

GRUPO **CF⁺** INOVAÇÃO IMOBILIÁRIA

Edifícios altos e seus riscos



Paulo Helene
*Diretor PhD Engenharia
Conselheiro Permanente IBRACON
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Diretor Técnico do IBRACON
Presidente de Honra ALCONPAT Internacional
Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design
Conselheiro da CNTU e SEESP*

Residencial Privilege Marista 04 de setembro de 2018 Goiânia/GO

1

Atividades

A PhD Engenharia



2

Algumas obras



Primeira obra com $f_{ck} = 90\text{MPa}$ de SP!

3

Ações tecno-científicas: entidades



4

Apoio à educação continuada



www.phd.eng.br

5

Apoio à educação continuada



www.phd.eng.br

6

ABNT NBR 6118 : 2014

5.3 Avaliação da conformidade do projeto

“5.3.1 A avaliação da conformidade do projeto deve ser realizada por profissional habilitado, independente e diferente do projetista, requerida e contratada pelo contratante, e registrada em documento específico, que acompanhará a documentação do projeto citada em 5.2.3.”

7

ABNT NBR 6118 : 2014

5.3 Avaliação da conformidade do projeto

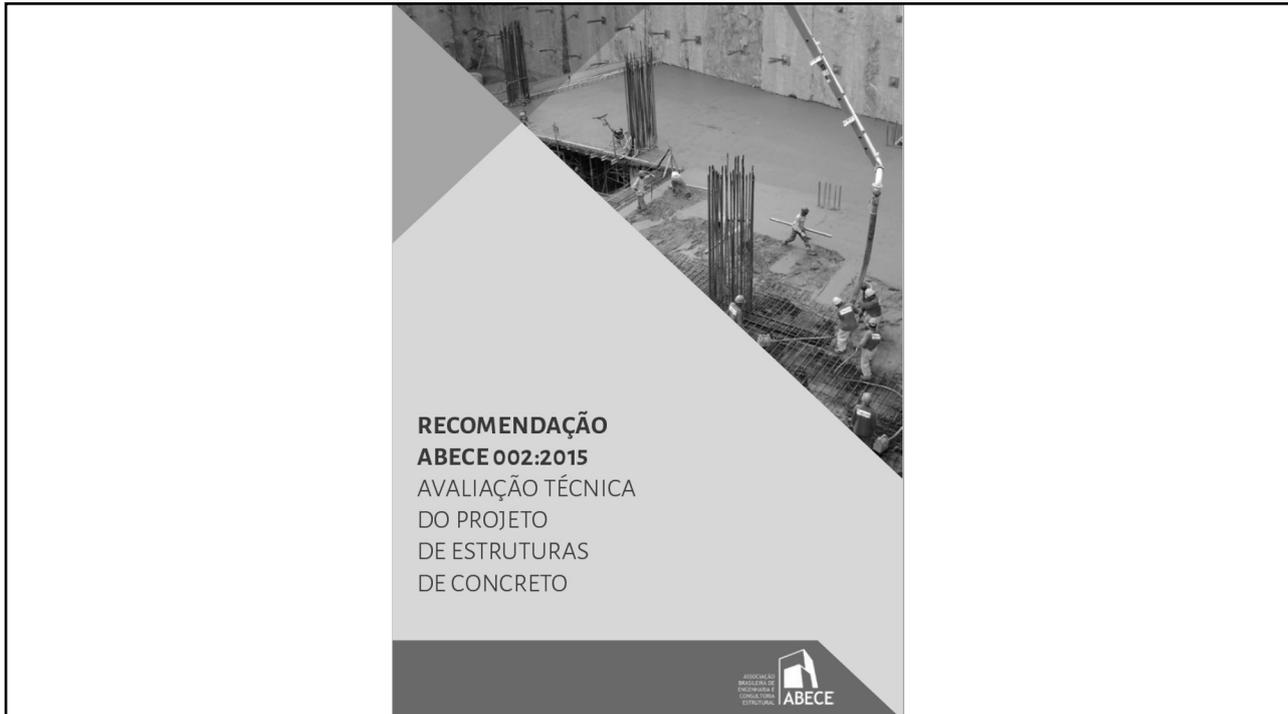
“5.3.4 A avaliação da conformidade do projeto deve ser realizada antes da fase de construção e, de preferência, simultaneamente com a fase de projeto.”

ACP: Avaliação da Conformidade do Projeto

ATP: Avaliação Técnica do Projeto

CQP: Controle de Qualidade do Projeto

8



9

Tipos de avaliação

- *Em paralelo com o projeto estrutural (ideal);*
- *Após o início do projeto estrutural;*
- *Após a construção da estrutura;*
- *Após o aparecimento de manifestações patológicas.*

10

Qualificação do Avaliador

Profissional habilitado, independente e diferente do projetista original, com qualificação e experiência em análise estrutural.

De preferência não ser projetista estrutural na mesma praça.

11

Escopo da Avaliação

- ***Concepção estrutural e estabilidade global (análise estrutural);***
- ***Dimensionamento de pilares, vigas e lajes (ELU);***
- ***Deslocamentos/flechas (ELS – NBR 6118 & NBR 15575);***
- ***Fissuração (ELS - NBR 6118 & NBR 15575);***
- ***Vibrações em lajes (pessoas andando) - ELS;***
- ***Conforto dinâmico ao vento – ELS;***
- ***Detalhes executivos (alojamento de armaduras);***
- ***Aspectos de durabilidade e vida útil (NBR 6118 & NBR 15575);***
- ***Incêndio (NBR 15200, NBR 14432 e IT-08);***

12

Forma de apresentação dos resultados

Parecer técnico / Relatório de avaliação, contendo os resultados de análise e eventuais recomendações para ajustes do projeto dentro dos critérios utilizados.

Não é escopo da avaliação o critérios de economicidade da solução estrutural adotada, se atendo apenas a critérios de segurança, desempenho e durabilidade.

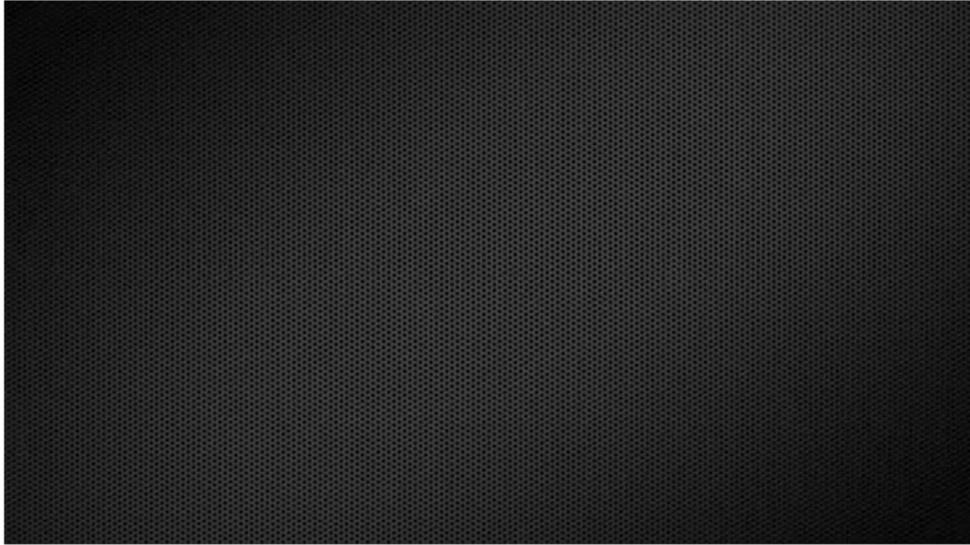
13

Caso típico de conforto dinâmico em edifícios altos

**VÍDEO**

14

Controle passivo de vibrações



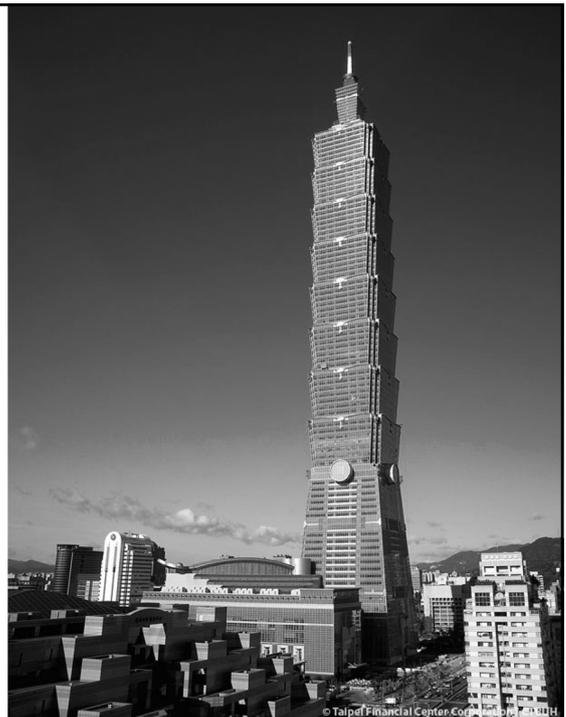
VÍDEO

15

Taipei 101
Taiwan – 509 m
Estrutura mista – f_{ck} 80MPa

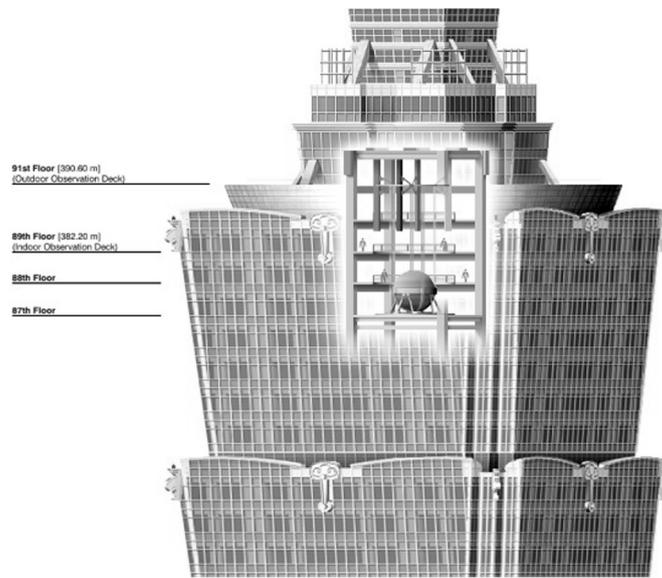
Controle passivo de vibrações
via TMD (Tuned Mass Damper

ou Amortecedor de Massa
Sintonizada)



