



# Colapso del edificio Champlain Towers, Miami. *Lecciones aprendidas de un caso de punzonamiento*



*"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"*

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

UTN-FRCU

27 de septiembre de 2022

Concepción del Uruguay

1

Torres Champlain Towers South

8777 Collins Avenue, Miami Surfside

Inaugurado em 1981, investidor/construtor Nathan Reiber

Champlain Towers North, 1981 & Champlain Towers East, 1994

Todos em forma de L com 12 andares

Colapso por volta das 01h 30

24 de Junho de 2021 40 anos de idade

98 mortos

2



3



4

Una residente dijo a *The Post* que minutos antes de que se derrumbara **Champlain Towers South** en **Surfside**, se dio cuenta de que una sección de la cubierta de la piscina y una zona de aparcamiento a nivel de la calle se habían derrumbado. El marido de otra residente ha dicho que su esposa, que no ha sido vista desde el desastre, hizo una observación similar en una llamada telefónica poco antes del colapso.

**Sara Nir**, una residente, dijo a *The Post* que poco antes de la 1 de la madrugada notó fue ruidos de “**golpes**” que supuso eran causados por las obras de construcción. Alrededor de la 1:14 de la madrugada, oyó un ruido que le pareció el de un muro que se derrumbaba, y salió de su apartamento de la planta baja para quejarse a un guardia de seguridad en el vestíbulo.

5

## **Primera lección**

**Manténgase atento y escuche los gritos de la estructura, ya que pueden ocurrir accidentes graves y colapsos en cualquier momento y edad de una estructura.**

**Todas las estructuras advierten que están a punto de colapsar, ¡pero el desafío es saber cómo entender los signos de la estructura!**

**¡Solo aquellos que entendieron la advertencia fueron salvos!**

6

# South Florida apartment building evacuated after engineers deem it structurally unsafe

By Amanda Musa and Melissa Alonso, CNN

Updated 1733 GMT (0133 HKT) April 5, 2022



### More From CNN



Doja Cat stuns at Grammys red carpet in dreamy Versace gown



Rare black lion tamarin born at Jersey Zoo

## REPERCUSSÕES

7

Related Article: After Surfside tower collapse, condo residents in Florida and beyond wonder if they should worry

belongings. The city will schedule a time for residents to come back later this week to pick up heavier furniture and large items," Cabrera said in an email to CNN.

In July, North Miami Beach ordered the evacuation of a 10-story building, Crestview Towers, after a report determined the building's structure to be unsafe. The residents have not yet returned, Cabrera said.

"The residents at Crestview have not been allowed back to the property because the structural repairs just started two weeks ago," Cabrera told CNN. "The electrical repairs have not started yet. Therefore, the building is still unsafe until the property completes the repairs needed for re-occupancy."

USA company, Live in São Paulo  
Find Jobs Online | Search Ads  
254x282x400cm  
Marrom Material Leroy Merlin

### SPONSORED CONTENT



E num piscar de olhos, eles deixaram de ser celebridades

Investing.com - BR

Recommended by Outbrain

## REPERCUSSÕES imediatas !

PAID CONTENT

Smartfeed

8



9

**NIST encourages members of the public to submit any information, including video, photos or other documentation**

- ✓ June 24, 2021, Champlain Towers South, 12-floor condominium in Surferside, Florida, at 1:30 a.m.
- ✓ June 25, NIST began a team of six scientists and engineers to collect firsthand information on the collapse.
- ✓ June 30 decided full technical investigation of the collapse by National Construction Safety Team (NCST) Act
- ✓ NCST's work will not interfere with the ongoing search-and-rescue operation at the scene of the collapse.
- ✓ NCST's role is not to determine any culpability.
- ✓ NCST investigation is to determine the technical diagnose and cause of the collapse and, learning from that, to recommend changes to building codes, standards and practices, and appropriate actions to improve the structural safety of buildings.

