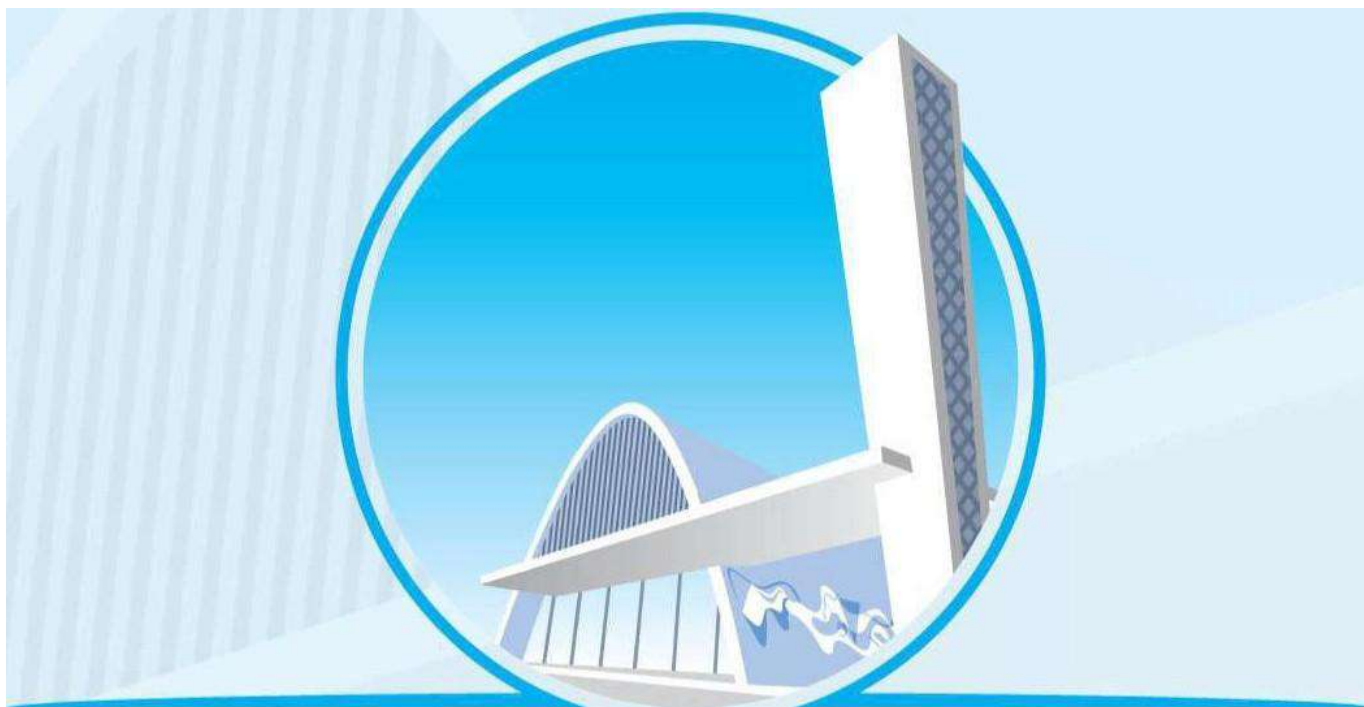




XVIII COBREA P

Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias



GACEL
ENGENHARIA

An aerial photograph of the Estádio Engenheiro de Souza e Silva, a large stadium with a distinctive white, rib-like roof structure. The stadium is surrounded by urban development and green spaces.

ESTÁDIO ENGENHÃO INTERDIÇÃO E REFORÇOS ESTRUTURAIS NECESSÁRIOS?

Gilberto Adib Couri, DSc

Flavio Correia d'Alembert

Ricardo Assumpção de Almeida

Marcelo Assumpção de Almeida

Fernando Assumpção de Almeida



XVIII COBREAP

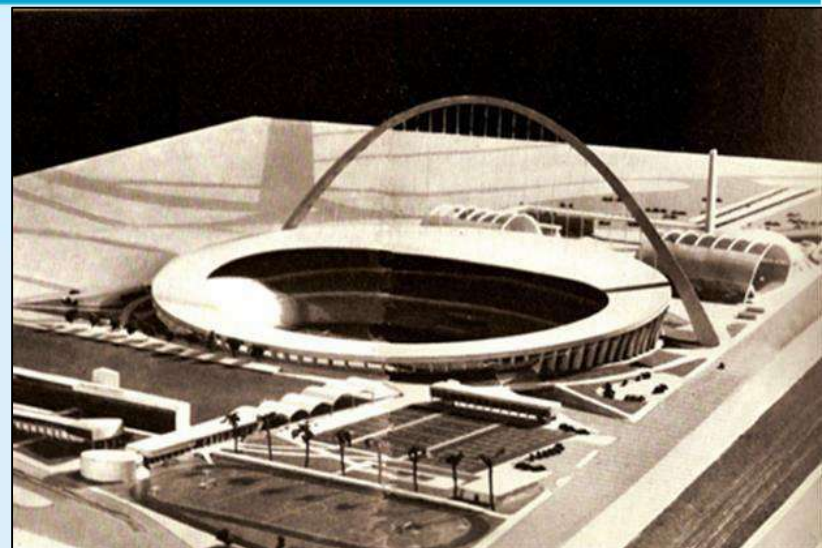
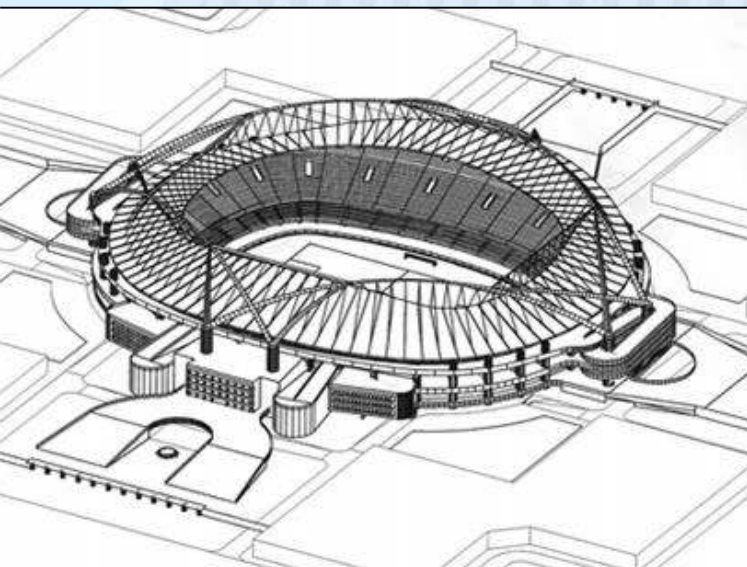
Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias

ESTÁDIO OLÍMPICO JOÃO HAVELANGE

- **Construção iniciada em maio/2003, prazo 600 dias**
- **Consórcio RDR (Racional/Delta/Recoma)**
- **Problemas Enfrentados**
 - **Não conformidade com exigências IAAF**
 - **Museu do Trem (tombado)**
 - **Adutora ativa**
 - **Falta de aportes financeiros pela Prefeitura**
- **Resultado – Aditamento de prazo – 600 dias**
- **Conversações no final de 2006 para rescisão amigável**
- **Adjudicação direta ao Consórcio Engenhão (Odebrecht/OAS), no início de 2007, para acabar a obra**
- **Inaugurado em 30 de junho de 2007**