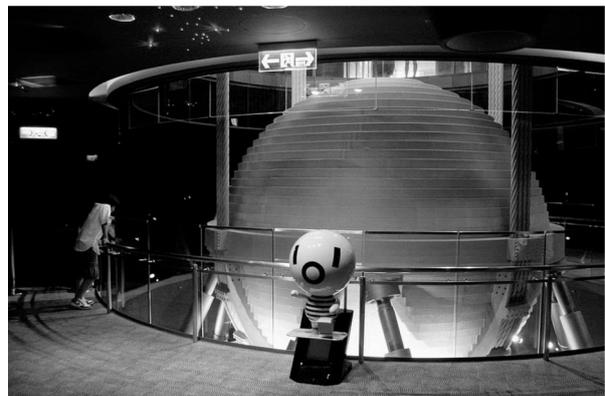
16

Taipei 101 – Controle passivo de vibrações com uso de um TMD (pêndulo gigante) com 728 t



17

Exemplo: Taipei 101 – TMD (pêndulo) com 728 t



18

**432 Park Avenue
New York – 426 m**

**Estrutura de concreto
branco aparente – f_{ck}
80MPa**

**Uso de sistema estrutural
em tubo, Outriggers e
TMD.**

*WSP Global
SOM
Thornton Tomasetti
LERA
Oscar Ramirez
Rene Lagos
Roberto Stark*