10



### **Inspeções**

recolheram para análise em laboratório cerca de 200 elementos construtivos

11

## **Segunda Lição**

- ✓ Transparência → criar um portal de acesso público com todas as informações e fotos
- ✓ Valorizar a pesquisa tecnocientífica, junto com a polícia e bombeiros, desde o primeiro dia
- ✓ Nomear uma equipe multidisciplinar responsável, com poder e autonomia (“*Comitê de Crise do Buraco*”)

*“públicas e privadas”*

12

Sobre a sequência do colapso há consenso:

1. laje de recreação
2. 1ª parte da torre
3. 2ª parte da mesma torre
4. 3ª parte da mesma torre
5. parte lateral da torre



13

**...então qual a dúvida?**

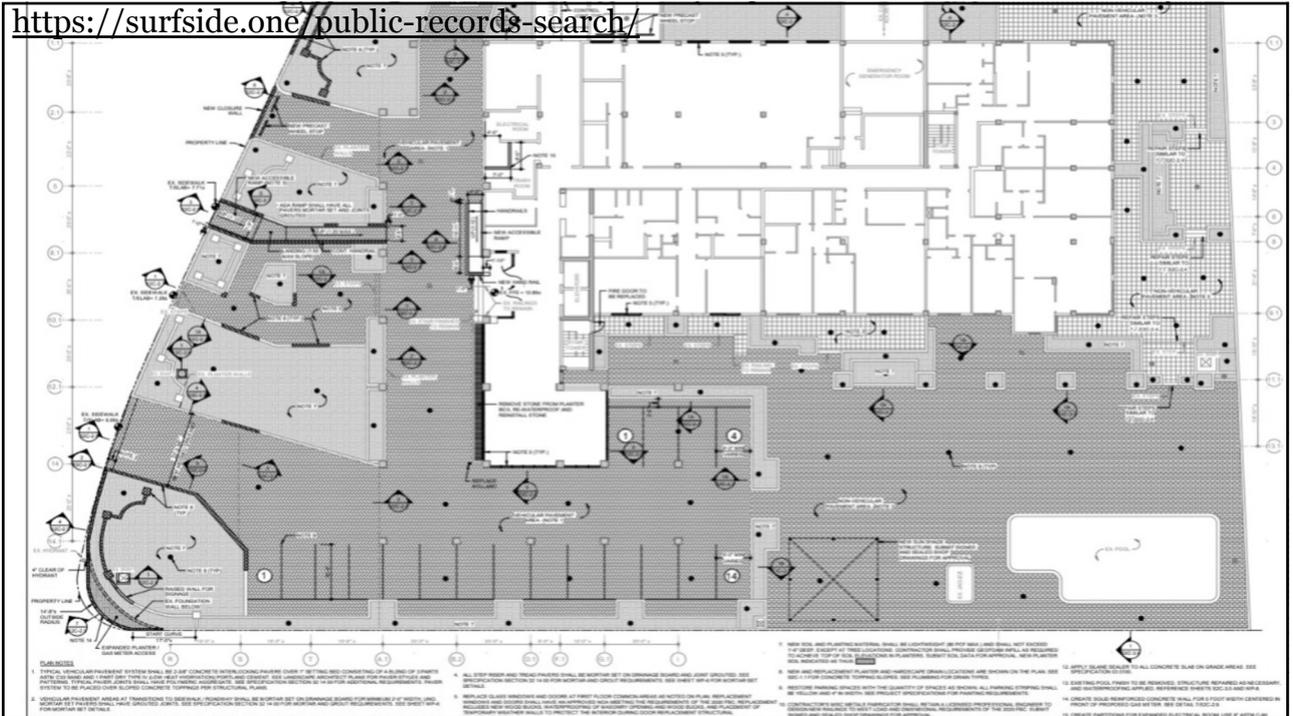
**Qual foi o gatilho?**

**Porquê uma parte se propagou à outra?**

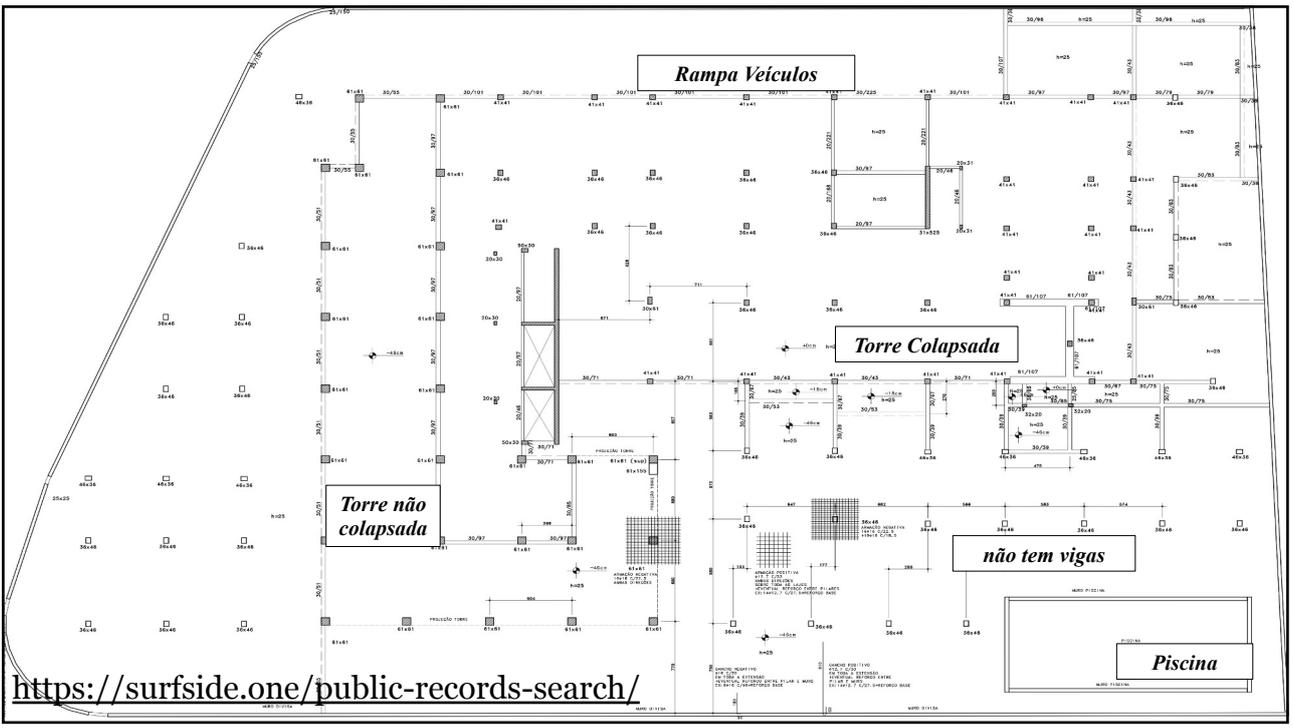
**Porquê depois de 40 anos?**

14