**Projeto de Oscar Niemeyer
(2º lugar – Maracanã)
Base para concepção**

**Concepção inicial (1995)
Arq. Carlos Porto e Gilson Ramos**



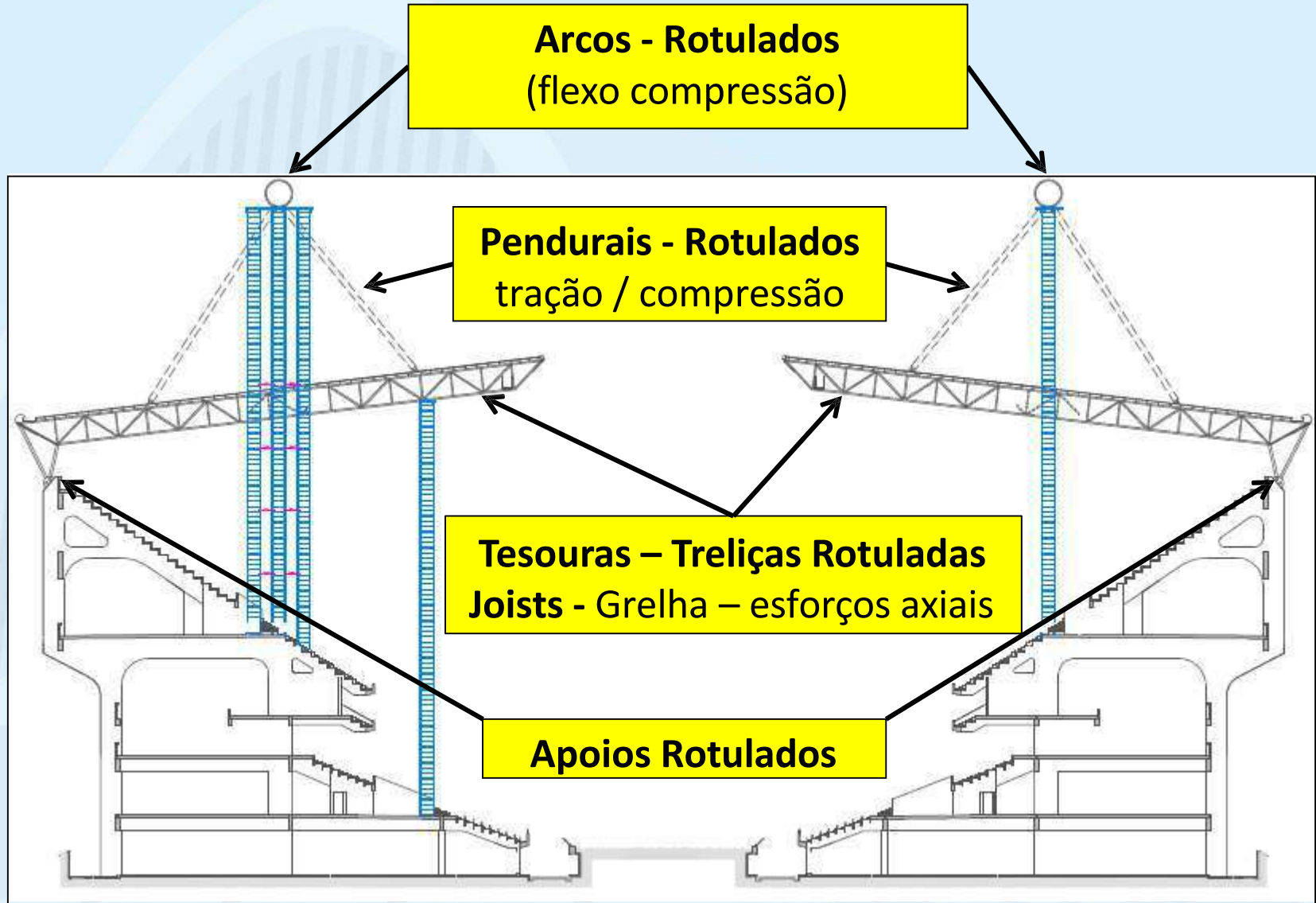
Projeto Básico licitado



CONCEPÇÃO FINAL - ELEMENTOS



CONCEPÇÃO FINAL - ESFORÇOS



CONCEPÇÃO FINAL

**Situação quando o Consórcio Engenhão assumiu a obra
(Arco Oeste parcialmente descimbrado)**



XVIII COBREAP
Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias

Projeto Estrutural da Cobertura

- OBJETIVOS**
- ❖ Obra estável
 - ❖ Resistente e durável
 - ❖ Adequada para fabricação e montagem
 - ❖ Atendendo às Normas Vigentes

- CARREGAMENTOS**
- ❖ Permanente – NBR 6120
 - ❖ Vento – NBR 6123 - Túnel de vento RWDI Canadá

- DIMENSIONAMENTO**
- Análise da instabilidade (flambagem global e local)
 - Utilizada Norma API 2A (American Petroleum Institute)



DESAFIO

Grande Deformabilidade
Construção dos Arcos e Descimbramento

- MONTAGEM DOS ARCOS**
- Analizados mais de 500 modelos estruturais para varrer todas as possibilidades de carregamento e montagem

Descimbramento dos Arcos Norte e Sul (Geral)

- Monitorado pela Fundação Coppetec (UFRJ) 28 extensômetros
- Após descimbramento
 - ❖ Leituras topográficas sistemáticas dos deslocamentos
 - ❖ Comparação com expectativas dos modelos estruturais



A INTERDIÇÃO

- ❖ Interditado em 23 de março de 2013 (6 anos 8 meses e 24 dias após inauguração)
- ❖ Motivo Alegado – Falhas na estrutura da cobertura
- ❖ Constituída Comissão Especial para analisar

Base de alegação da Comissão para as supostas falhas

- ❖ **Deformações no Arco Leste superiores às previstas**
- ❖ Adoção de carregamentos de vento inadequados (Schlaich Bergermann und Partner)
- ❖ Feitos novos estudos em túnel de vento pela empresa alemã SBP

Conclusão da Comissão → Erro de Cálculo

07 de junho de 2013 → Proposta de Reforma

ABECE (06 de maio de 2013) → Comissão de especialistas → Relatório
Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural

- ❖ Contratou a empresa britânica **BRE** (Building Research Establishment Ltd)
BRE é referência mundial em certificação de ensaios em tuneis de vento

BRE ratifica estudos e relatório da empresa canadense RDWI originalmente utilizado
Refeito todo o cálculo por outros especialistas

NADA A ALTERAR



▪ **QUESTIONAMENTOS** (Projeto Estrutural)

1) CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

2) ESTIMATIVA DE CARREGAMENTOS

3) DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES

4) DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

5) DETALHAMENTO (Desenhos)

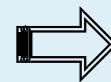
6) CQP – CONTROLE DE QUALIDADE DO PROJETO

FASE MONTAGEM

- ❖ Peso da estrutura da estrutura
- ❖ Equipamentos
- ❖ Tráfego de pessoas
- ❖ Sistema estrutural durante o escoramento
- ❖ Cargas excepcionais