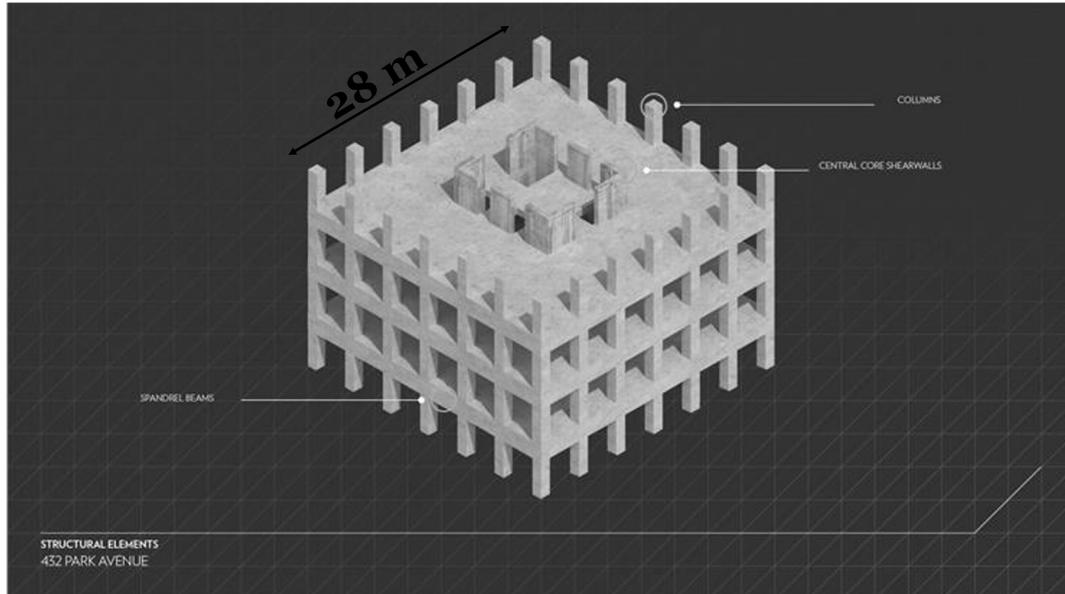
19

**Necessidade de ensaios em túnel de
vento (> 200m)**



20

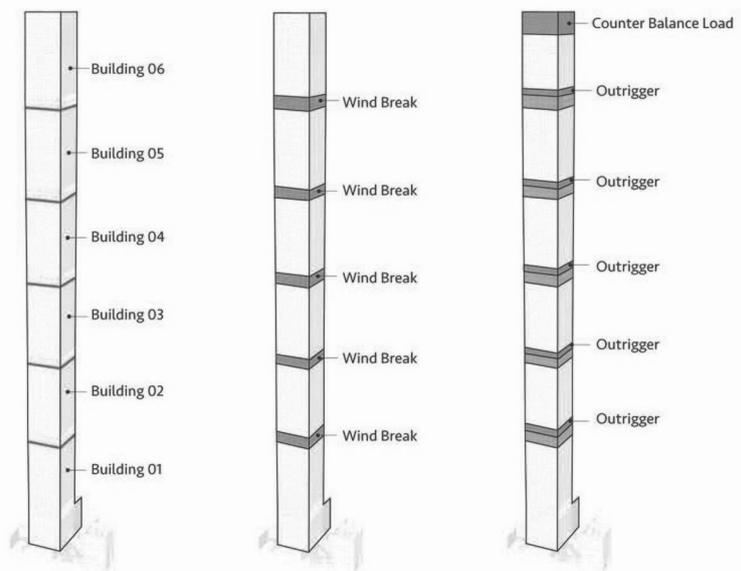
Sistema estrutural em tubo



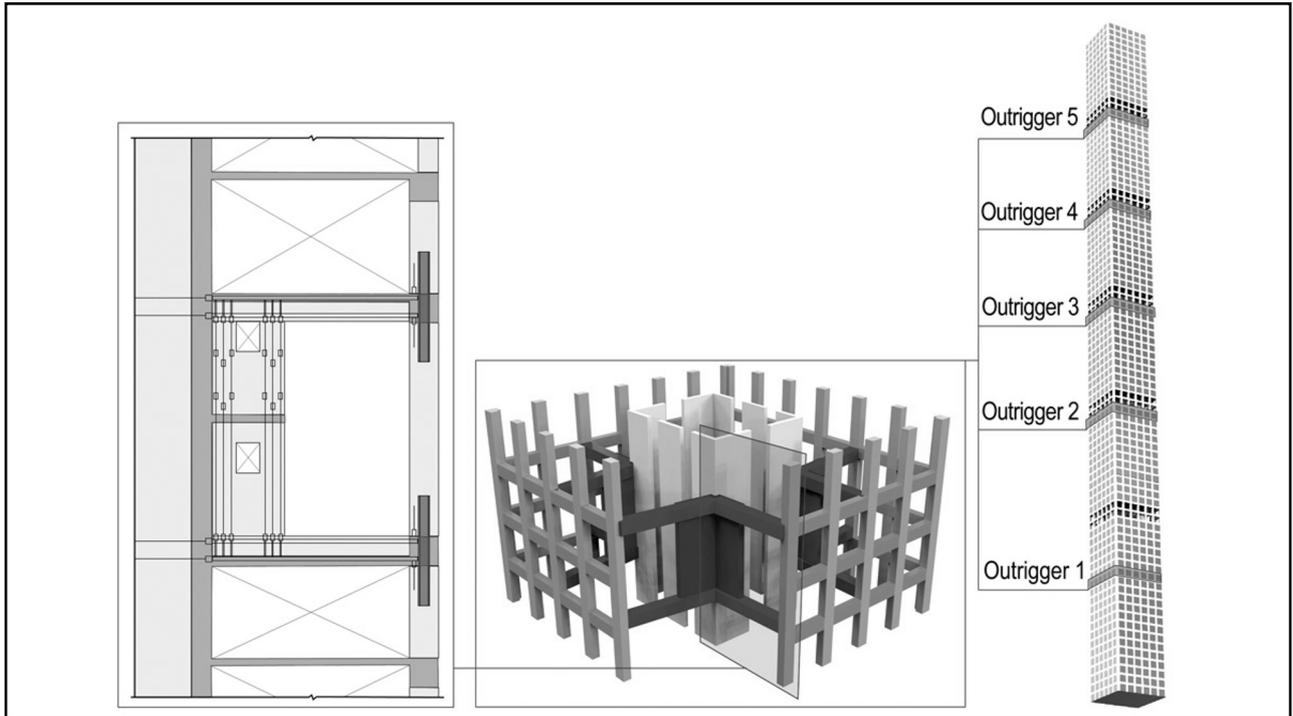
21

Tower Subdivision Diagram

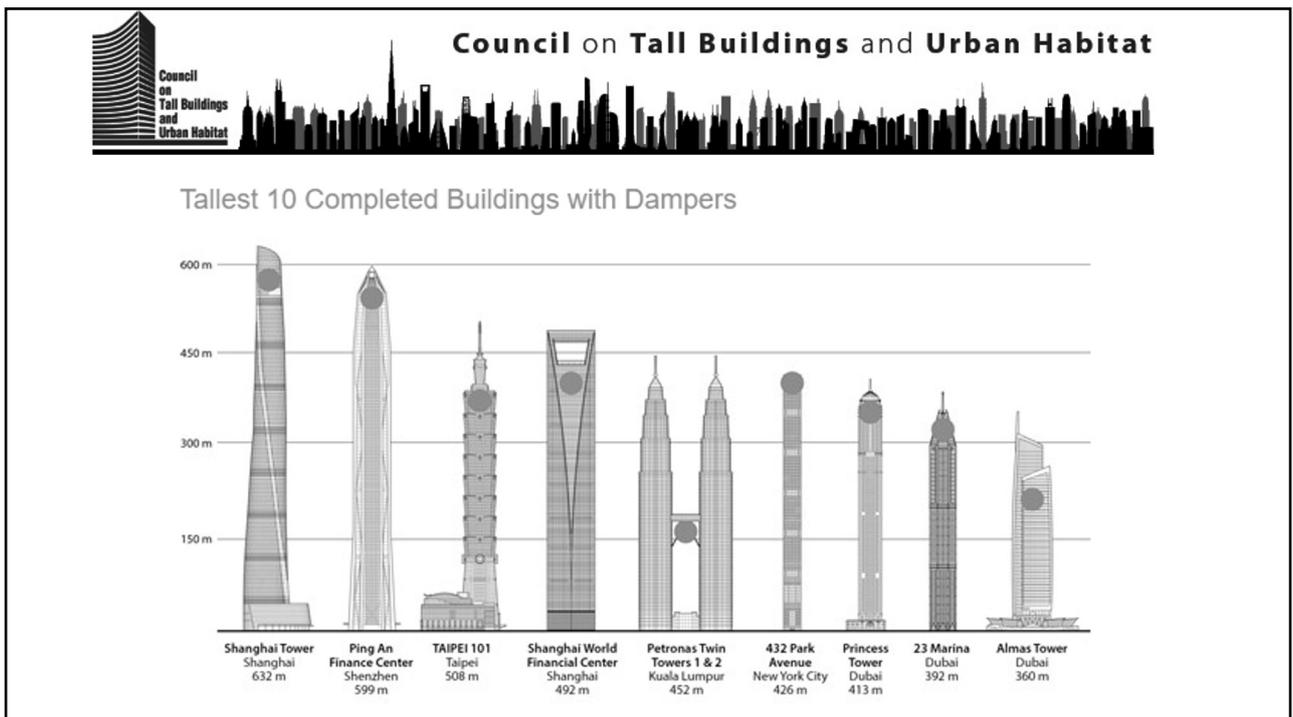
Tower Subdivision Diagram



22



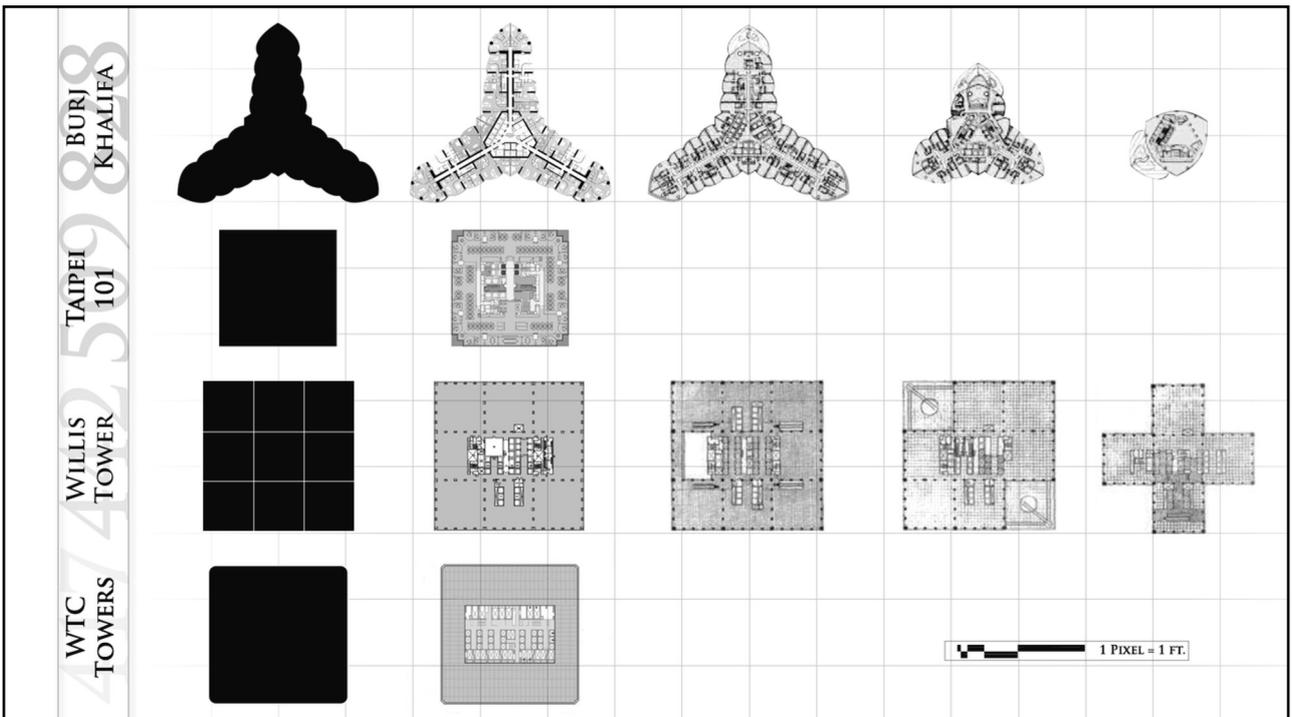
23



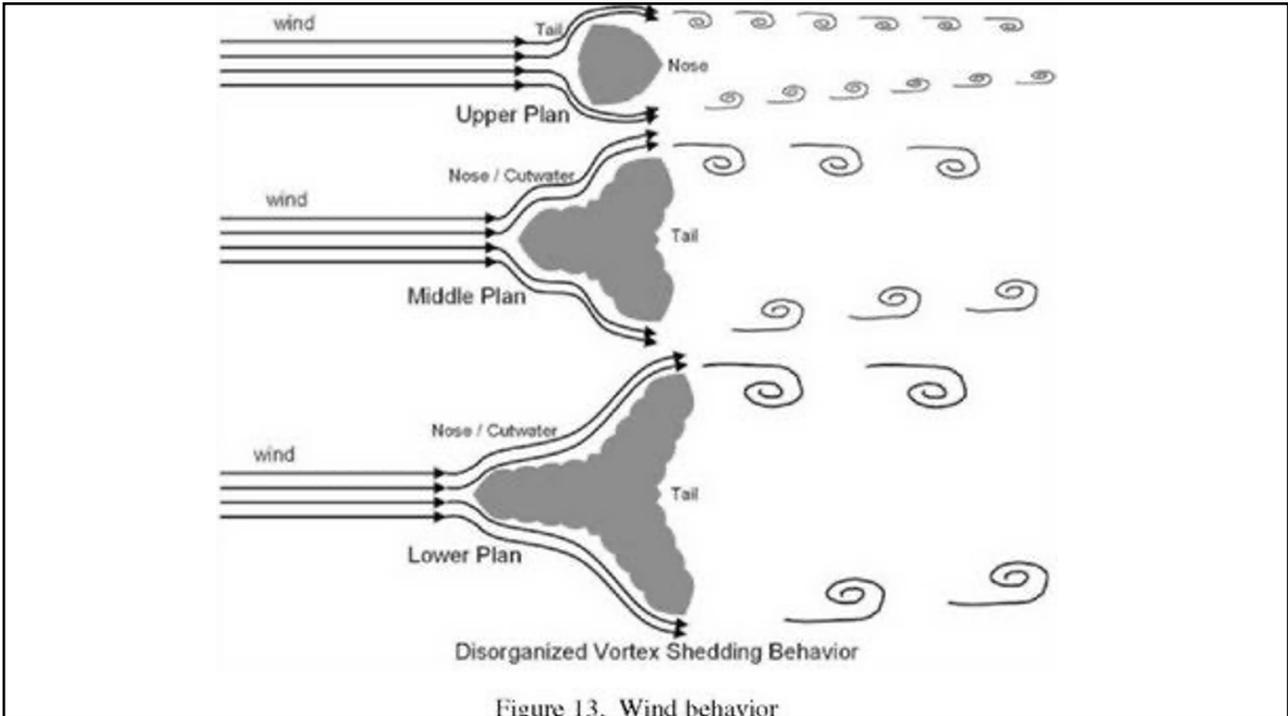
24



25



