

# *CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO*

*O Concreto de  
125 MPa do  
e-TOWER SÃO PAULO*



# O QUE É CAD?

- ✓ Concreto com propriedades de *resistência e durabilidade* superiores às dos concretos comuns;
- ✓ Qualquer concreto com características específicas para um determinado uso.

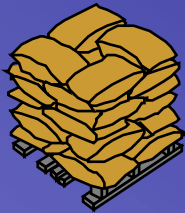
**CAR** → **CAD**

# Como se consegue ?

Em geral a diferença básica entre concreto comum e de alto desempenho está baseada na redução da

*relação água/cimento*

# COMPOSIÇÃO



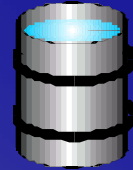
Cimento  
Portland



Agregado  
miúdo



Agregado  
graúdo



Água



Concreto comum



Aditivos químicos

Adições minerais ativas

□ HPC → Concreto de Alto Desempenho

# ADITIVOS

**Superplastificante de 3<sup>a</sup> geração  
(policarboxilato)**

**Estabilizador de hidratação  
(retardador)**

# ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES

## Formas de Utilização

### Atuando como

### Benefícios

Redutor  
de água

Aumento de resistência  
e durabilidade

Plastificante

Melhora o lançamento,  
adensamento e acabamento  
(trabalhabilidade)

Redutor do  
consumo de cimento

Redutor de custos,  
retração, tensões térmicas

# ADIÇÕES MINERAIS

## Sílica Ativa e Metacaulim

- ✓ Material extremamente fino, de 10 a 100 vezes menor que o grão de cimento que preenche vazios entre os grãos maiores, propiciando uma estrutura mais **compacta**.
- ✓ Reage com a cal livre melhorando a resistência e durabilidade.

# OBRAS QUE UTILIZARAM CAD

**Petronas Towers**

**Kuala Lumpur**

**Malásia 1997**

**Altura 452 m**

**fck = 80 MPa**





# OBRAS QUE UTILIZARAM CAD

## MUSEU DE ARTE DE SÃO PAULO (1969)



- 4 vigas protendidas com 74 m de vão livre
- Recorde municipal da época.