FASE VIDA ÚTIL

- ❖ Cargas permanentes diversas (luminárias, placares, passarelas, etc.)
- ❖ Sobrecargas de Uso e Vento (NBR 6120 e NBR 6123)



FLAMBAGEM LOCAL DOS ARCOS

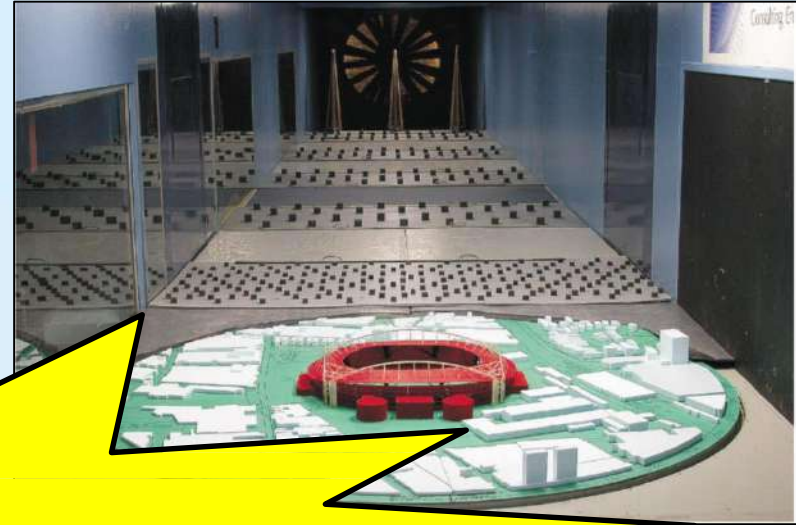
QUESTIONAMENTO → CARREGAMENTOS

▪ AÇÕES DO VENTO

RWDI 2004 – CANADÁ

- 12 carregamentos simulando as situações críticas globais (Área de Influência Maior)
- 4 carregamentos simulando as situações críticas locais (Área de Influência Menor)

SUCÇÃO MAX = - 5.716 kN



WACKER 2013 – ALEMANHA

WACKER – CONCEITO NÃO NORMATIVO!!

- ~~Vento sem efeito de direcionalidade~~
- Área de influência pontual no cálculo das médias ponderadas
- Para valores próximos a zero adotou $\pm 30 \text{ kgf/m}^2$ (Estádio de Brasília = 10 kgf/m^2)

SUCÇÃO MAX = - 15.235 kN



DIFERENÇA DE ATÉ 1.000 t

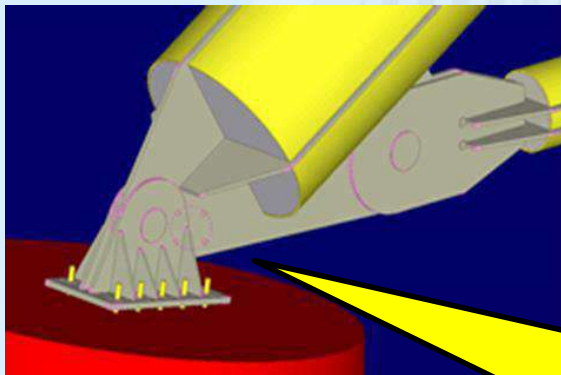


XVIII COBREAP

Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias

QUESTIONAMENTO → DIMENSIONAMENTO

▪ CONSIDERAÇÃO FLAMBAGEM LOCAL



DIMENSIONAMENTO OK!

$$\alpha = \frac{\sigma_{xc}}{\sigma_y}$$

TUBO		ESPECIFICAÇÃO		CONTROLO
				NBR 8800
2000X19	105	0,903	0,870	0,907
2000X22	90	0,930	0,900	0,945
2000X25	80	0,952	0,920	0,983



XVIII COBREAP

Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias

9 VISTORIAS DIÁRIAS (Fevereiro e Março 2014)
INSPEÇÃO VISUAL DE TODOS OS ELEMENTOS
ANÁLISE DE DOCUMENTOS HISTÓRICOS
(Projeto Inicial e Detalhamento, Relatórios e Registros Fotográficos)

