

CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO - CAD

ENG. JORGE LUIZ CHRISTOFOLLI



PETRONAS TWIN TOWERS

Kuala Lumpur
MALÁSIA



- 88 Andares
- fck 80,0 MPa
- 452 metros de Altura



CAD-CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

DEFINIÇÃO - ACI - CARACTERÍSTICAS APÓS ENDURECIMENTO:

- Baixa Permeabilidade;
- Resistência a meios agressivos;
- Resistência a tração;
- Elevado Módulo de Deformação;
- Durabilidade;
- Resistência elevada a Abrasão;
- Deformação lenta reduzida (Fluência);
- Excelente aderência ao substrato;
- Carbonatação Reduzida;
- Elevadas Resistências a compressão iniciais e finais.

CAD-CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

CARACTERÍSTICAS NO ESTADO PLÁSTICO:

- Trabalhabilidade;
- Retração Plástica isenta;
- Exsudação inexistente;
- Ausência de Segregação;
- Elevada coesão (efeito chiclete).

COMPOSIÇÃO:

Cimento (CP V ARI, CP II classe 40)

Adições (Sílica ativa, Escória, Fly ash)

Gelo

Pigmentos

Areias Isentas de impurezas e
materiais pulverulentos.

Britas Rochas densas (Basaltos,
diabásio, calcário)

Aditivos: Superplastificantes de policarboxilato
e Estabilizantes de pega

CAD-CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

NECESSIDADE DO CLIENTE:

- Carga Elevada em Elementos Estruturais;
- Restrição de Espaço físico arquitetônico;
- Leveza da estrutura – Fundações;
- Ambientes Agressivos;
- Elevadas resistências iniciais;
- Elevado Módulo - Pequenas deformações;
- Elevada resistência ao desgaste (abrasão).

CAD-CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

NECESSIDADE DO CLIENTE: OBRA EVOLUTION TOWERS

- Carga Elevada em Elementos Estruturais;
- Carga de **6.800** ton no pilar principal;
- Dimensão máxima do pilar (2,3 x 1,6 m);
- Taxa de armadura elevada (160 Barras 1');
- Viabilidade de execução.

CAD-CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

NECESSIDADE DO CLIENTE: OBRA EVOLUTION TOWERS

Alternativas Estudadas:
Obra Evolution Towers

1. fck 60,0 MPa
2. fck 80,0 MPa
3. fck 100,0 MPa

CAD-CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

ALTERNATIVAS ESTUDADAS: OBRA EVOLUTION TOWERS

Cálculo da Tensão de Dosagem (f_{cj})

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 SD$$

1. f_{ck} 60,0 MPa - f_{cj} ~ 69,0 MPa
2. f_{ck} 80,0 MPa - f_{cj} ~ 92,0 MPa
3. f_{ck} 100,0 MPa - f_{cj} ~ 115,0 MPa

CAD-CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

ALTERNATIVAS ESTUDADAS: OBRA EVOLUTION TOWERS

DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUTIVOS

fck 60 MPa

Cimento	CP V ARI RS
Adição	Não
Areia	Média
Brita	Diabásio+Calcário
Estabilizante	Recover-Grace
Superplast.	ADVA Cast
GELO	Não

CAD-CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

ALTERNATIVAS ESTUDADAS: OBRA EVOLUTION TOWERS

DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUTIVOS

fck 80 MPa

Cimento	CP VARI RS
Adição	Sílica Ativa
Areia	Fina Quartzo
Brita	Basalto Puro
Estabilizante	Recover-Grace
Superplast.	ADVA Cast
GELO	Com Gelo

CAD-CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

ALTERNATIVAS ESTUDADAS: OBRA EVOLUTION TOWERS

DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUTIVOS

	fck 100 MPa
Cimento	CP V ARI RS
Adição	Sílica Ativa
Areia	Fina Quartzo
Brita	Basalto Puro
Estabilizante	Recover-Grace
Superplast.	ADVA Cast
GELO	Com Gelo

CAD-CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

ENSAIOS DE LABORATÓRIO:

- Dosagem Experimental;
- Abatimento (Slump Test);
- Ar incorporado;
- Resistência a compressão (7 e 28 dias);
- Módulo de Elasticidade Secante (28 dias).