<https://surfside.one/public-records-search/>



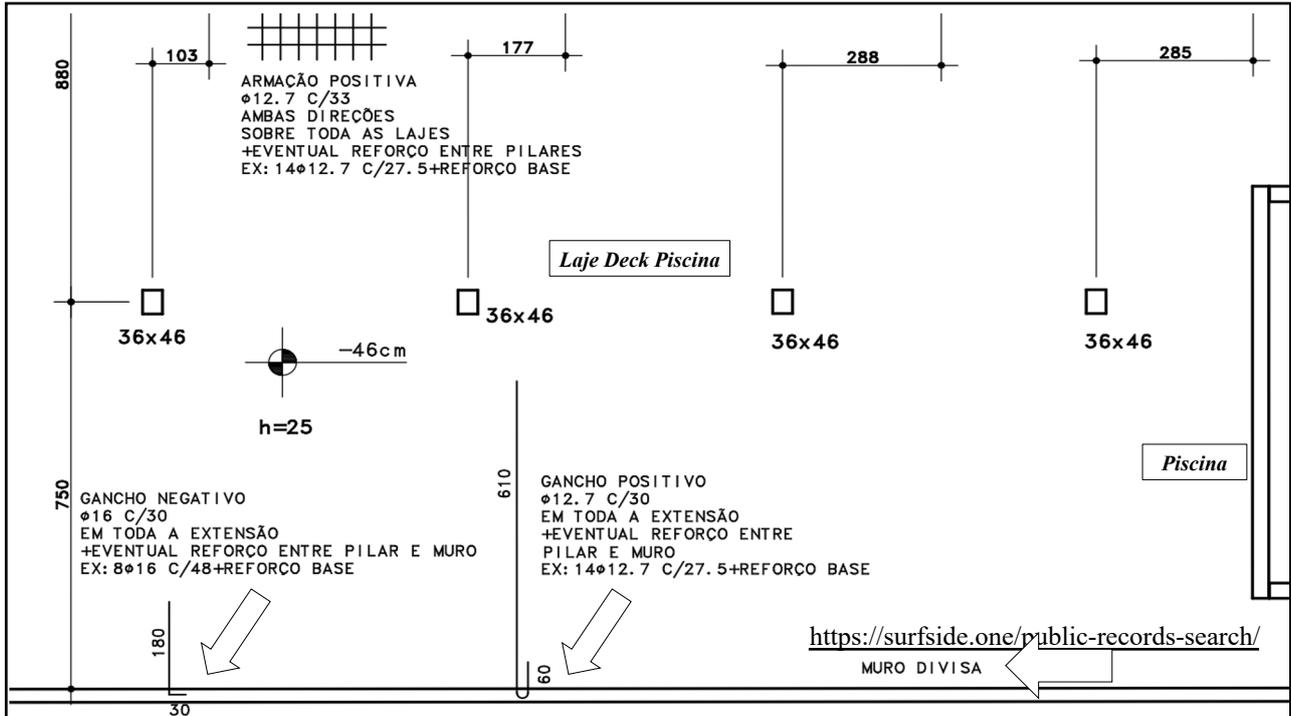
15



<https://surfside.one/public-records-search/>

16

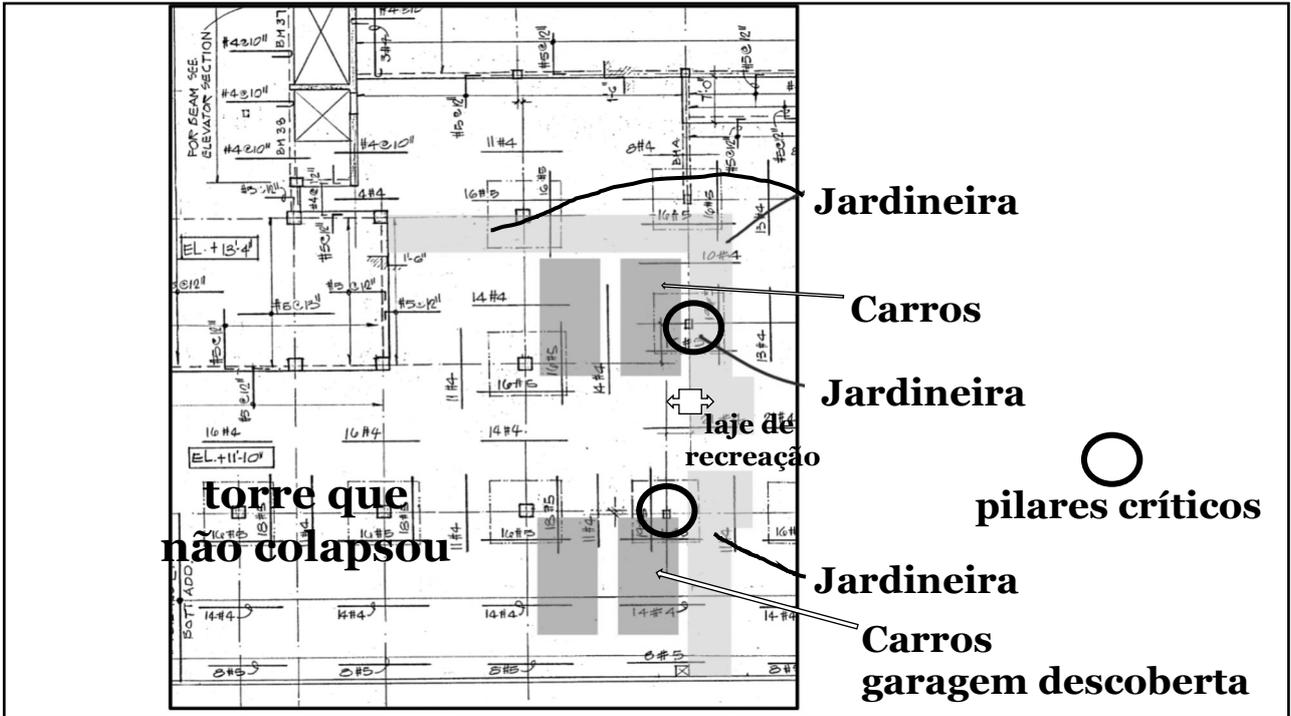




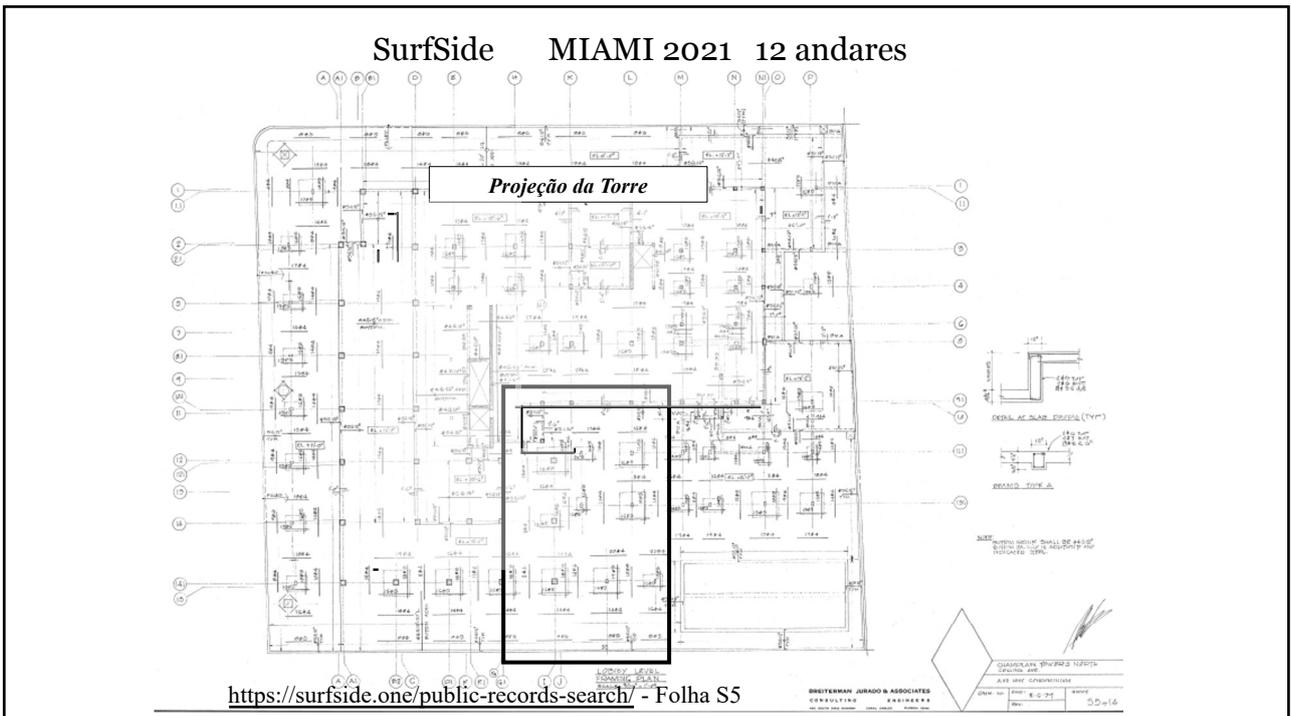
19



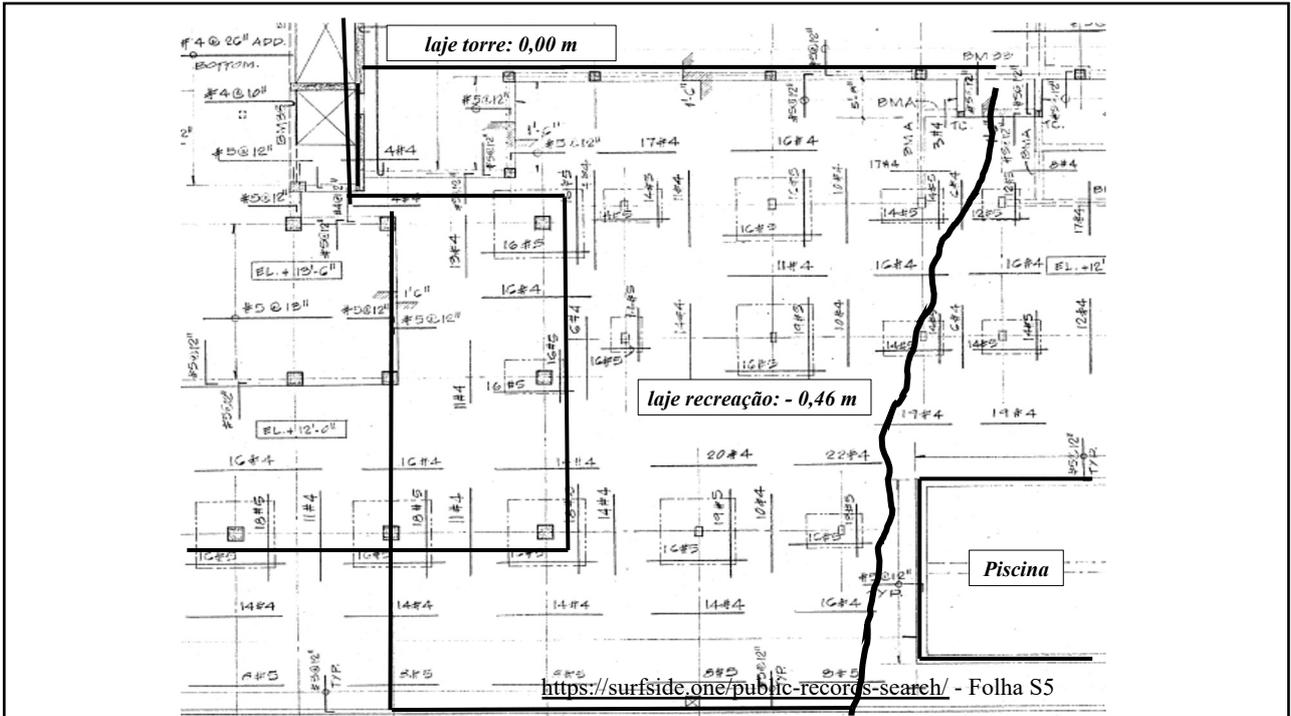
20



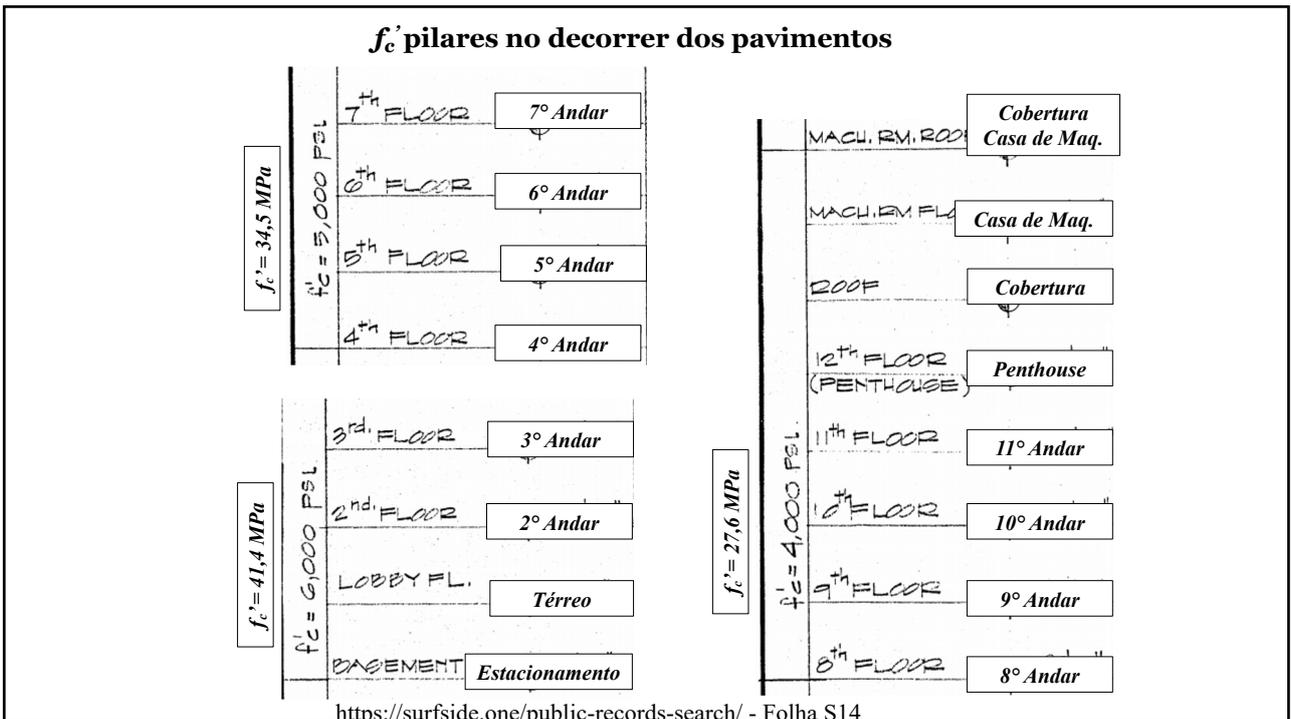
21



22



23



24

- ✓ Concreto pilares da garagem até o terceiro andar: 6.000psi (41,4 MPa)