CONCLUSÃO

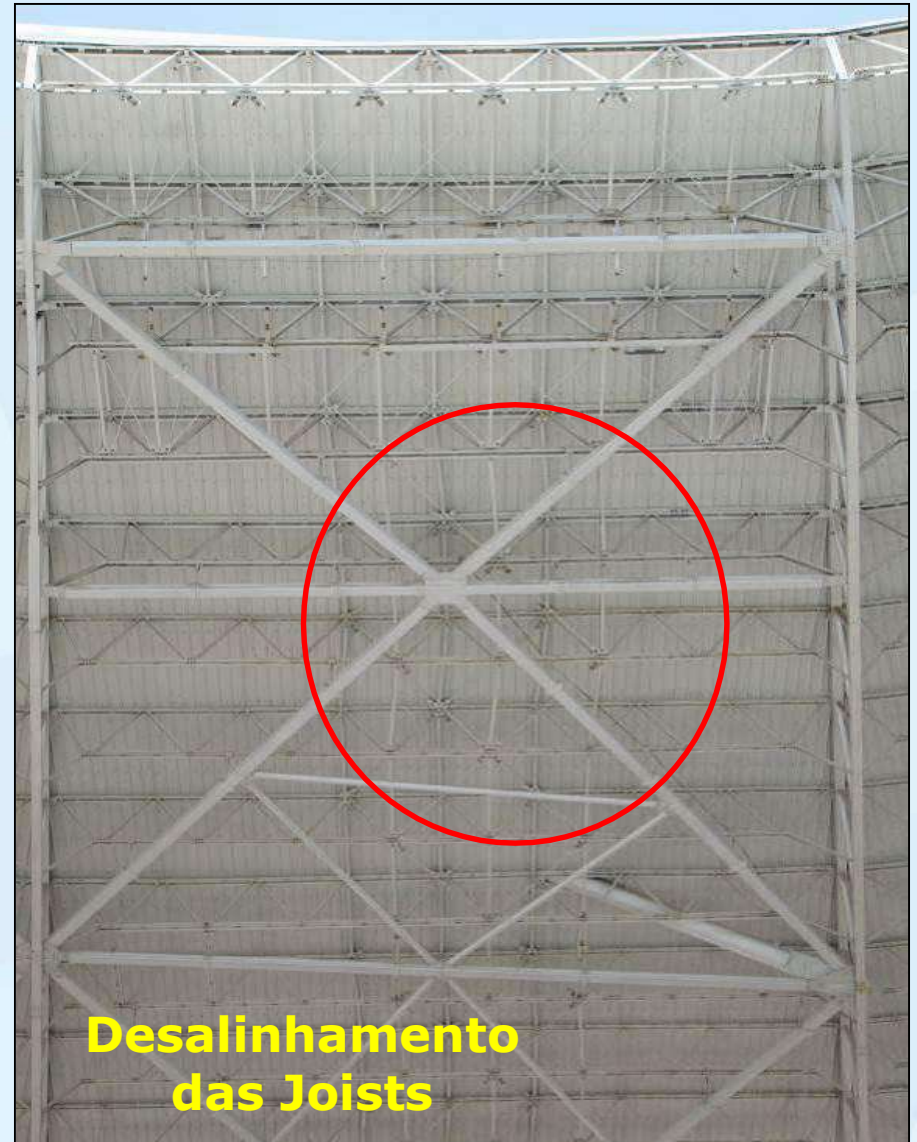
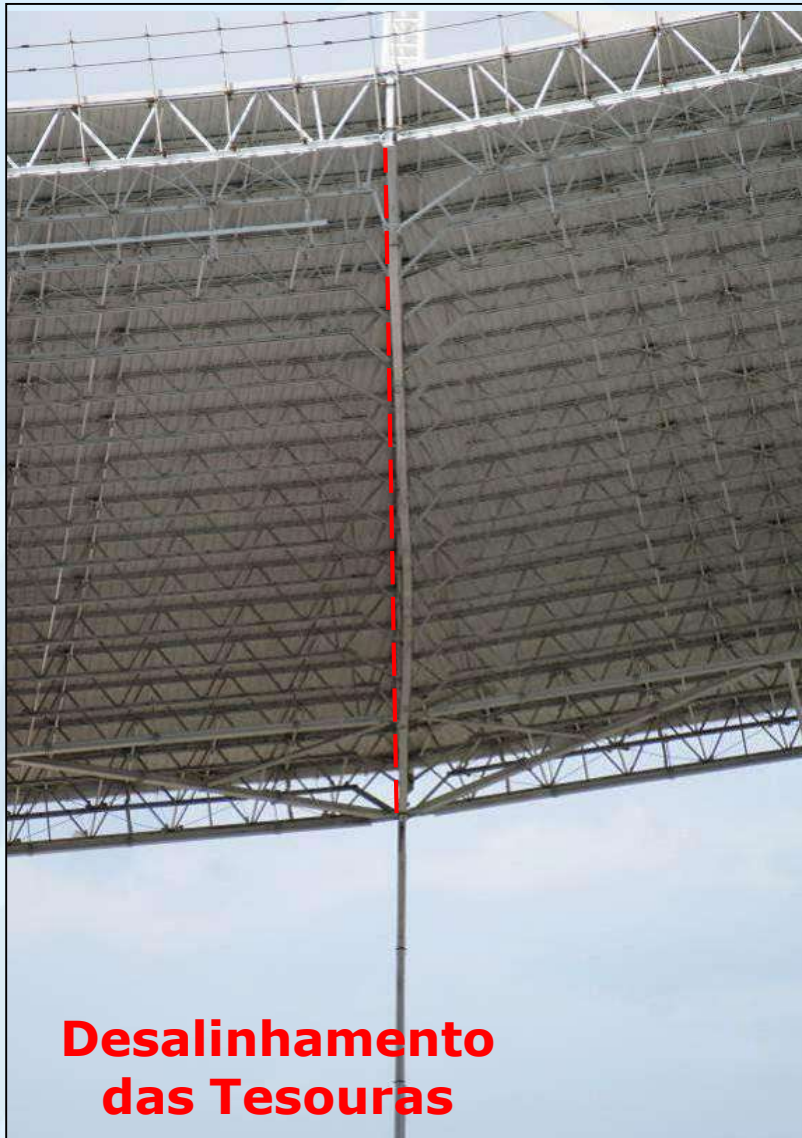
NÃO EXISTE evidência física de que a estrutura da cobertura apresentou deficiência ou instabilidade durante seu funcionamento.

O quadro observado na complexa situação da estrutura da cobertura, tem como causa essencial problemas durante a montagem.

QUADRO PATOLÓGICO

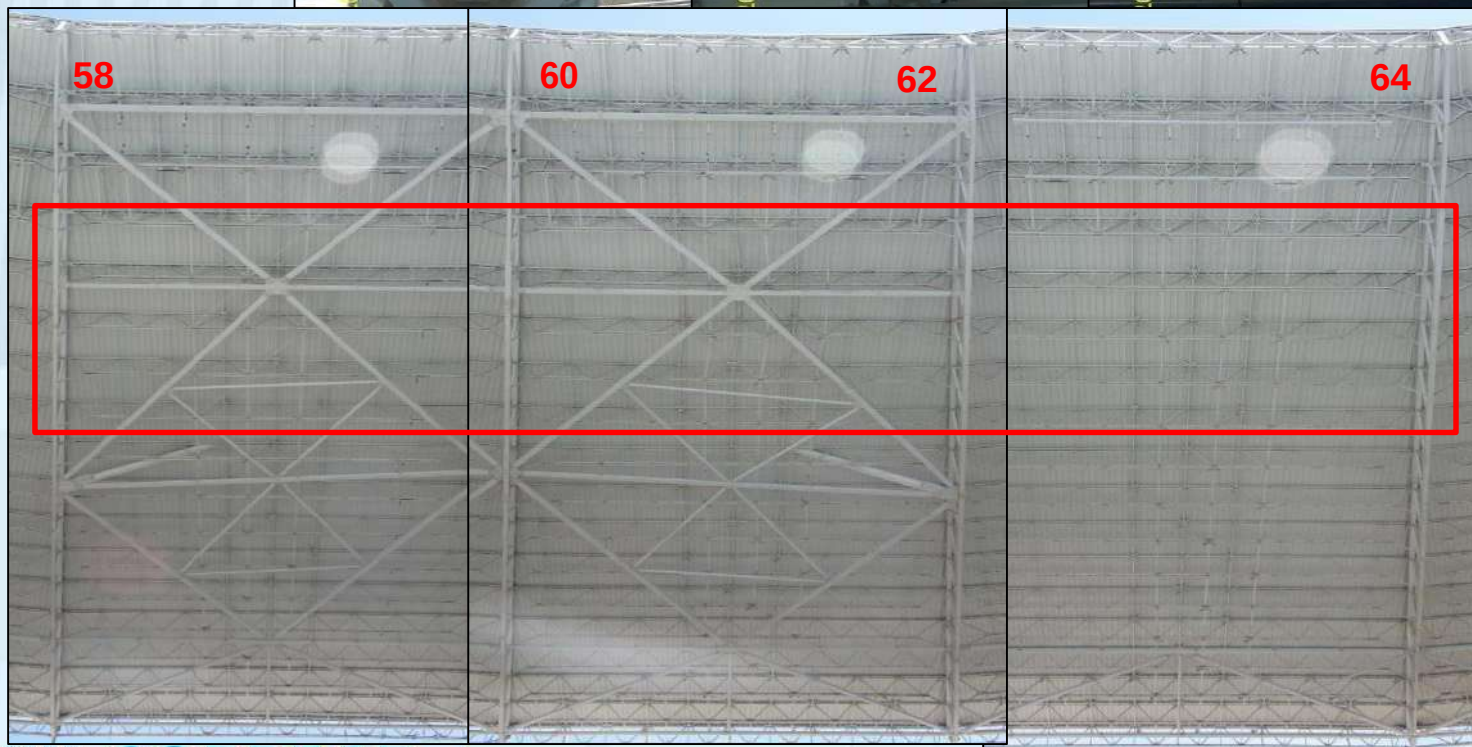


QUADRO PATOLÓGICO



QUADRO PATOLÓGICO

JOIST 60-62
SETOR SUL



QUADRO PATOLÓGICO



RÓTULAS INTACTAS !!