ASPECTO DO CONCRETO SEM ADITIVO



ASPECTO DO CONCRETO SEM ADITIVO



ASPECTO DO CONCRETO APÓS ADITIVO



ASPECTO DO CONCRETO APÓS ADITIVO



EFEITO “CHICLETE”



ABATIMENTO – SLUMP TEST 200 ± 30 mm



ABATIMENTO – SLUMP TEST 200 ± 30 mm

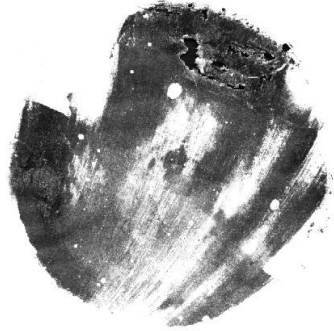
ENSAIO DE AR INCORPORADO





ROMPIMENTO – CP 10 X 20 cm

DISTRIBUIÇÕES DE TENSÕES



POLIMENTO DOS TOPOS



EFEITO DO MÓDULO NA PLANICIDADE:

$E = \text{Tensão} / \text{Deformação Específica}$

* **Premissa:** Absorção das deformações com 25% da tensão de ruptura

CAD -> $E = 60 \text{ GPa}$

$f_{c28} = 80 \text{ MPa}$

$f_{c28} \times 25\% = 20 \text{ MPa}$

$\text{Def. Esp.} = \text{Tensão} / E$

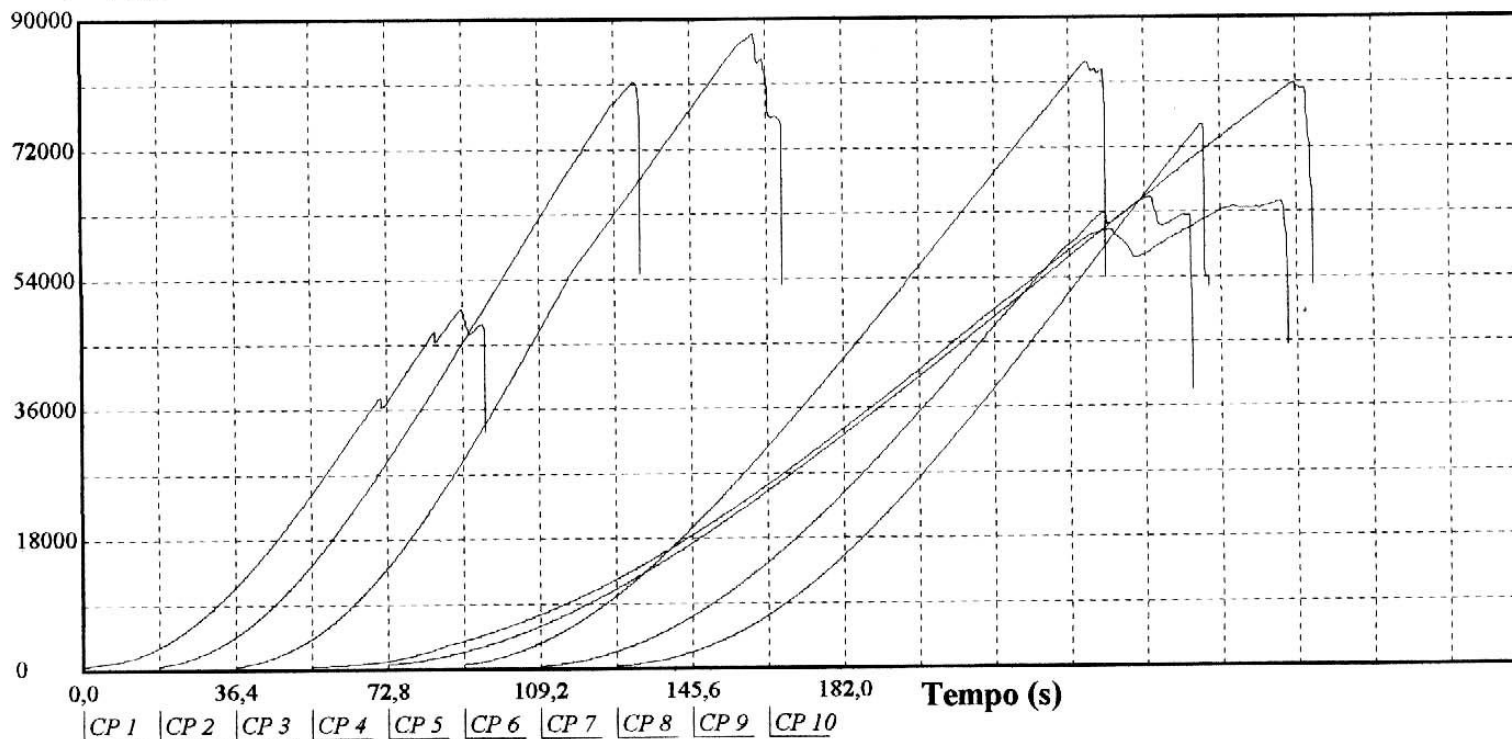
$\text{Def. Esp.} = 20 / 60.000 = 0,33 \%$

