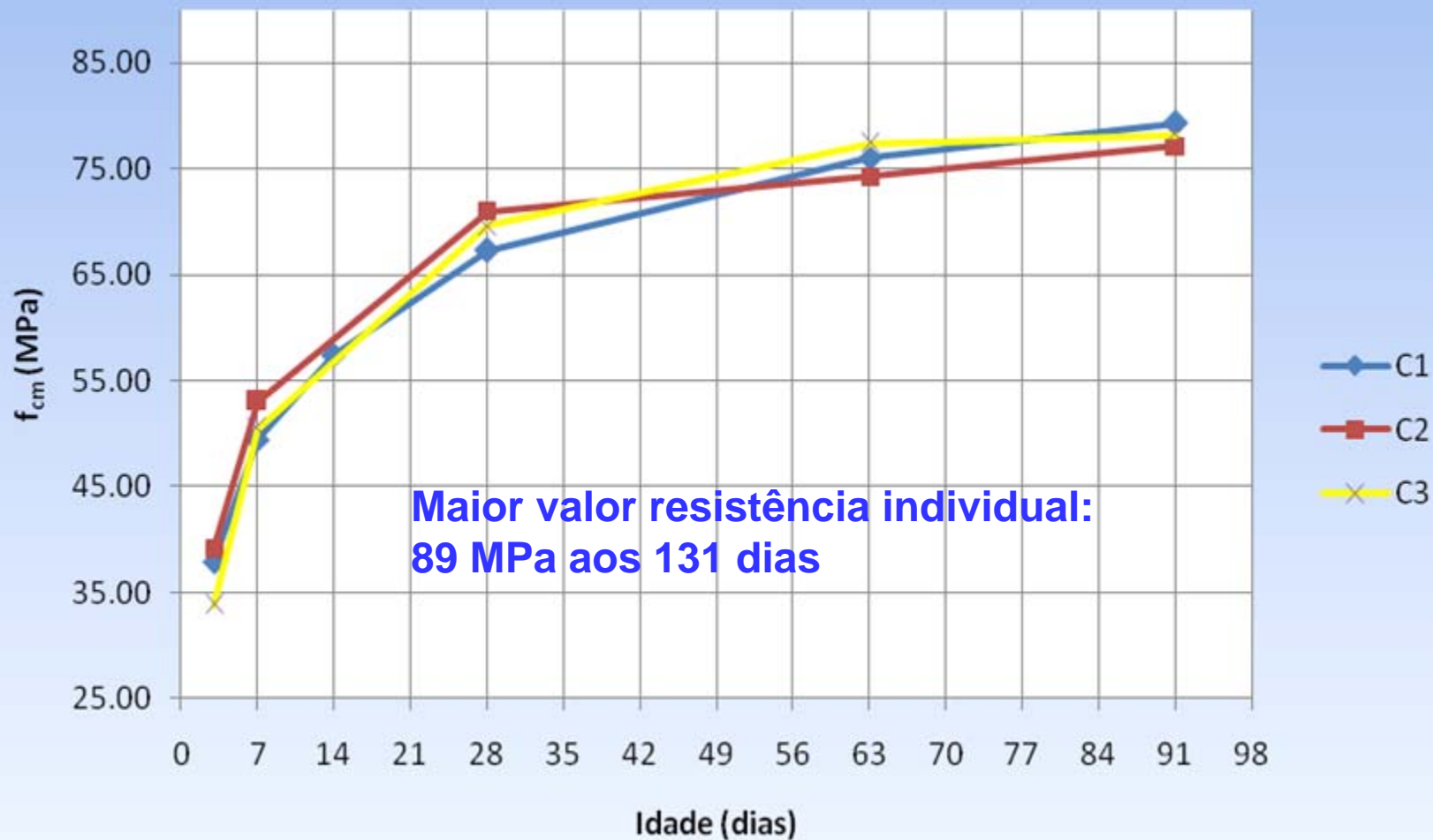
Ensaio de caracterização

Propriedade	Limites	C1	C2	C3
Massa específica (kg/m³) NBR 9833/1987	—	2.447,71	2.436,26	2.436,09
Teor de ar aprisionado (%) NBR 9833/1987	< 2%	0,31	0,76	0,79
Slump-flow, d_f (cm) ASTM C 1611/C 1611M – 05	$60 \leq d_f \leq 80$	74,5	65,0	70,0
Slump-flow, T₅₀ (s) ASTM C 1611/C 1611M – 05	$2 \leq T_{50} \leq 7$	2,5	3,0	3,2
J-Ring-flow, d_{f,j} (cm) ASTM C 1621/C 1621M – 06	$\geq d_f - 3$	71,0	62,5	68,0
Caixa L, h₂/h₁	$\geq 0,80$	0,9	0,85	0,87
Caixa L, t₂₀ (s)	$0,5 \leq t_{20} \leq 1,5$	1,0	1,5	1,5
Caixa L, t₄₀ (s)	$1,5 \leq t_{40} \leq 3$	2,5	3,5	3
Funil V, t_v (s)	$5 \leq t_v \leq 10$	5,5	8	7
Funil V, 5 min (s)	$\leq t_v + 3$	—	9,5	—
Tubo U, RS=P₁/P_i Gomes (2002)	$\geq 0,90$	—	—	0,93
Column Technique ASTM C 1610/C 1610M – 06 ^a , S (%)	≤ 15	12,44	—	11,31