ANÁLISE DO QUADRO

ARCOS

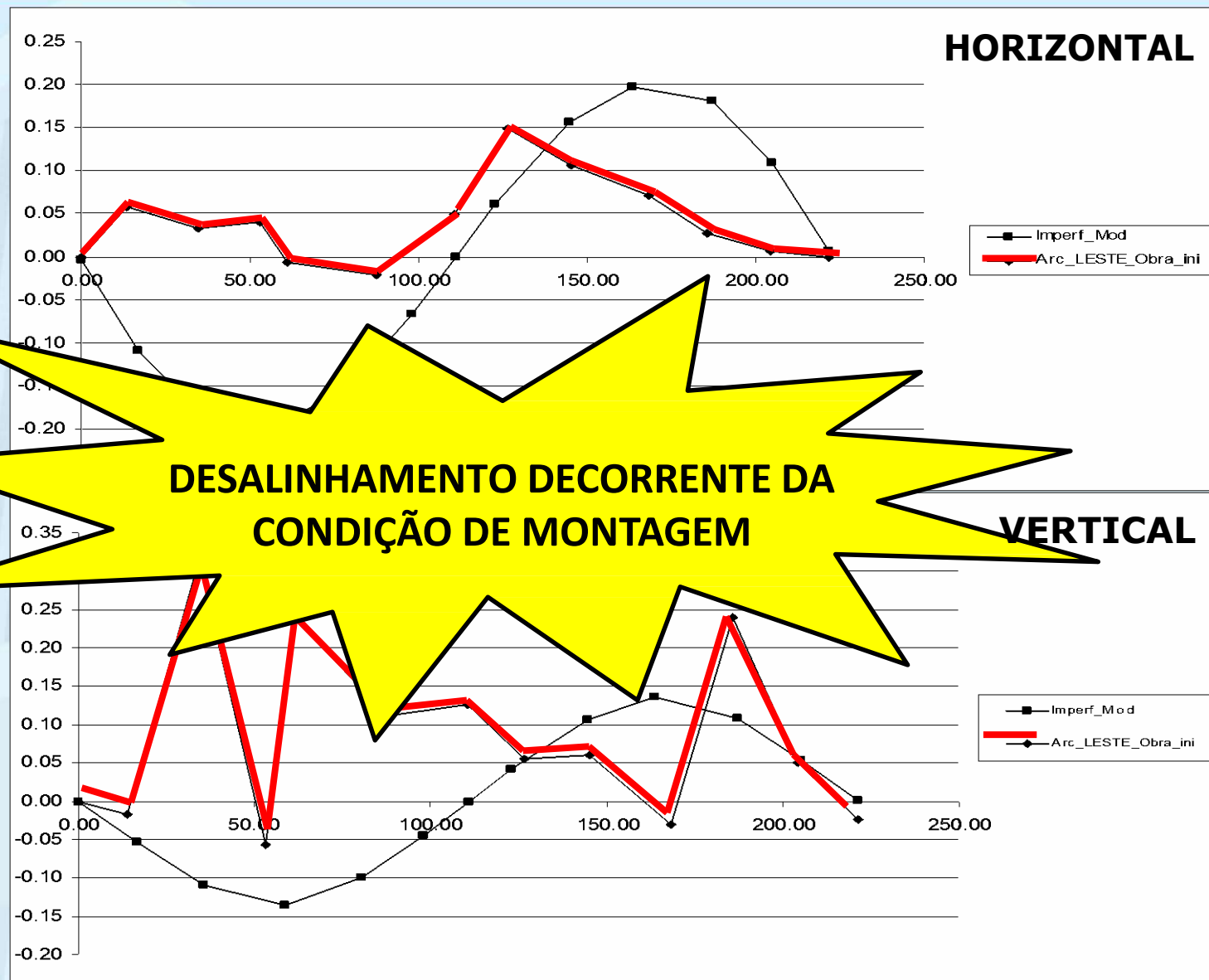
Rótulas não
evidenciam
movimentação!

Pesquisa e Análise
do Procedimento
de Montagem

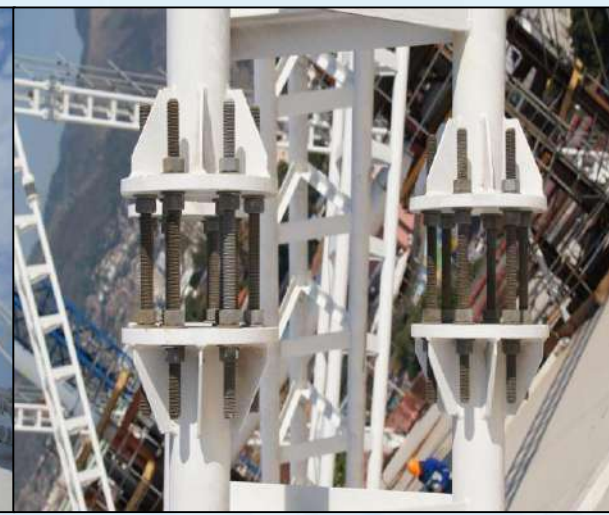
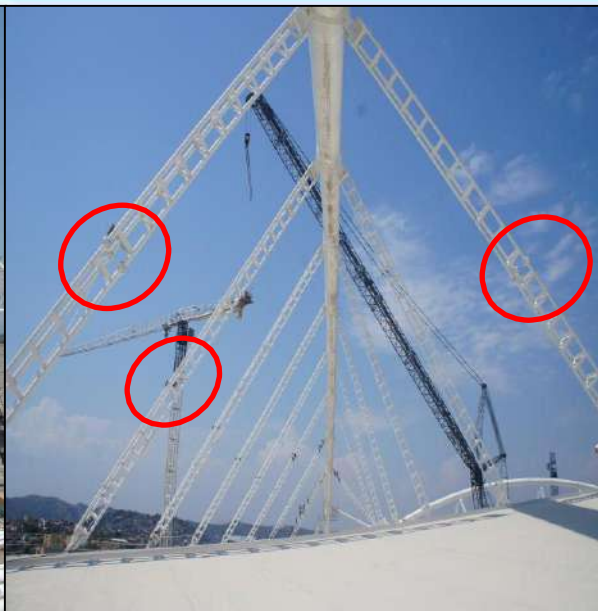