$$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$$

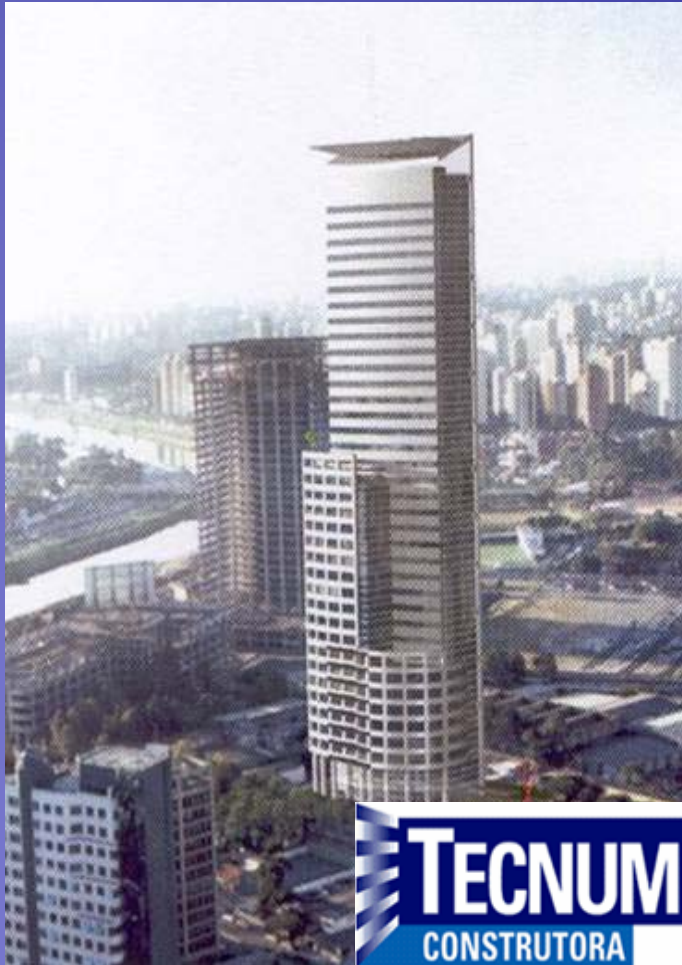
# OBRAS QUE UTILIZARAM CAD



## CENTRO EMPRESARIAL NAÇÕES UNIDAS/SP - 1997

- ✓ Três edifícios
- ✓ O maior possui 158m de altura (mais alto de São Paulo)
- ✓ Pilares com  $f_{c_k} = 50\text{MPa}$
- ✓ Lajes e vigas com  $f_{c_k} = 35\text{MPa}$
- ✓ Recorde de bombeamento em altura

# OBRAS QUE ESTÃO UTILIZANDO CAD

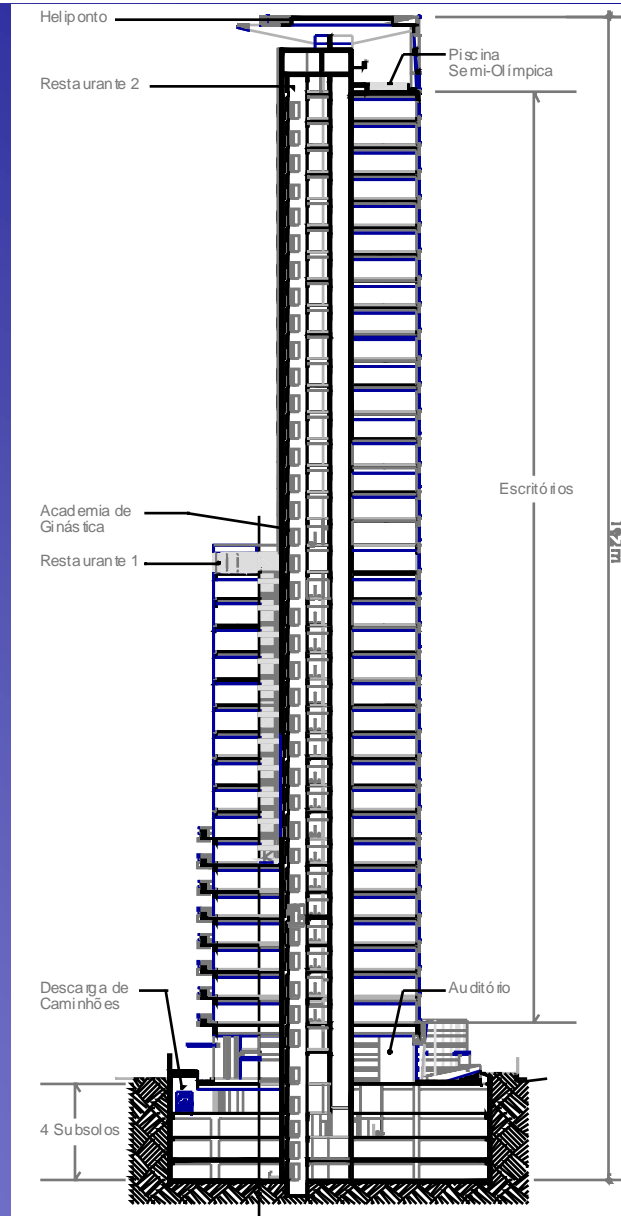


- ✓ EDIFÍCIO e-TOWER/SP - 2002
- ✓ Possui 162 m de altura (da fundação ao topo)
- ✓ Pilares com  $f_{cj} = 125$  MPa
- ✓ (recorde mundial)
- ✓ Lajes e vigas com  $f_{ck} = 40$  MPa

# e-TOWER SÃO PAULO

## Características do Edifício:

- . 52.000 m<sup>2</sup> de área construída
- . 42 pavimentos (04 subsolos)
- . 800 vagas de garagem
- . 02 restaurantes
- . Academia de ginástica (19º andar)
- . Piscina semi-olímpica (37º andar)
- . Auditório
- . 17 elevadores
- . 2 escadas rolantes