26



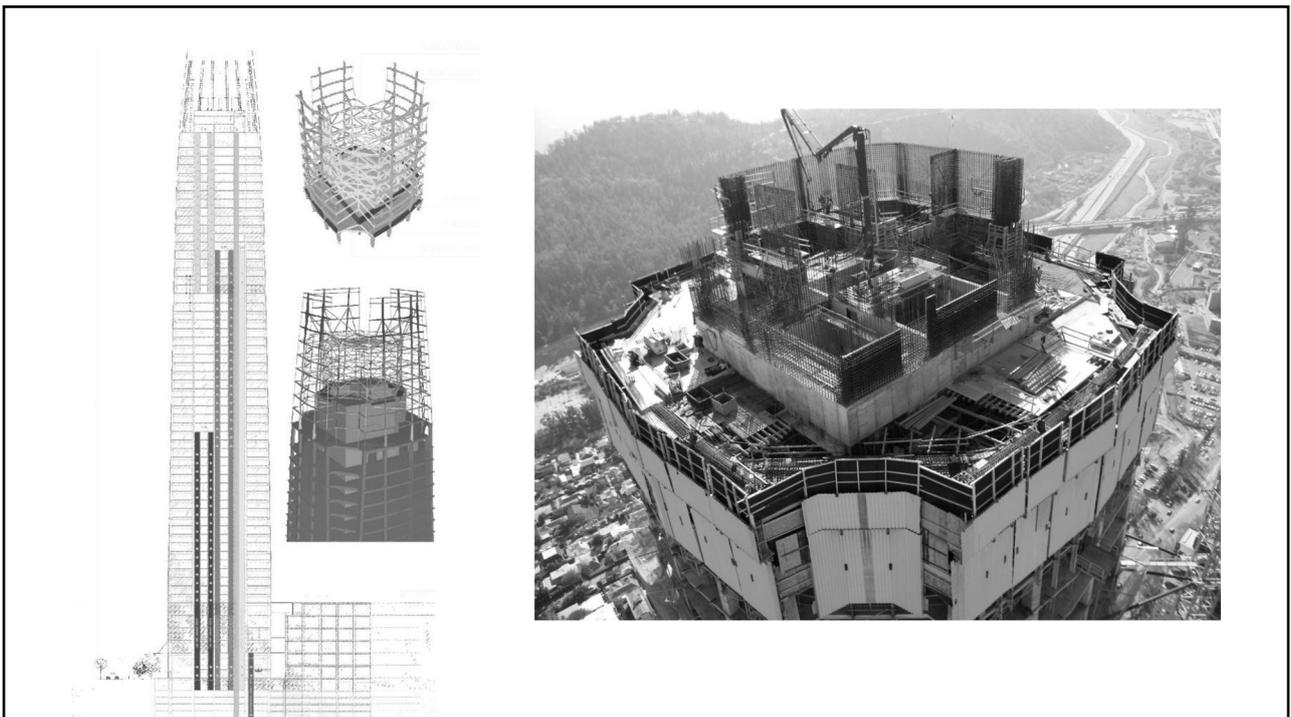
27



28



29



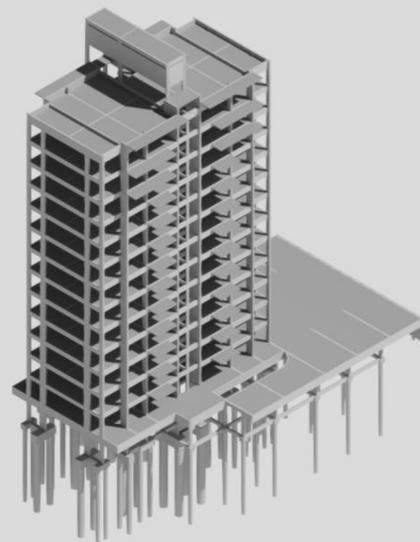
30

***Caso de avaliação da
conformidade do projeto após a
construção***

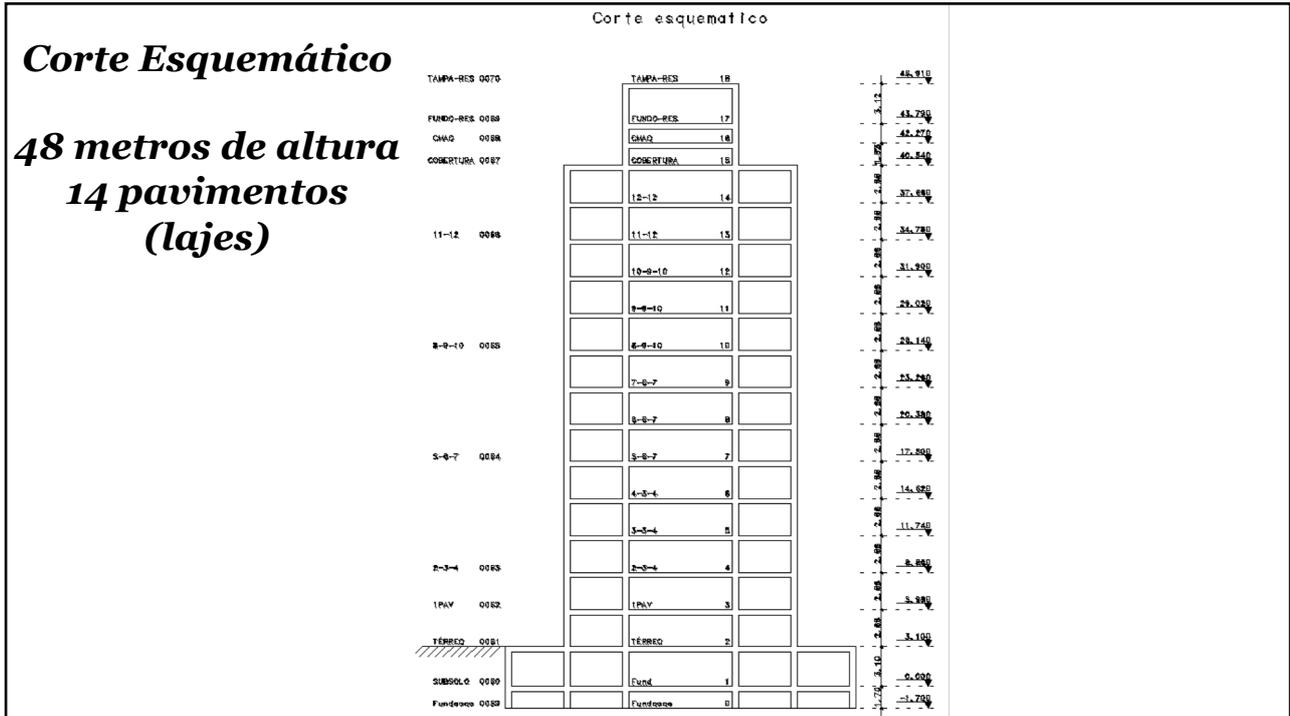
31

***Edifício residencial em
Asunción - Paraguay***

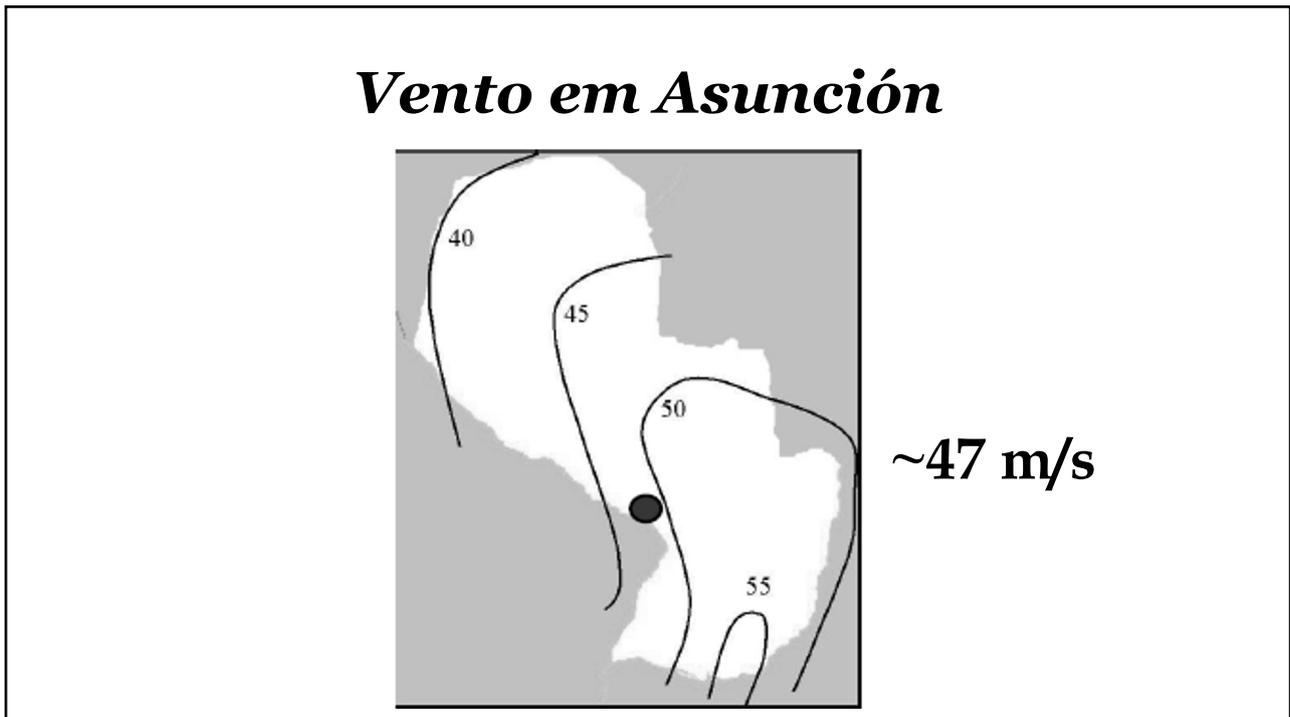
***Avaliação realizada devido a
não conformidade do concreto e
fissuras em alvenaria durante a
construção.***