ANÁLISE DO QUADRO

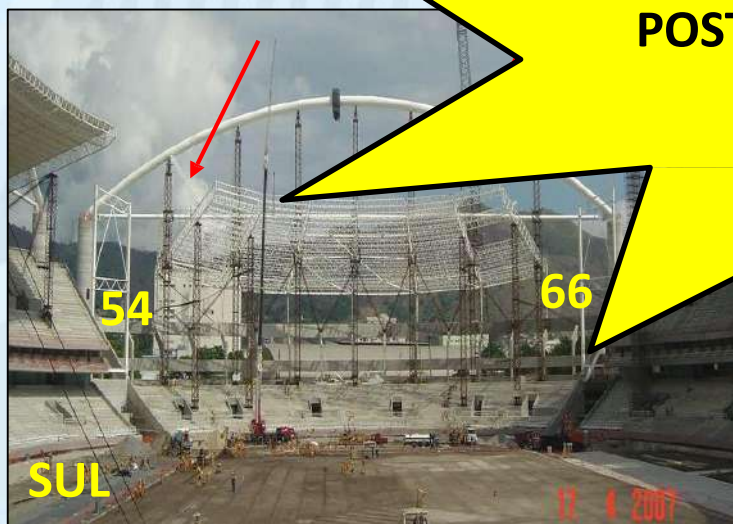
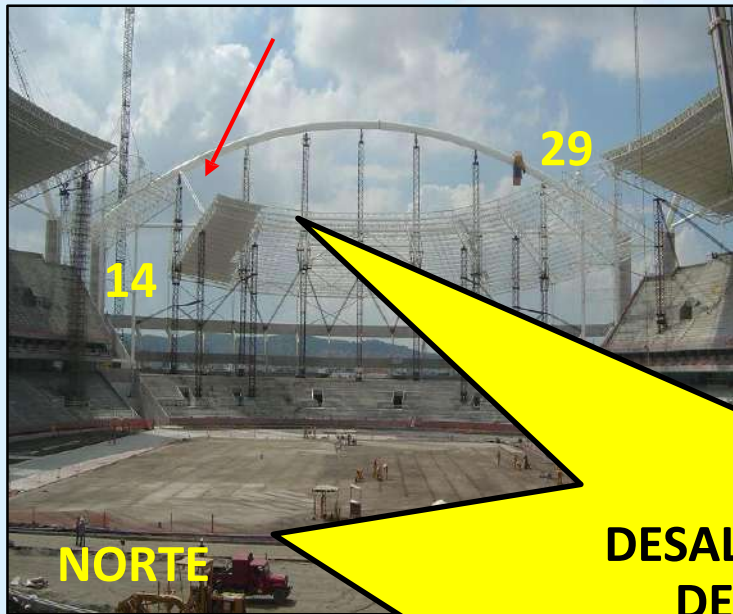
ARCO LESTE
IMPERFEIÇÕES
LEVANTADAS
ANTES DO
DESCIMBRAME
NTO
(Retirada das
Torres)



ANÁLISE DO QUADRO



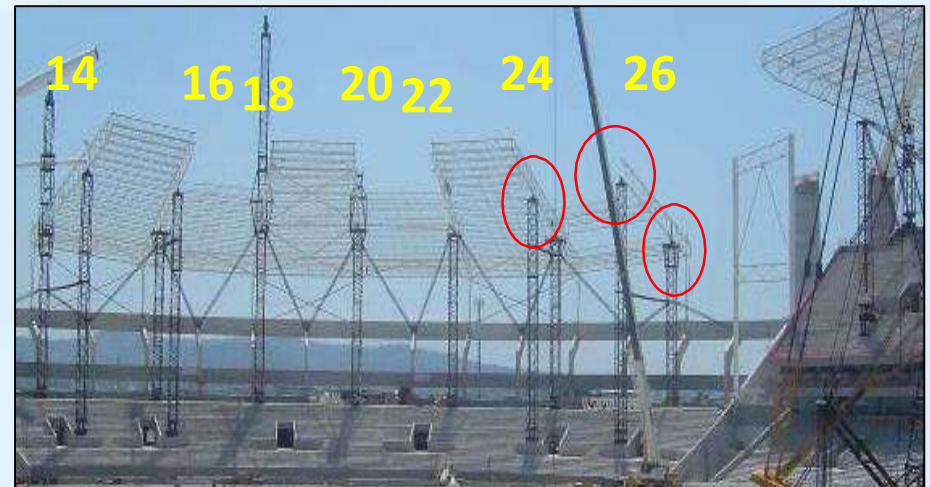
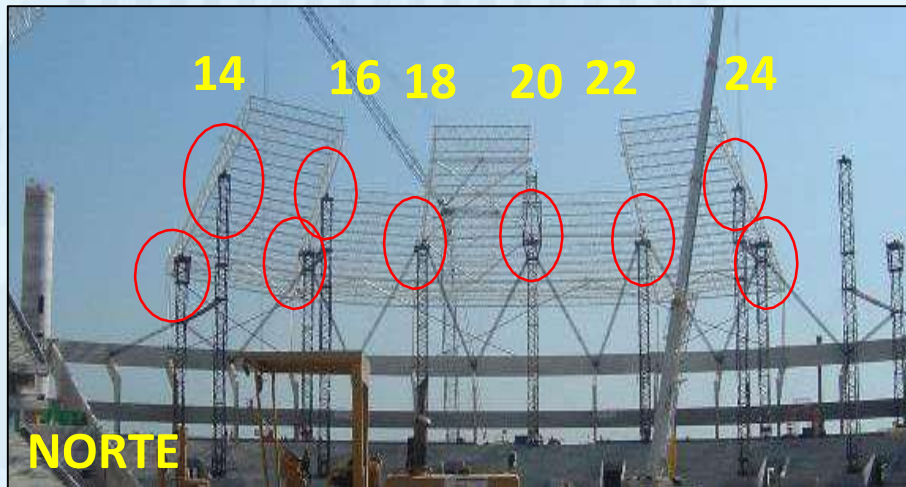
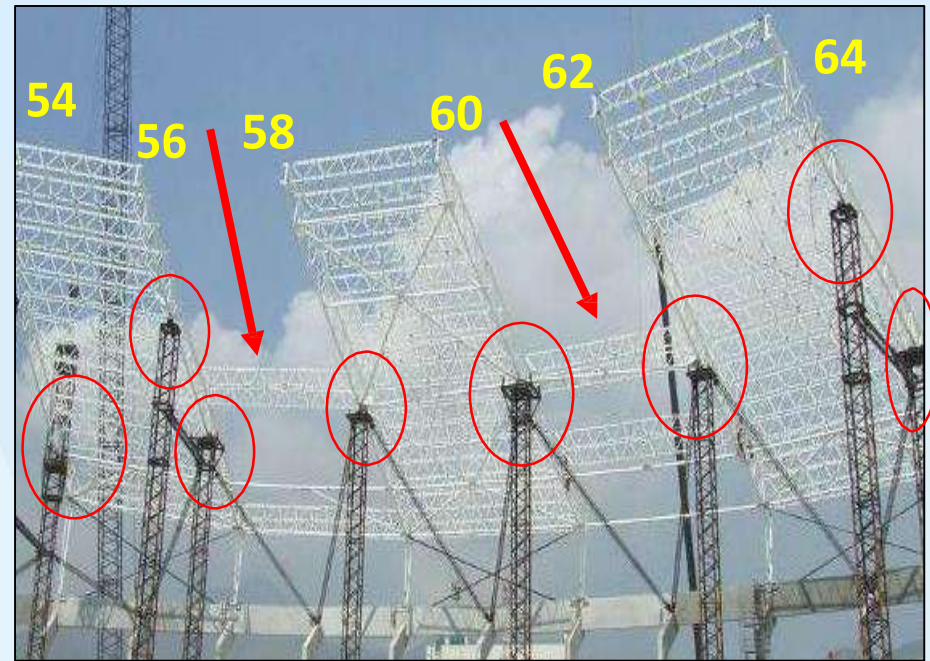
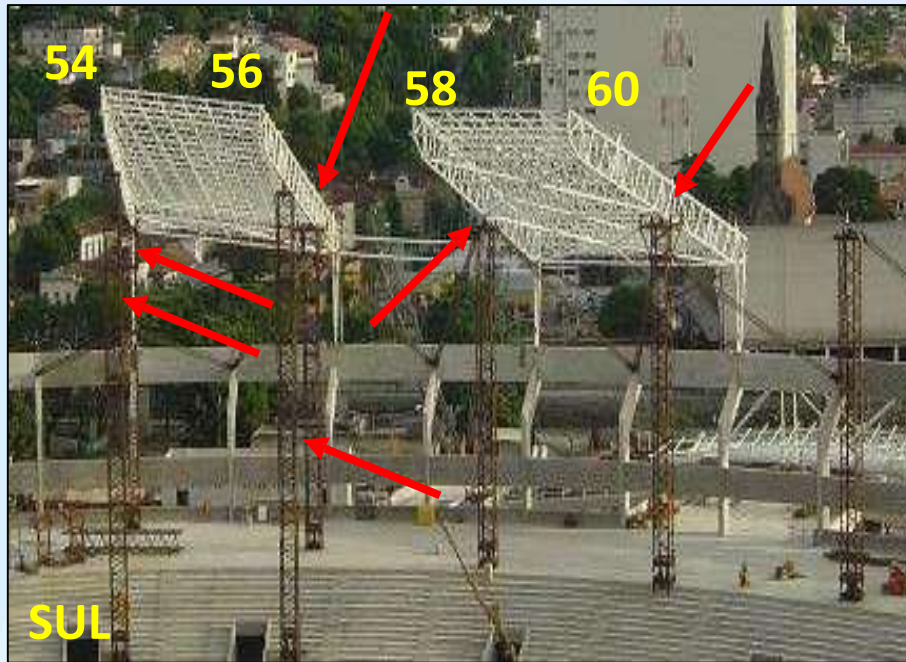
ANÁLISE DO QUADRO