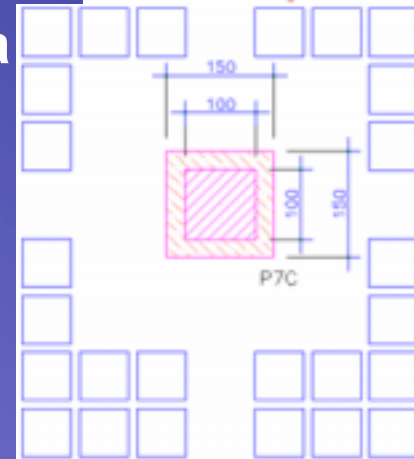
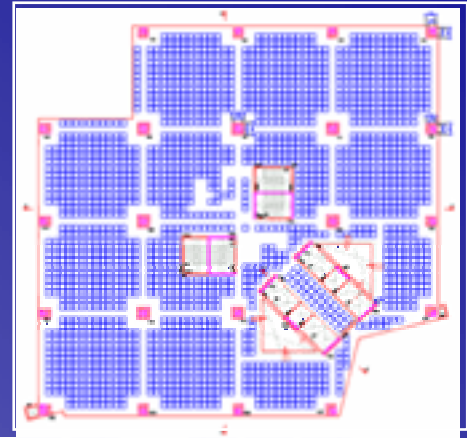
# UTILIZAÇÃO DO CAD



# 1º Passo

# DIRETRIZES DE PROJETO

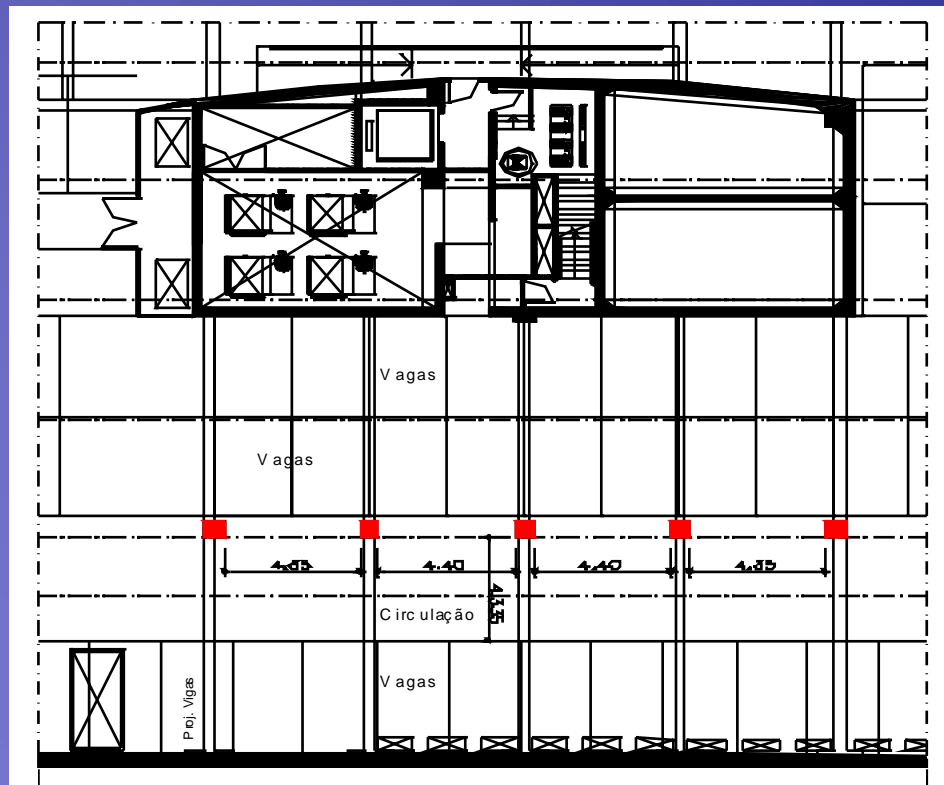
- ✓ Análises do projeto arquitetônico e de estruturas
- ✓ Vãos, espaços
- ✓ Número de pavimentos
- ✓ Agressividade do meio ambiente
- ✓ Dimensões das peças solicitadas na arquitetura
- ✓ Prazos de execução
- ✓ Vida útil
- ✓ Imagem do empreendimento