32

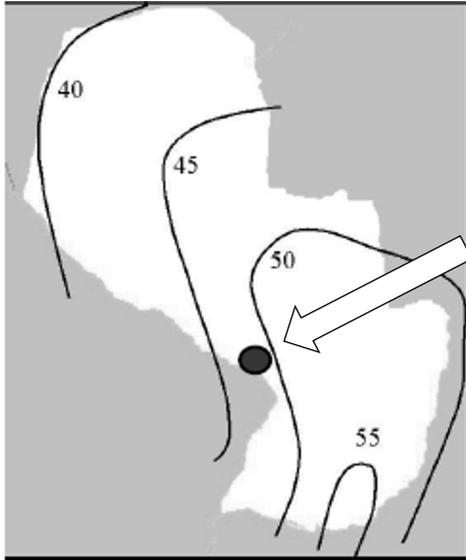


33



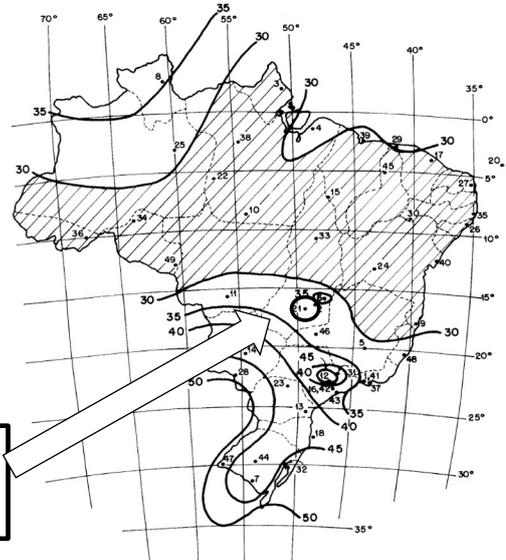
34

Vento em Asunción e Goiânia



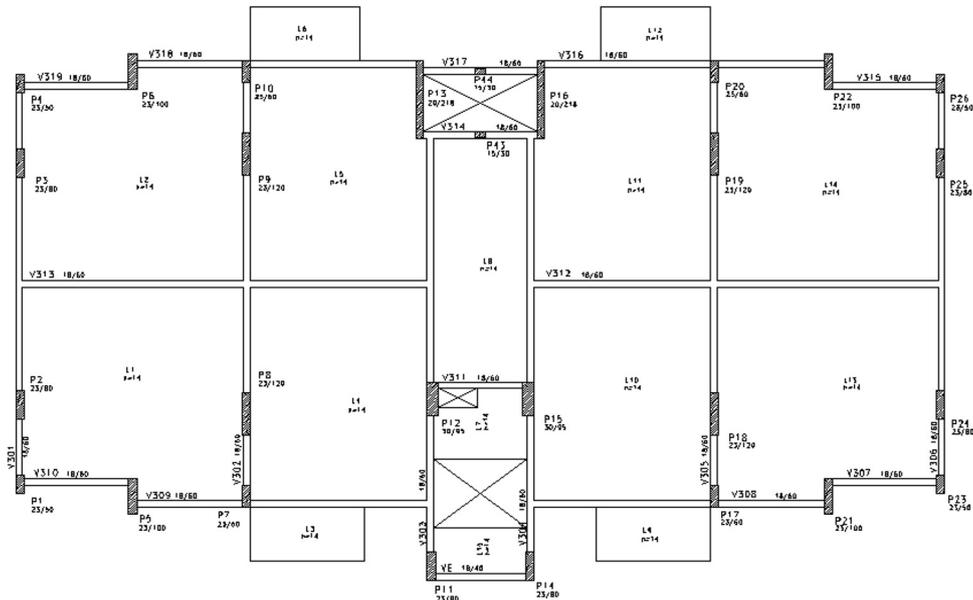
~47 m/s

Entre 30 e 35 m/s

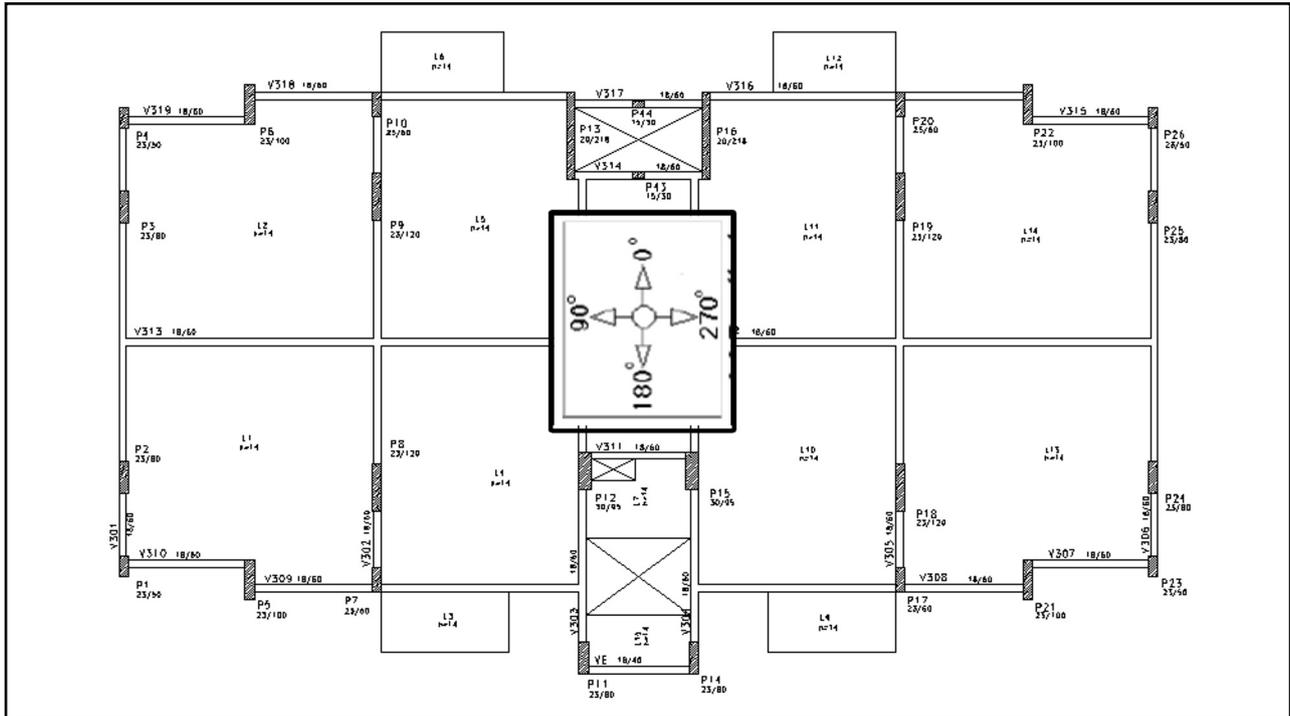


35

Planta Tipo

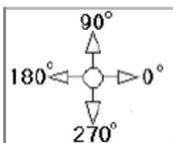


36



37

Verificação da Estabilidade Global – P-Delta ou Gama z



	Ângulo	C.A.	Def Cot	Cotini
1	90	1	Não	0
2	270	1	Não	0
3	0	1.3	Não	0
4	180	1.3	Não	0

Valores de P-Delta e Gama-z acima de 1,1 indicam uma estrutura de nós móveis. Quanto maior seu valor maior a sensibilidade da estrutura aos efeitos de segunda ordem.

Casos de carregamento horizontal

Caso	Prefixo	Título
5	VENT1	Vento (1) 90°
6	VENT2	Vento (2) 270°
7	VENT3	Vento (3) 0°
8	VENT4	Vento (4) 180°

Parâmetro de estabilidade (P-Delta) para os carregamentos simples de vento

Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	Mig	RM1M2	Alfa	Obs
5	90.	5884.2	562.7	79.8	2309.6	192.0	1.449	1.347	AB
6	270.	5884.2	562.7	79.8	2309.6	192.0	1.449	1.347	AB
7	0.	5884.2	194.9	141.9	3755.4	192.0	1.071	.656	B
8	180.	5884.2	194.9	141.9	3755.4	192.0	1.071	.656	B

38

Deslocamento Horizontal em Serviço

Deslocamentos máximos

=====

Caso	DeslH	Relat1
5	5.04	H/972.
6	5.04	H/972.
7	1.26	H/3892.
8	1.26	H/3892.