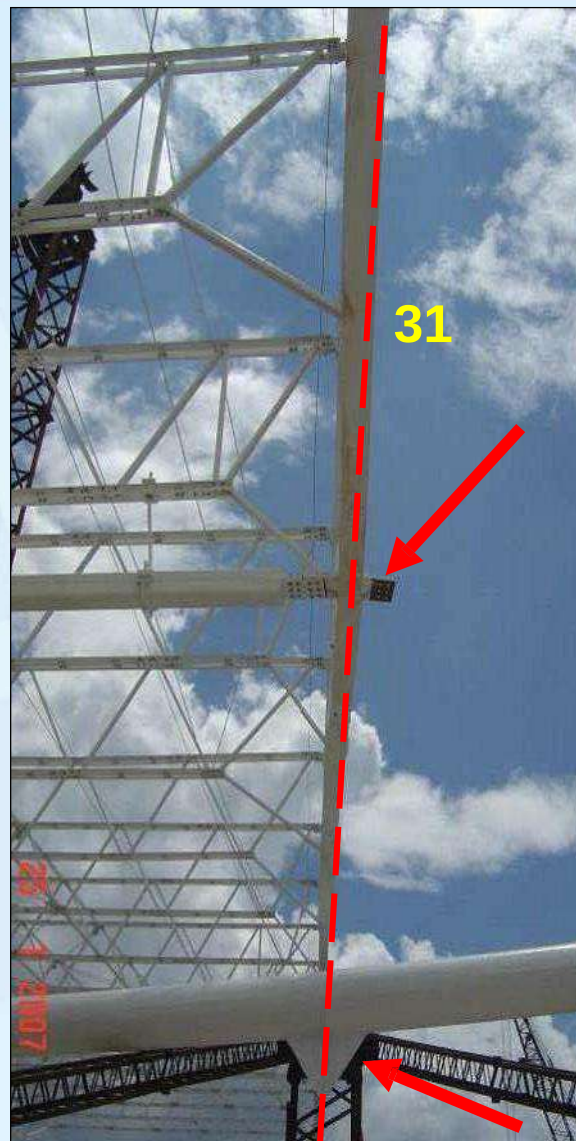
**DESALINHAMENTO DOS PENDURAIIS
DECORRENTE DA MONTAGEM
POSTERIOR, COM ALTERAÇÃO DO
SISTEMA DE CONECÇÃO**