# 1º Passo

# PROJETO (e-TOWER)

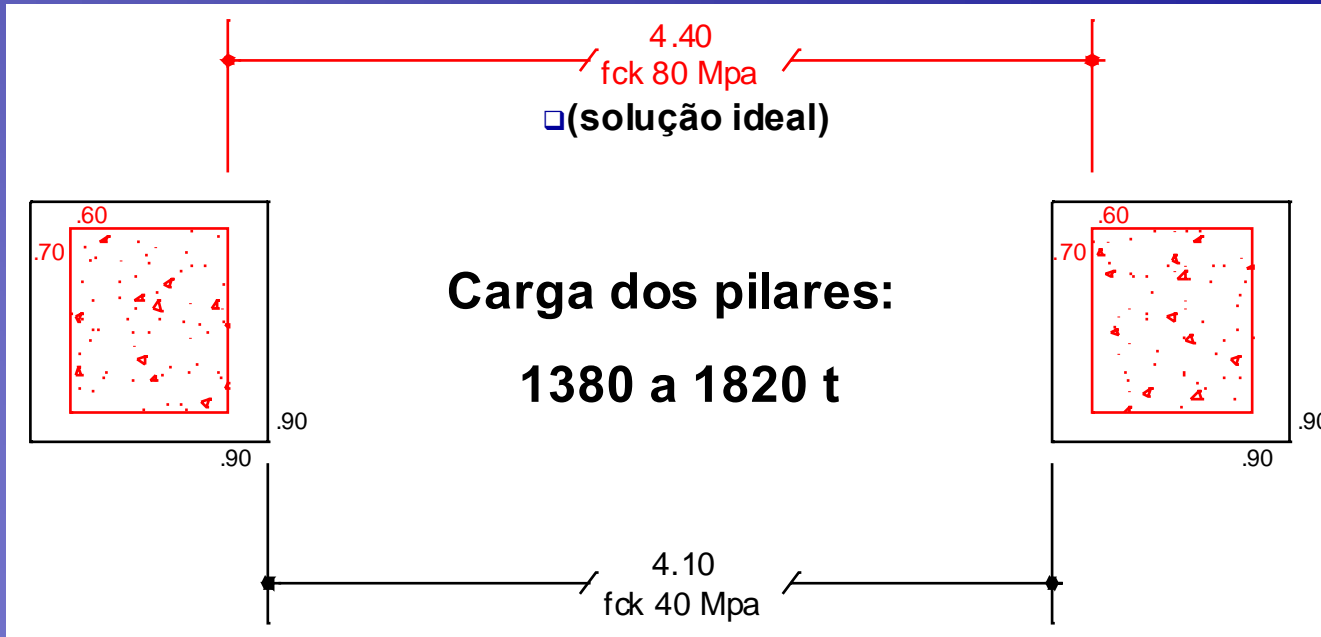
- ✓ Coordenação modular rigorosa - eixos a cada 1,25 m nas 2 direções
- ✓ Ocorrência de pilares a cada 5 m na fachada norte
- ✓ Dimensões máximas dos pilares: 60 cm x 70 cm



# 1º Passo

# PROJETO (e-TOWER)

Comparativo entre pilares para diferentes fck



**Solução ideal: 4 vagas a mais em cada subsolo**

- . Distância entre pilares: mínima de 4,20 m (02 vagas médias)
- . Faces alinhadas com o corredor (p/ facilitar circulação de veículos)



**2º Passo**

# TECNOLOGIA DO CONCRETO

**Contratação de um especialista**

**Profº Paulo Roberto do Lago Helene**

## 2º Passo

# Estudo de Dosagem

Ensaios em laboratório



Estudo de traços pilotos



Teste em caminhão betoneira



Concretagem de pilares de periferia

Por quê ??

Resistências, cor,  
trabalhabilidade, temperatura

## 2º Passo

# Experimento

A moldagem de traços piloto foi realizada na Engemix, Central da Barra Funda, São Paulo e no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



## 2º Passo

# Estudo de concretagem

**Pilares da Periferia**  
**concreto sem pigmento e sem gelo**  
**Abatimento: 14 a 20 cm**  
**Teste sob condições extremas**  
**Temperatura de lançamento: 37° C**  
**Temperatura ambiente de 32° C**