Obs
A D
A

***Limite da ABNT NBR 6118
→ H/1700***

Deslocamentos máximos entre pisos

=====

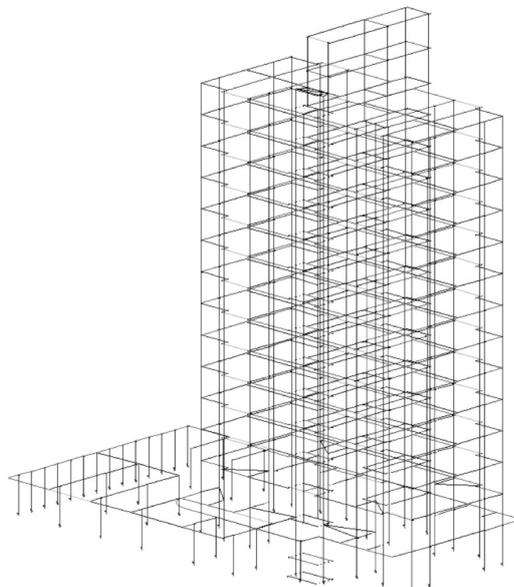
Caso	Piso	DeslHp	Relat3
5	3	.46	Hi/629
6	3	.46	Hi/629
7	4	.10	Hi/2763.
8	4	.10	Hi/2763.