ANÁLISE DO QUADRO



ANÁLISE DO QUADRO



07

09

**DESALINHAMENTO MANTIDO DESDE
A MONTAGEM DEVIDO ÀS CONDIÇÕES
DE EXECUÇÃO**

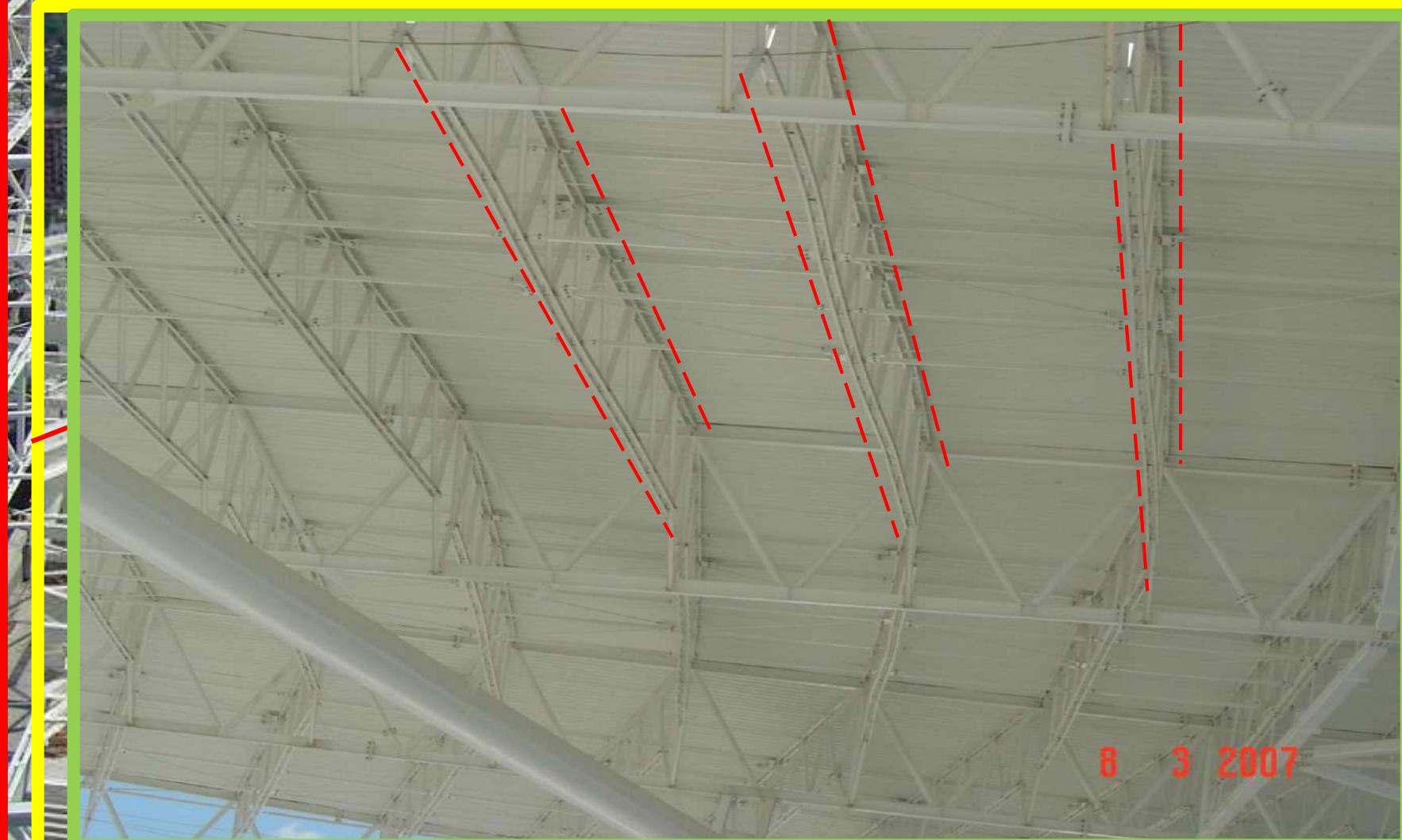
09

ANÁLISE DO QUADRO

**Dificuldades de posicionamento das peças conforme projeto
AJUSTES NO LOCAL**



ANÁLISE DO QUADRO



ANÁLISE DO QUADRO - CONCLUSÃO

RÓTULAS : Sem evidência de movimentação (tinta)

PERFIS : Inexistência de flambagem

CONEXÕES PARAFUSADAS : Inexistência de ruptura

DESALINHAMENTOS : Foram verificados durante a fase de montagem da estrutura, anteriormente ao carregamento final.

PORTANTO

NÃO EXISTE evidência física no local que demonstre que a estrutura da cobertura apresentou deficiência ou instabilidade durante seu funcionamento.



ANÁLISE DO QUADRO - DESLOCAMENTOS

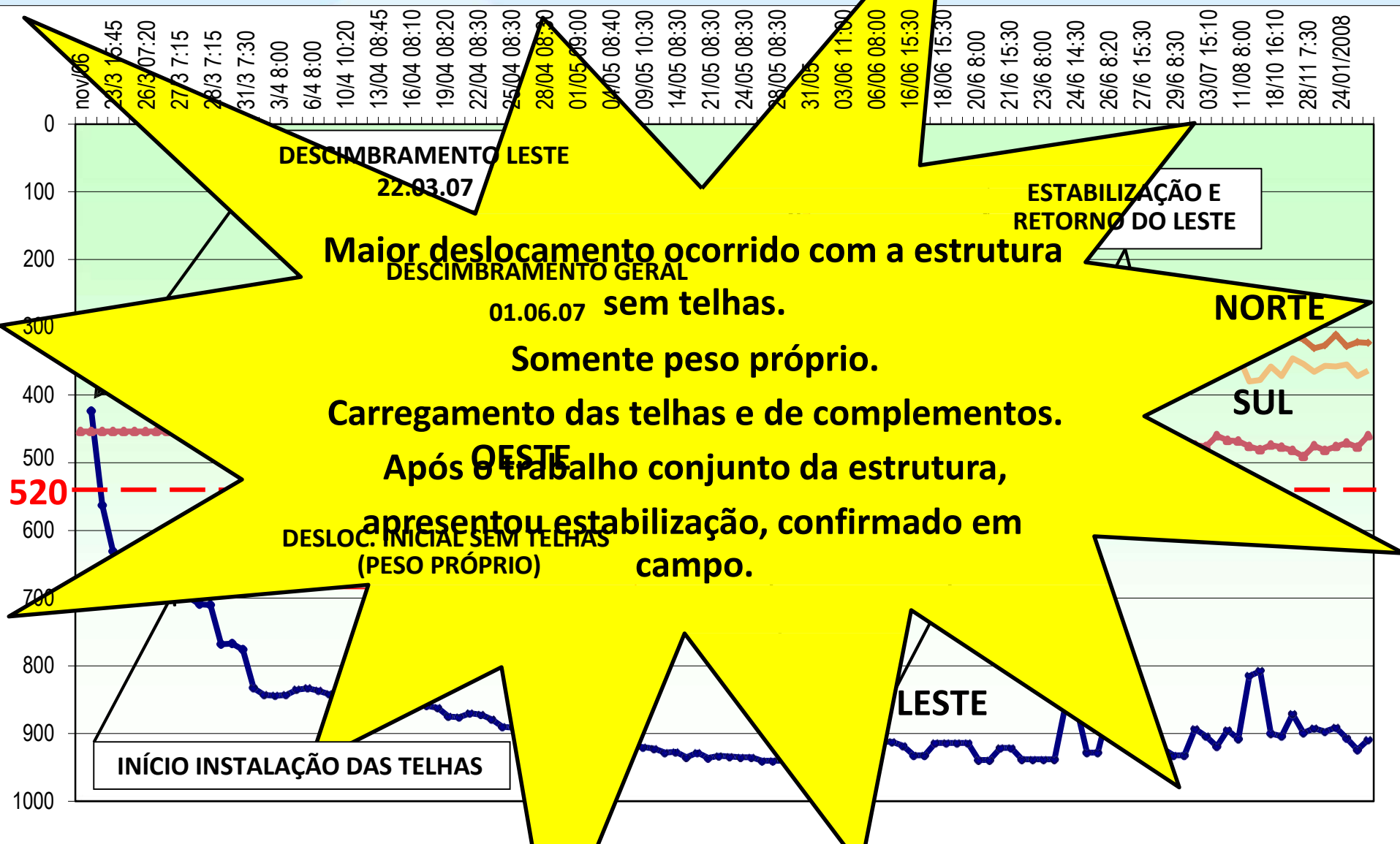
Anomalias observadas – Vistoria e Análise – Condições de Montagem

Dimensionamento correto conforme Normas Específicas

Deslocamento Excessivo - Análise das Etapas de DESCIMBRAMENTO



ANÁLISE DO QUADRO - DESLOCAMENTOS



CONCLUINDO A ANÁLISE

▪ PROJETO

- ❖ Carregamentos Permanentes – OK
- ❖ Carregamento de Vento – Ensaio RWDI - OK
- ❖ Ensaio WACKER – Errado!
- ❖ Dimensionamento Flambagem Local dos Arcos - OK

➤ **COMPROVAÇÃO DA ESTABILIDADE TEÓRICA**

▪ CAMPO

- ✓ Desalinhamentos decorrentes da Montagem
- ✓ Inexistência de Anomalias causadas por trabalho da estrutura (Flambagens, Trincas, etc.)

➤ **COMPROVAÇÃO DA ESTABILIDADE EM TRABALHO**

▪ DESLOCAMENTOS

- ✓ Deslocamentos excessivos ocorridos apenas com peso próprio, sem telhas
- ✓ Deslocamentos excessivos devido às condições de montagem
- ✓ Estabilização com a estrutura completa



CONSIDERANDO

As análises realizadas, da cobertura do Estádio Engenheiro Aroucha, após a realização dos jogos, com reflexos já visíveis sobre o estado da estrutura, não são adequadas para garantir a confiabilidade estrutural prescritos pela norma NBR-8800/08.

Pela Análise Teórica e de Campo, verifica-se que estas considerações são tecnicamente equivocadas !



**OS AUTORES ESTÃO CONVICTOS DA
NÃO NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO
NEM DE QUAISQUER REFORÇOS
ESTRUTURAIS NO ESTÁDIO!!!**

OBRIGADO!!!