## 2º Passo

# Materiais empregados

❑ Materiais empregados nos traços	
Cimento	CP V - ARI - 623 Kg
Brita 01	Basalto - 1027 Kg
Areia	Quartzo rosa (MF: 2.04) - 550 Kg
Sílica ativa	15%
Relação a/c	0.19
Pigmento	óxido de ferro : 4%
Aditivos	SP de 3ª geração : 1%
	estabilizador de hidratação: 0.5%
Gelo	75 kg / m <sup>3</sup> + 65 l de água

## 3º Passo

# CONTRATAÇÃO (PARCERIA) DA CENTRAL DE CONCRETO *ENGEMIX*

## 3º Passo

# CENTRAL de CONCRETO

- ✓ Controle na aquisição e estocagem dos materiais
- ✓ Cimento: Resistência, Calor de hidratação, Composição
- ✓ Agregado graúdo: forma, dimensão, granulometria, limpeza
- ✓ Agregado miúdo: forma, granulometria, módulo de finura, umidade
- ✓ Água: qualidade
- ✓ Aditivos e adições: compatibilidade com cimento

# 3º Passo

## Controle dos materiais





## 4º Passo

# EXECUÇÃO / CONSTRUTORA

## Planejamento

- ✓ Busca de fornecedores capacitados (parcerias)
- ✓ Definição da quantidade de caminhões e intervalo entre os mesmos
- ✓ Logística no transporte do concreto na obra
- ✓ Inspeção de recebimento conforme procedimento (PIM)
- ✓ Verificação de fôrmas e equipamentos
- ✓ Treinamento da mão-de-obra (procedimento de execução dos serviços)

# 4º Passo

## Concretagem dos Pilares

Pilares do subsolo e térreo  
concreto com pigmento e gelo  
Temperatura do concreto: 21° C  
Temperatura ambiente: 22 a 30° C



## 4º Passo

# Execução

- . Consistência do concreto:  
14 a 20 cm
- . Caminhões com volume reduzido (máximo de 4 m<sup>3</sup> por viagem)



## 4º Passo

# ARMADURA

- ✓ Alta taxa de armadura 40 Ø 32 mm + luvas
- ✓ Cobrimento de 3 cm
- ✓ Reforço no cintamento por estribos e ganchos



## 4º Passo

# FÔRMAS

## Sistema de pilares “solteiros”

- ✓ Correção do prumo após a concretagem
- ✓ Travamento – escoras aprumadoras
- ✓ Facilidade na concretagem
- ✓ Ganho de produtividade



## 4º Passo

# LANÇAMENTO E ADENSAMENTO

- ✓ Altura de lançamento pode ser maior do que a convencional, pois o concreto é mais coeso (5 a 6 m)
- ✓ Alta viscosidade
- ✓ Ganho de produtividade!



## 4º Passo

# CONDIÇÕES DE CURA

- ✓ Cura favorece a hidratação do cimento e, portanto, o aumento das resistências do concreto
- ✓ A cura evita o processo de fissuração por retração de secagem e autógena e proporciona ao concreto maior durabilidade
- ✓ Cura rápida – 2 dias

## 5º Passo

# CONTROLE TECNOLÓGICO

- ✓ Verificação da nota de entrega
- ✓ Recebimento do concreto fresco (PIM)
  - Verificação dos tempos de transporte e lançamento
  - Execução de abatimento no início e no final da descarga
  - Controle da temperatura
- ✓ Determinação da resistência à compressão
  - Moldagem de Corpos de prova com dimensões (10x20cm)
  - Acabamento dos topos do corpo de prova (retífica)
  - Identificação e rastreabilidade do concreto
  - Especificação de idades mais avançadas (7, 28, 63 e 91 dias)
- ✓ Determinação do módulo de elasticidade



# 5º Passo



## 5º Passo

# ACEITAÇÃO DO CONCRETO FRESCO

- ✓ Execução do ensaio de abatimento por tronco de cone – NBR NM 67
- ✓ Quando?
  - Na chegada após o término da homogeneização
  - Repetir o ensaio e anotar no terço final junto com moldagem dos cps
- ✓ Tolerâncias:

ABATIMENTO (mm)	TOLERÂNCIAS (mm)
$A \leq 80$	$\pm 10$
$90 < A \leq 150$	$\pm 20$
$A > 150$	$\pm 30$