Obs
CDE
C

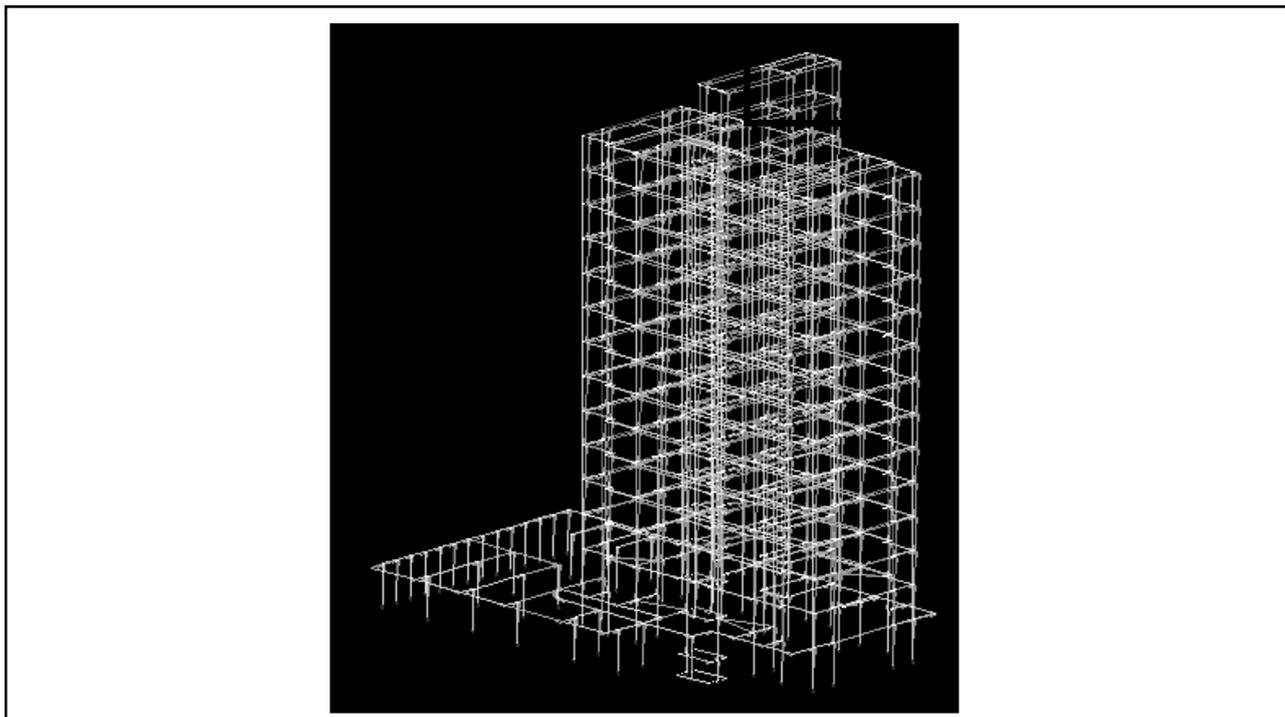
***Limite da ABNT NBR 6118
→ H/850***

39

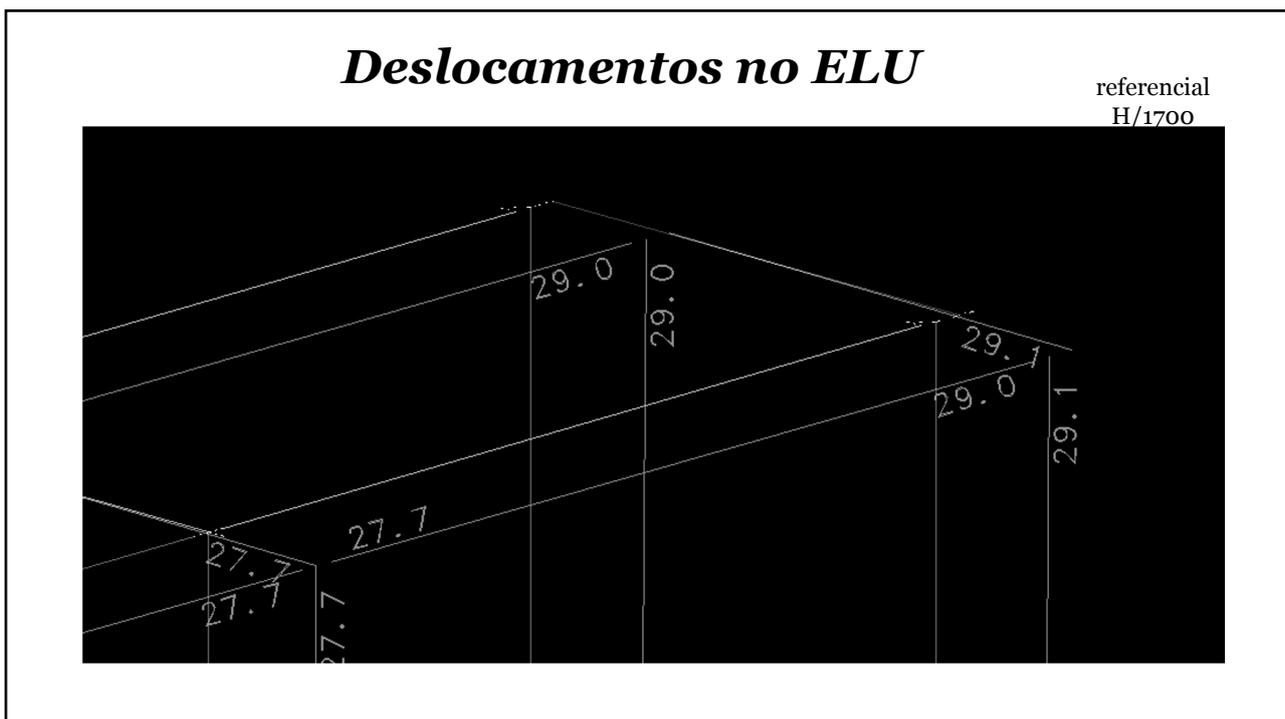
Análise do pórtico tridimensional



40



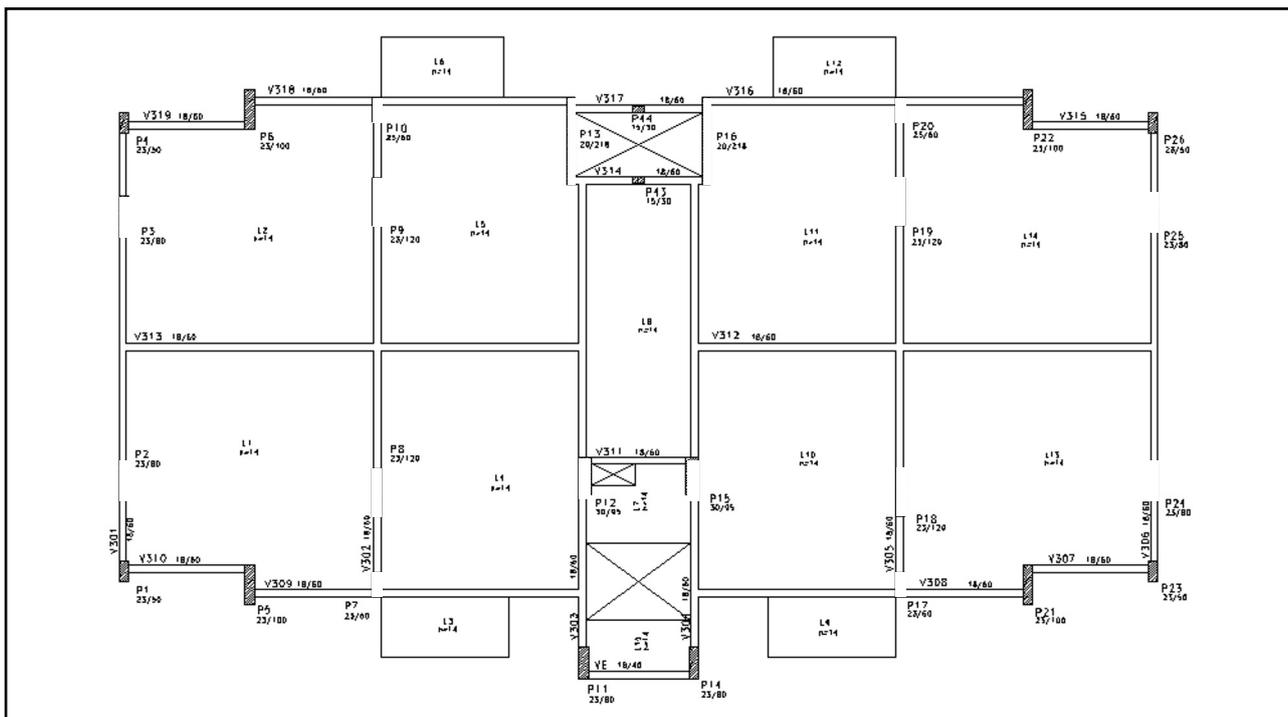
41



42

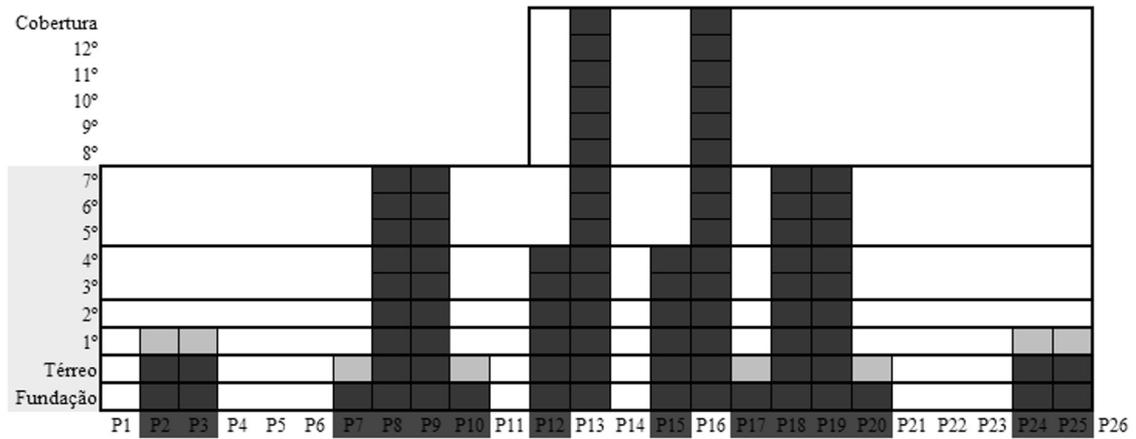
Necessidade de reforço dos pilares, pois não passaram à carga vertical sob o vento de 47 m/s que não foi considerado no projeto

43

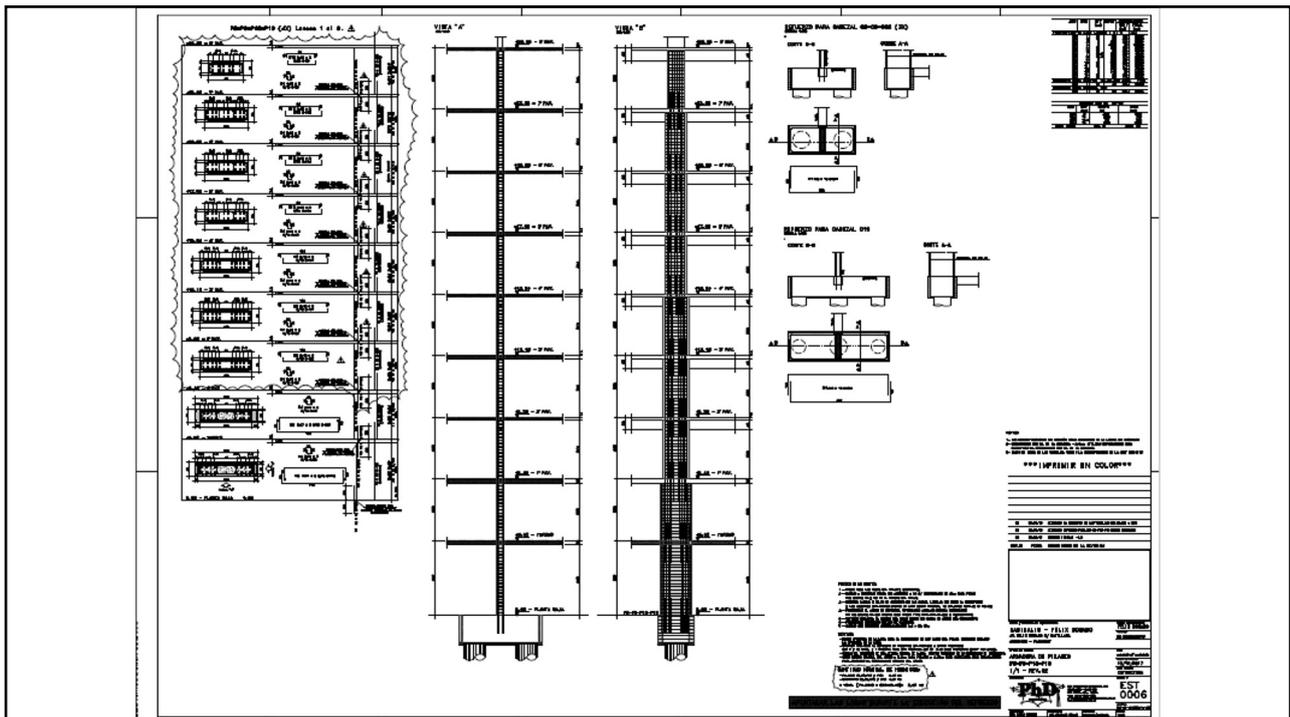


44

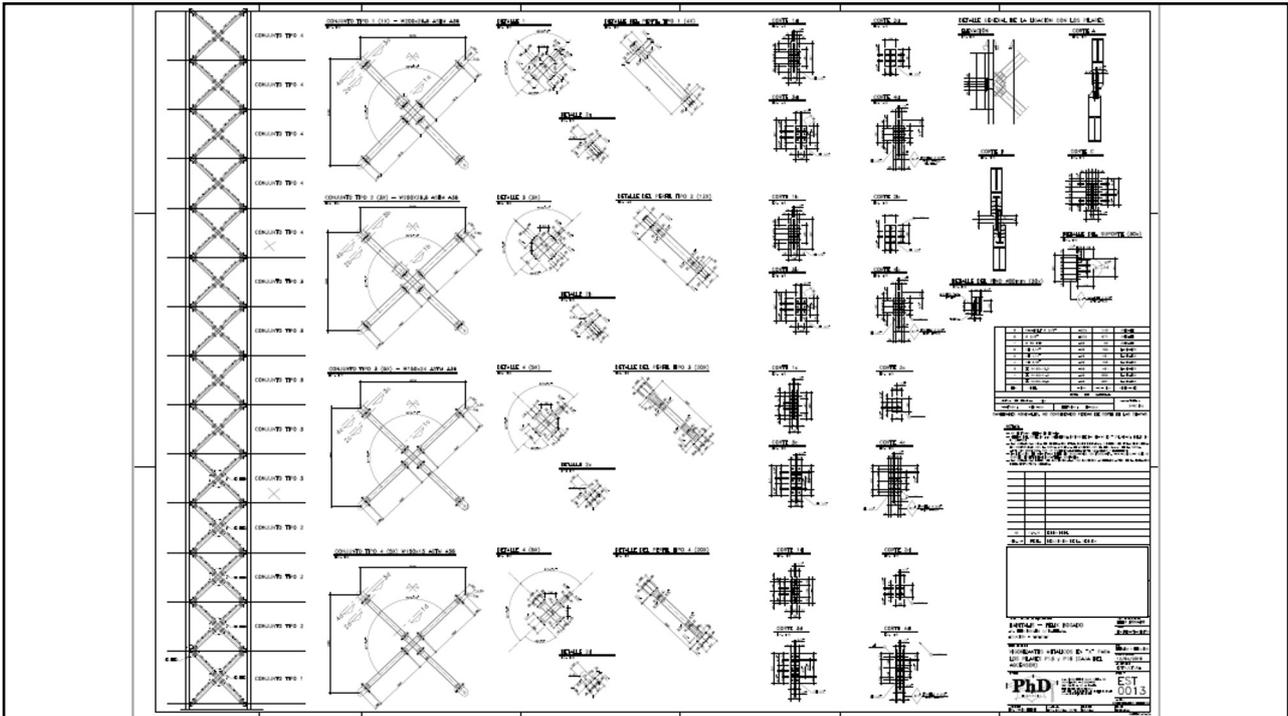
Esquema de alturas do reforço



45



46



47

Caso de avaliação da conformidade do projeto após a construção - Incêndio

48

NORMA BRASILEIRA **ABNT NBR 15200**

Primeira edição
30.11.2004

 Válida a partir de
30.12.2004

Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio
Fire design of concrete structures



SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA SEGURANÇA PÚBLICA
POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO



Corpo de Bombeiros

INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 08/2011

Resistência ao fogo dos elementos de construção

49

Tabela A: Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF)

Para a classificação detalhada das ocupações (Grupo e Divisão), consultar a Tabela 1 do Regulamento de Segurança contra Incêndio