Para um CP 10 x 20 cm > $0,00033 \times 200 \text{ mm} = 0,067 \text{ mm}$

**Planicidade deve ter distorções inferiores a
METADE DE UM DÉCIMO DE MILÍMETRO.**

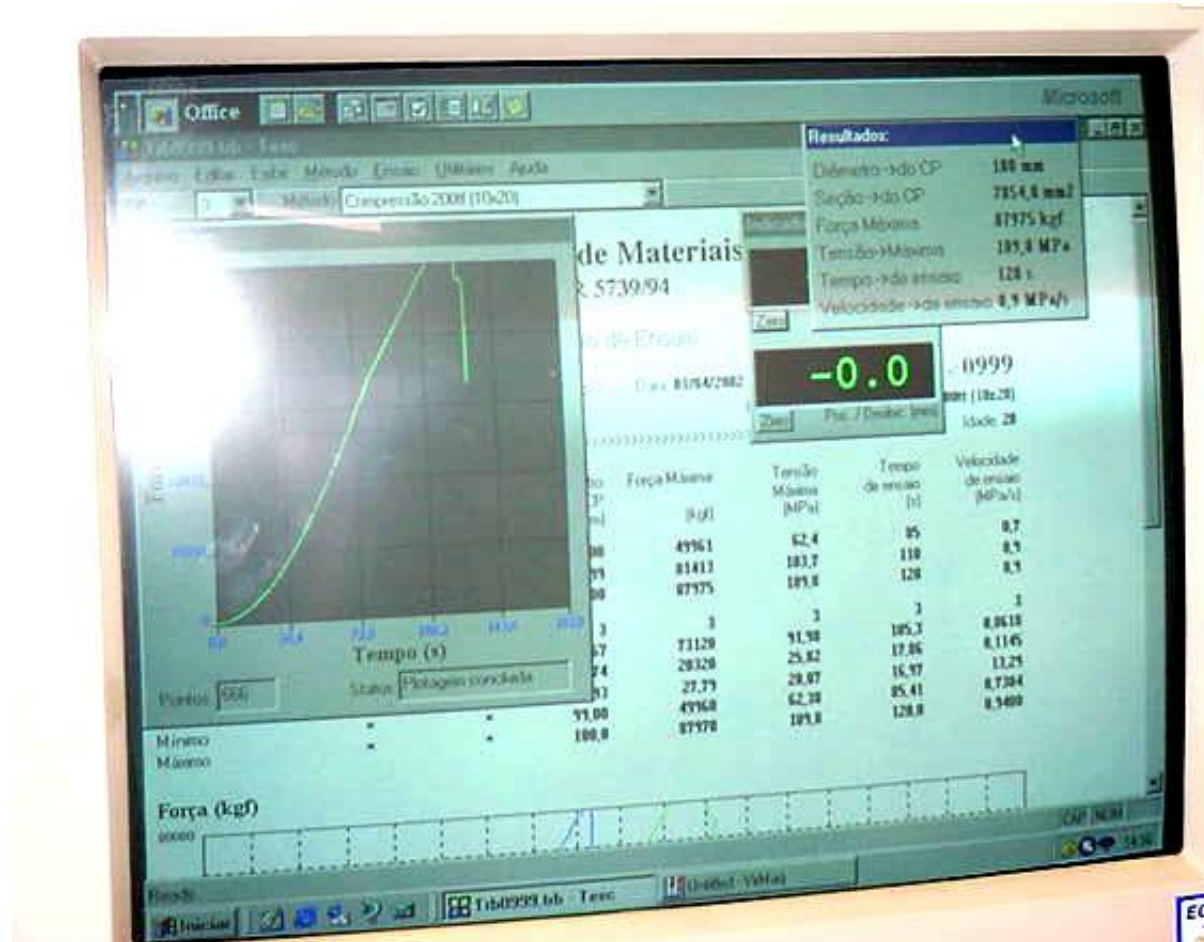
APLICAÇÃO DA CARGA X TEMPO

Força (kgf)