CONCRETO ENDURECIDO

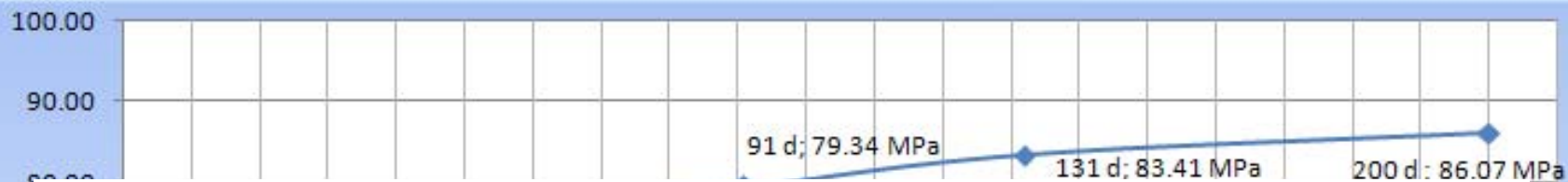
Resistência à compressão – CP $\Phi 10$ cm x h 20 cm





CONCRETO ENDURECIDO

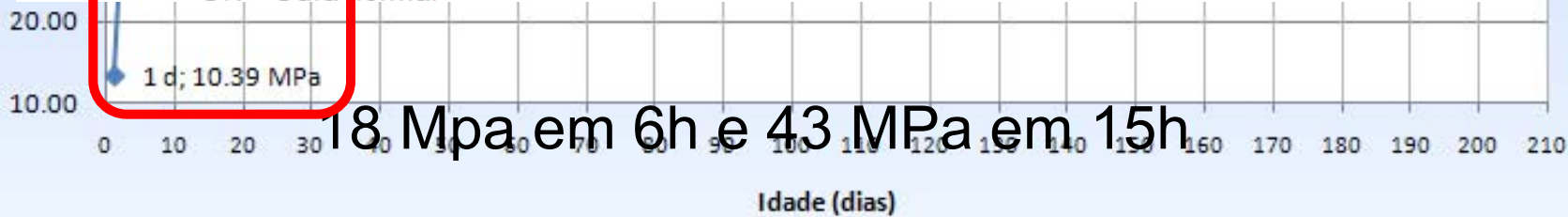
Resistência à compressão – CP $\Phi 10$ cm x h 20 cm



Resistência relativa do concreto para diversas idades e regimes de cura térmica em relação à resistência aos 28 dias do concreto em cura normal. MELO (2000).

$f_{ci}/f_{c28\text{ CN}}^*$	Cura normal	Ciclo curto 3 horas, $t_{\text{máx}} 70^\circ\text{C}$	Ciclo longo 12 horas, $t_{\text{máx}} 61^\circ\text{C}$
$f_{c6h}/f_{c28\text{ CN}}$	—	26,70%	—
$f_{c15h}/f_{c28\text{ CN}}$	—	—	64,81%
$f_{c1}/f_{c28\text{ CN}}$	33,24%	41,03%	—
$f_{c28}/f_{c28\text{ CN}}$	100,00%	93,32%	75,94%

* CN – Cura normal



18 Mpa em 6h e 43 MPa em 15h



CONCRETO ENDURECIDO

Ensaio de caracterização

Propriedade	C1	C2	C3
f_{c28} (MPa)			69,68
E_{c28} (GPa)			40,06
$f_{ct,sp28}$ (MPa)			4,21
$f_{ct}f_{28}$ (MPa)			6,91
Abrasão NBR 9176			1,27
Absorção NBR 9176			—
Índice de absorção NBR 9176			—
Massa específica NBR 9176			—
Absorção aos 90 dias NBR 9176			—
Ascensão capilar NBR 9176			—



CONCRETO ENDURECIDO

Alta temperatura



Propriedade	C2	C3	CÁNOVAS (1988), CCV
	Perda (%)		
f_c a 300°C	7,74	13,20	5,00
E_c a 300°C	19,16	21,47	50,00
f_c a 400°C	8,20	*	12,00
E_c a 400°C	19,47	*	62,00
Perda de massa a 300°C	1,47	2,63	—
Perda de massa a 400°C	3,77	—	—



AGRADECIMENTOS

Auxílios experimentais

EESC/USP

DEMA/UFSCAR

Rodrigo Vieira da Conceição

José Eduardo Rodrigues Sanches Junior

Jorge Luis Rodrigues Brabo

Ana Paula Moreno Trigo