Grupo	Ocupação/Use	Divisão	Profundidade do subsolo hs		Altura da edificação h							
			Classe S ₂ hs > 10 m	Classe S ₁ hs ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ 30 m < h ≤ 80 m	Classe P ₆ 80 m < h ≤ 120 m	Classe P ₇ 120 m < h ≤ 150 m	Classe P ₈ 150 m < h ≤ 250 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
C	Comercial varejista	C-1	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
		C-2 e C-3	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8 e F-10	90	60	60	60	60	90	120	150	180	-
		F-3, F-4 e F-7	90	60	ver item A.2.3.3.		30	60	60	90	120	-
		F-9	90	60	30	60	60	90	120	-	-	-
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60	30	30	30	30	60	120	120	150
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
		H-2, H-3 e H-5	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
I	Industrial	I-1	90	60	30	30	30	60	120	-	-	-
		I-2	120	90	30	30	60	90	120	-	-	-
		I-3	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-
J	Depósitos	J-1	60	30	ver item A.2.3.4.		30	30	60	-	-	-
		J-2	90	60	30	30	30	30	60	-	-	-

50

Tabela A: Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF)
 Para a classificação detalhada das ocupações (Grupo e Divisão), consultar a Tabela 1 do Regulamento de Segurança contra Incêndio

Grupo	Ocupação/Use	Divisão	Profundidade do subsolo hs		Altura da edificação h							
			Classe S ₂ hs > 10 m	Classe S ₁ hs ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ 30 m < h ≤ 80 m	Classe P ₆ 80 m < h ≤ 120 m	Classe P ₇ 120 m < h ≤ 150 m	Classe P ₈ 150 m < h ≤ 250 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
C	Comercial varejista	C-1	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
		C-2 e C-3	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8 e F-10	90	60	60	60	60	90	120	150	180	-
		F-3, F-4 e F-7	90	60	ver item A.2.3.3.		30	60	60	90	120	-
		F-9	90	60	30	60	60	90	120	-	-	-
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60	30	30	30	30	60	120	120	150
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
		H-2, H-3 e H-5	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
I	Industrial	I-1	90	60	30	30	30	60	120	-	-	-
		I-2	120	90	30	30	60	90	120	-	-	-
		I-3	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-
J	Depósitos	J-1	60	30	ver item A.2.3.4.		30	30	60	-	-	-
		J-2	90	60	30	30	30	60	-	-	-	

51

Exemplo: Edifício no Centro Oeste



52

ABNT NBR 14432:2001 x IT08/2011

ABNT NBR 14432:2001

IT/08 (2011) - CB

Ocupação/ Uso	Altura da Edificação							
	$h \leq 6m$	$6m < h \leq 12m$	$12m < h \leq 23m$	$23m < h \leq 30m$	$30m < h \leq 80m$	$80m < h \leq 120m$	$120m < h \leq 150m$	$150m < h \leq 180m$
Residência	30	30	60	90	120	120	150	180
Hotel	30	60	60	90	120	150	180	180
Supermercado	60	60	60	90	120	150	150	180
Escritório	30	60	60	90	120	120	150	180
Shopping	60	60	60	90	120	150	150	180
Escola	30	30	60	90	120	120	150	180
Hospital	30	60	60	90	120	150	180	180
Igreja	60	60	60	90	120	150		

53

Método do tempo equivalente

IT 08/2011

5.3.1 Admite-se o uso do método de tempo equivalente para redução dos TRRF (vide Anexo D), excetuando-se as edificações do grupo L (explosivos) e das divisões M1 (túneis); M2 (parques de tanques) e M3 (centrais de comunicação e energia), contudo, fica limitada a redução de 30 min dos valores dos TRRF [...]

Edifício analisado
120 min → 90 min

54

Premissas de cálculo para situação de incêndio

Resistência do concreto

$$f_{cd,\theta} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{c,fi}}$$

$$\gamma_{c,fi} = 1,00$$

Resistência do aço

$$f_{yd,\theta} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{s,fi}}$$

$$\gamma_{s,fi} = 1,00$$

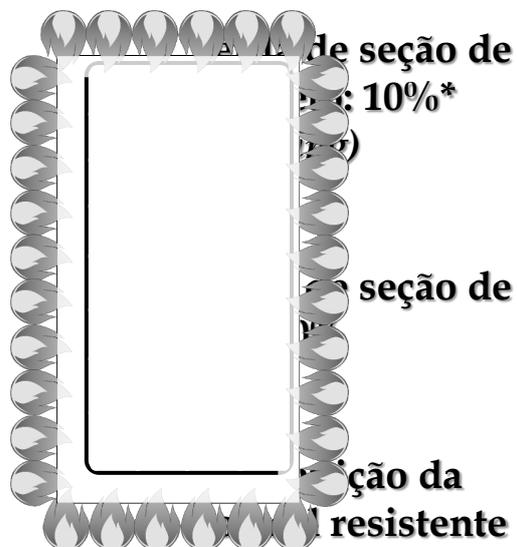
$$\sigma_{cd} = \alpha \times f_{cd}$$

$\alpha = 0,85 \rightarrow$ situações normais

$\alpha = 1,00 \rightarrow$ situação de incêndio (curta duração)

55

Premissas



56

Premissas

Não atingindo a segurança, foram verificadas as contribuições necessárias de concreto e aço para cada pilar, conforme a sequência a seguir:

Seção de concreto	90%	90%	90%	90%	90%	90%	95%	100%
Seção de aço	50%	60%	70%	80%	90%	100%	100%	100%



57

Resultados

Pilares que não passam na verificação realçados em

Torre C											
Seção de concreto		90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	95%	100%	
Seção de aço		50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%	100%	100%	
TRRF 90 min											
Pilar	a (cm)	b (cm)	Nr red/(αNk)								
P004	30	95	0,855	0,952	1,009	1,066	1,123	1,152	1,181	1,214	1,248
P005	30	95	0,967	1,026	1,086	1,145	1,205	1,235	1,264	1,302	1,339
P006	30	120	0,959	1,018	1,077	1,136	1,195	1,224	1,254	1,291	1,328
P007	30	95	0,957	1,016	1,075	1,134	1,193	1,222	1,251	1,288	1,325
P031	30	100	0,979	1,039	1,099	1,159	1,220	1,250	1,280	1,317	1,355
P037	40	55	0,986	1,053	1,119	1,185	1,252	1,285	1,318	1,354	1,391
P039	30	95	0,910	0,966	1,022	1,078	1,134	1,162	1,190	1,225	1,260
P040	35	120	0,969	1,021	1,073	1,125	1,177	1,203	1,229	1,268	1,308
P041	30	95	0,883	0,937	0,991	1,045	1,100	1,127	1,154	1,188	1,222
P042	30	95	0,875	0,931	0,987	1,043	1,099	1,127	1,155	1,188	1,221
P301	20	60	0,820	0,856	0,892	0,928	0,964	0,982	1,000	1,036	1,071
P305	20	60	0,841	0,878	0,915	0,952	0,989	1,008	1,026	1,063	1,099
P306	20	60	0,828	0,865	0,901	0,938	0,974	0,992	1,010	1,046	1,082
P308	20	60	0,857	0,902	0,948	0,993	1,039	1,062	1,084	1,119	1,154
P313	20	60	0,856	0,897	0,938	0,979	1,020	1,041	1,062	1,098	1,134
P318	20	60	0,820	0,864	0,907	0,951	0,994	1,016	1,038	1,071	1,105
P323	20	80	0,843	0,874	0,906	0,937	0,969	0,984	1,000	1,038	1,076
P324	20	80	0,869	0,902	0,934	0,966	0,999	1,015	1,031	1,071	1,110
P325	20	80	0,875	0,907	0,940	0,973	1,005	1,021	1,038	1,077	1,117
P330	20	60	0,827	0,851	0,876	0,900	0,925	0,937	0,949	0,988	1,027
P331	20	60	0,810	0,840	0,870	0,900	0,930	0,945	0,959	0,996	1,033
P332	20	60	0,927	0,939	0,951	0,963	0,975	0,981	0,987	1,035	1,084
P346	20	60	0,973	0,985	0,998	1,011	1,024	1,030	1,037	1,087	1,138
P351	20	60	0,861	0,886	0,912	0,937	0,963	0,976	0,988	1,029	1,070
PM01	20	60	0,894	0,904	0,914	0,923	0,933	0,937	0,942	0,989	1,036
PM08	20	60	0,942	0,952	0,962	0,973	0,983	0,988	0,993	1,042	1,092

58

Resultados por setor - Embasamento

Total de pilares que não passam na verificação de incêndio (projeção das torres e embasamento)									
Seção de concreto	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	95%	100%
Seção de aço	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%	100%	100%
Torre A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Torre B	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Torre C	26	20	18	15	12	9	7	3	-
Torre D	33	24	19	19	17	17	16	9	5
Torre E	30	25	22	20	15	13	13	12	8
Setor F	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Setor G	2	1	-	-	-	-	-	-	-
Setor H	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Setor I	4	2	1	-	-	-	-	-	-
TOTAL	96	72	60	54	44	39	36	24	13

634 pilares analisados

15%

59

Resultados por setor - Embasamento

Total de pilares que não passam na verificação de incêndio (somente projeção das torres)									
Seção de concreto	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	95%	100%
Seção de aço	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%	100%	100%
Torre A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Torre B	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Torre C	10	4	1	-	-	-	-	-	-
Torre D	7	1	-	-	-	-	-	-	-
Torre E	7	2	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	25	7	7	0	0	0	0	0	0

**227 pilares na
projeção das torres**

11%

60

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

paulo.helene@concretophd.com.br
www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11.2501.4822 / 23
11.9.5045.4940