Observação: MAQ-013 - Escala de 200 tf

REGISTRO DA RUPTURA – 109,8 MPa



ENSAIO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE



DETALHE DA MESA DE CONTROLE E LEITURA



LEITURA DA DEFORMAÇÃO



RESISTÊNCIAS OBTIDAS

 INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO LAME – LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS Centro Politécnico da UFPR – Caixa Postal 19086 - CEP 81531-900 – Curitiba - PR Fone: +55 41 267-4039 Fax: +55 41 267-1341 E-mail: lame@lactec.org.br	RELATÓRIO DE ENSAIOS	DOCUMENTO Nº RE LAME.1.036.2002-R0
	DATA DE EMISSÃO 18/04/2002	PÁGINA 2 de 7

2. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

NBR 5739/94 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto - Método de ensaio

NBR 8522/84 - Determinação do módulo de deformação elástica e diagrama tensão - deformação

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1. Resistência à compressão


Registro da amostra	Corpo de prova	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Fator de correção	Carga Ruptura (kgf)	Tensão Ruptura (MPa)	Tipo de Ruptura	Data de Ruptura	Hora de Ruptura	Idade (Dias)
1.0178.02	1	100	198	0,9968	65.495	81,5	cisalhada	26/03	16:00	7
	2	100	190	0,9920	63.187	78,3	cônica			
	3	99	198	1,0000	61.965	78,9	cisalhada			
	4	100	197	0,9976	57.123	71,2	colunar			
1.0182.02	1	100	194	0,9952	49.951	62,1	colunar	01/04	15:10	28
	2	99	194	0,9968	81.413	103,4	cônica		15:15	
	3	100	194	0,9952	87.975	109,3	cônica			
	4	100	194	0,9944	64.578	80,2	cônica			
1.0183.02	5	99	194	0,9960	80.951	102,7	cônica	01/04	15:20	28
	6	100	193	0,9944	83.993	104,3	cônica			
	7	98	197	1,0000	65.167	84,7	cônica			
	8	99	195	0,9976	75.168	95,5	cônica			
1.0265.02	1	99	191	0,9944	89.061	112,8	cônica-cisalhada	15/04	13:30	-
	2	99	193	0,9960	81.594	103,5	cônica		13:45	
	3	98	194	0,9984	94.446	122,6	cônica-cisalhada			

49.961	62,1	colunar	01/04
81.413	103,4	cônica	
87.975	109,3	cônica	
64.578	80,2	cônica	
80.961	102,7	cônica	01/04
83.993	104,3	cônica	
65.167	84,7	cônica	
75.168	95,5	cônica	
89.061	112,8	cônica-cisalhada	15/04
81.594	103,5	cônica	
94.446	122,6	cônica-cisalhada	



O LAME não se responsabiliza por reproduções íntegras não autorizadas deste documento. Sua reprodução parcial é proibida.

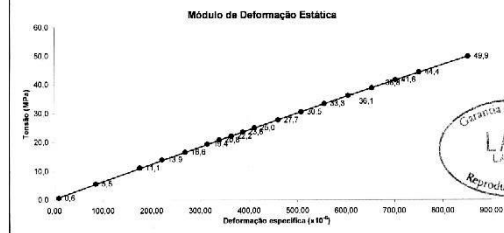
MÓDULO DE ELASTICIDADE

 INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO LAME - LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS Centro Politécnico da UFPR - Caixa Postal 14086 - CEP 81531-980 - Curitiba - PR Fone: +55 41 207 4838 Fax: +55 41 207 1341 E-mail: lame@lacte.org.br	RELATÓRIO DE ENSAIOS	DOCUMENTO Nº RE LAME.1.036.2002-R0
	DATA DE EMISSÃO 18/04/2002	PÁGINA 3 de 7

3.2. Módulo de Deformação Estática – Plano de Carga III

Dados		Extensômetro Strain-gage				
Registro	1.0179.02	Comprim.:	120	mm		
Corpo de prova:	1	Fator do gage:	2,13			
Data do ensaio:	02/04/02	Número de bases de medida:	2			
Idade da amostra (dias):	29	Sensibilidade do aparelho de medida:	1 x 10 ⁻⁶			
Resistência à compressão prevista:		95,0 MPa				
Diâmetro:	150 mm	Carga de ruptura Obtida:	180112	kgf		
Altura:	295 mm	Resistência à compressão obtida:	100,0	MPa		
Carregamento	Força kgf	Tensão MPa	Deformação Específica (x10 ⁻⁶)		Módulo de deformação Secante	
			Leitura 1	Leitura 2		
-	0	0,0	17	25	19,7	
0,5 MPa	1.000	0,6	24	36	8,5	
-	10.000	5,5	80	143	85,0	
0,1 fc	20.000	11,1	131	283	174,6	
-	25.000	13,9	159	353	220,7	
-	30.000	16,6	190	423	268,1	
0,2 fc	35.000	19,4	225	486	314,1	
-	37.500	20,8	246	517	338,5	
-	40.000	22,2	267	549	363,4	
-	42.500	23,6	287	579	386,9	
-	45.000	25,0	306	611	410,8	
-	50.000	27,7	349	673	460,1	
0,3 fc	55.000	30,5	390	732	507,0	
-	60.000	33,3	431	793	554,9	
-	65.000	36,1	476	853	604,2	
0,4 fc	70.000	38,8	520	913	653,1	
-	75.000	41,6	562	974	701,4	
-	80.000	44,4	607	1033	750,2	
0,5 fc	90.000	49,9	699	1156	851,2	