Projeto NBR 12655  
NBR 7212

## 5º Passo

# CONTROLE DE TEMPERATURA INICIAL DO CONCRETO FRESCO

## Importância:

- ✓ Manutenção da trabalhabilidade / Controle sobre a incorporação de ar
- ✓ Eficiência dos aditivos plastificantes ou superplastificantes
- ✓ Interferência na hidratação
- ✓ Evolução da resistência

## 5º Passo

# CONTROLE DE TEMPERATURA INICIAL DO CONCRETO FRESCO

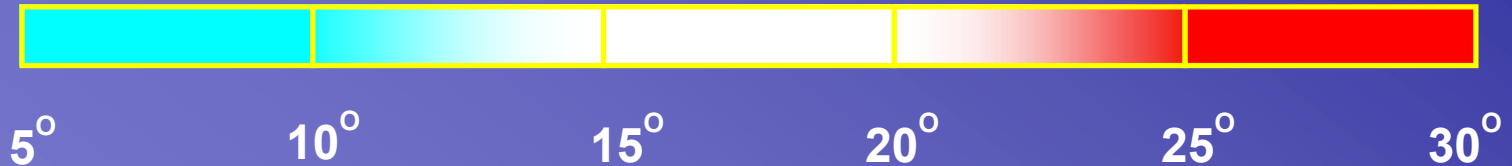
Problemas

Aceitável

Ideal

Aceitável

Problemas



# Resistência à compressão

Traço	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
Amostra	am ostra 1	am ostra 2	am ostra 3	am ostra 4	am ostra 5	am ostra 6	am ostra 7	am ostra 8	am ostra 9	am ostra 10
Data moldagem	10/10/2001	27/10/2002	1/11/2001	15/2/2002	27/2/2002	16/3/2002	25/3/2002	5/4/2002	11/4/2002	11/4/2002
CP 1	134.3	119.7	120.2	103.1	133.0	114.9	121.8	115.6	119.0	116.2
CP 2	131.2	123.0	124.7	101.8	144.3	105.6	127.4	114.9	129.9	126.2
CP 3	127.4	124.1	120.8	85.6	149.9	115.6	133.7	111.2	123.7	126.8
CP 4	129.9	129,6	115.8	98.7	143.0	112.4	124.9	123.1		
f máx <sub>c</sub>	134.3	129.6	115.8	103.1	149.9	115.6	133.7	123.1	129.9	126.8
f min <sub>c</sub>	127.4	119.7	124.7	85.6	133.0	105.6	121.8	111.2	119.0	116.2
f <sub>cm</sub>	130.7	122.3	120.4	97.3	142.6	112.1	127.0	116.2	124.2	123.1
Desvio padrão	2.9	2.3	3.6	8.0	7.0	4.6	5.0	5.0	5.5	6.0
Coef. Variação	2.2	1.9	3.0	8.2	4.9	4.1	4.0	4.3	4.4	4.8
f <sub>cm</sub>						121.6				
f <sub>min</sub> <sub>c</sub>						85.6				
f máx <sub>c</sub>						149.9				

**28 dias**

# Módulo de elasticidade

	T7	T8	T9	T11
CP 1	41.6	47.1	42.8	51.7
CP 2	42.2	48.4	47.2	55.2
CP 3	41.7	45.8	45.7	51.2
CP 4		48.2	50.8	
Média	41.8	47.4	46.6	52.7
Desv pad	0.3	1.3	2.2	2.2
Coef var	0.8	2.7	4.8	4.1
Média total:				47.1
Máximo				55.2
Mínimo				41.6



**Recorde!  
125 MPa**

# Comparação de Propriedades

$f_{ck} = 115 \text{ MPa}$      $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

$f_c$	7 dias	111	22
$f_c$	28 dias	125	32
$f_c$	63 dias	139	37
$f_c$	91 dias	155	39
$E_c$	28 dias	50	32
$f_{ct}$	28 dias	10	3
Ultra-som	m/s	4950	3550
Esclerometria		52	23





# Considerações Finais

- ✓ Opção pelo CAD deve ser feita com bastante critério – custo elevado.
- ✓ Equipe multidisciplinar grande responsável pelo sucesso dos resultados.
- ✓ Executado com tecnologia genuinamente nacional.