Observações:
Foram realizados carregamentos além dos previstos em norma, conforme acertado com o cliente em 01/04/2002, devido a grande variação encontrada entre carga de ruptura prevista e obtida no corpo de prova 2.



O LAME não se responsabiliza por reproduções integrais não autorizadas deste documento. Sua reprodução parcial é proibida.

Resistência à compressão obtida:		100,0	MPa
Deformação Específica (x10 ⁻⁶)	Leitura 2	Módulo de deformação Secante	
		ε	
	25	19,7	-
	36	8,5	-
	143	85,0	64,0 GPa
	283	174,6	63,2 GPa
	353	220,7	62,7 GPa
	423	268,1	61,6 GPa
	486	314,1	61,5 GPa
	517	338,5	61,2 GPa
	549	363,4	60,9 GPa
	579	386,9	60,8 GPa
	611	410,8	60,6 GPa
	673	460,1	60,0 GPa
	732	507,0	60,0 GPa
	793	554,9	59,8 GPa
	853	604,2	59,6 GPa
	913	653,1	59,3 GPa
	974	701,4	59,2 GPa
	1033	750,2	59,0 GPa
	1156	851,2	58,5 GPa

1. Definição da solução mais viável - Custo x Benefício
Utilização do CAD com fck 60,0 Mpa;
Volume do projeto para o CAD de 1060 m³
2. Definição dos Procedimentos de:
Produção (Central de Concreto);
Aplicação e cura (Treinamento da mão-de-obra);
Controle tecnológico (Laboratório de Controle).

CENTRAL DE CONCRETO

- Controle sistemático da Umidade dos agregados;
- Adição do gelo;
- Carregamento do Concreto;
- Registro do Carregamento - Automatizado;
- Adição do estabilizante;
- Mistura;
- Adição do Superplastificante;
- Mistura;
- Ensaio de Abatimento e temperatura;
- Moldagem dos corpos de prova;
- Transporte até a obra;
- Movimento Constante do Balão Betoneira.

BLOCO PRINCIPAL – 200 m³



BLOCO COM ARMADURA



CÁLCULO DO GELO

CÁLCULO DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DO CONCRETO						
Material	Quantidade	Calor Específico		Temp Inicial	Kcal/m³	
	kg/m³	J/g.'C	cal/g.'C	C		
Cimento	580	0,661	0,158	60	5.498	
Agreg. Basalto	1600	0,945	0,226	20	7.227	
água	80	4,187	1,001	23	1.841	
água degelo	0	0	0,000	0	-	
Concreto	2260		0,236	27,3	14.566	55,8% Temp. Concreto
						15,2
gelo	80	2,093	0,500	-1	-40	
Cal. Latente	80	334,94	80,051	0	-6.404	

CARREGAMENTO DO GELO



ADITIVOS



TEMPERATURA - CENTRAL



CONTROLE DE CONSISTÊNCIA



LANÇAMENTO



VERIFICAÇÃO DA TEMPERATURA



FINALIZAÇÃO DA CONCRETAGEM



ACOMPANHAMENTO DAS TEMPERATURAS DO BLOCO

- Após 6 horas 45 'C
- Com 48 horas 62 'C
- Com 72 Horas 55 'C

RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DO CONCRETO DA OBRA:

7 dias

28 dias

Mínimo	51,0 MPa	61,0 MPa
Máximo	88,7 MPa	94,5 MPa
SD	11,0 MPa	10,1 MPa

RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DO CONCRETO DA OBRA:

A **CONCREBRAS** procura sempre atender as necessidades dos clientes e essa é mais uma demonstração da sua capacidade em proporcionar soluções que sejam compatíveis em todos os aspectos.

OBRIGADO!