- ✓ Concreto lajes até o 8 andar: 4.000psi (27,6 MPa)
- ✓ Armadura pilar 61x61cm : 12Ø32 →  $A_s=98,28\text{cm}^2$  →  $\rho=2,64\%$
- ✓ Armadura pilar 41x41 cm : 8Ø36 →  $A_s=80,48\text{cm}^2$  →  $\rho=4,79\%$
- ✓ Armadura pilar 36x46 cm: 10Ø32→ $A_s=81,9\text{cm}^2$  →  $\rho=4,95\%$
- ✓ Espessura lajes: 25cm (térreo), 20cm (tipo)
- ✓ Armadura inferior lajes: Ø12,7 C/30cm→  $\rho=0,17\%$  (térreo), 0,19% (tipo)
- ✓ Não foi encontrado em projeto detalhe de armadura de punção

<https://surfside.one/public-records-search/> - Folhas S14 e S6

26



Pilares

<https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/champlain-towers-south-collapse/news-and-updates->

27



Pilares

<https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/champlain-towers-south-collapse/news-and-updates->

28



Pilares

<https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/champlain-towers-south-collapse/news-and-updates->

29



Lajes

<https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/champlain-towers-south-collapse/news-and-updates->

30



Lajes

<https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/champlain-towers-south-collapse/news-and-updates->

31

# Punção

## *ilustração*

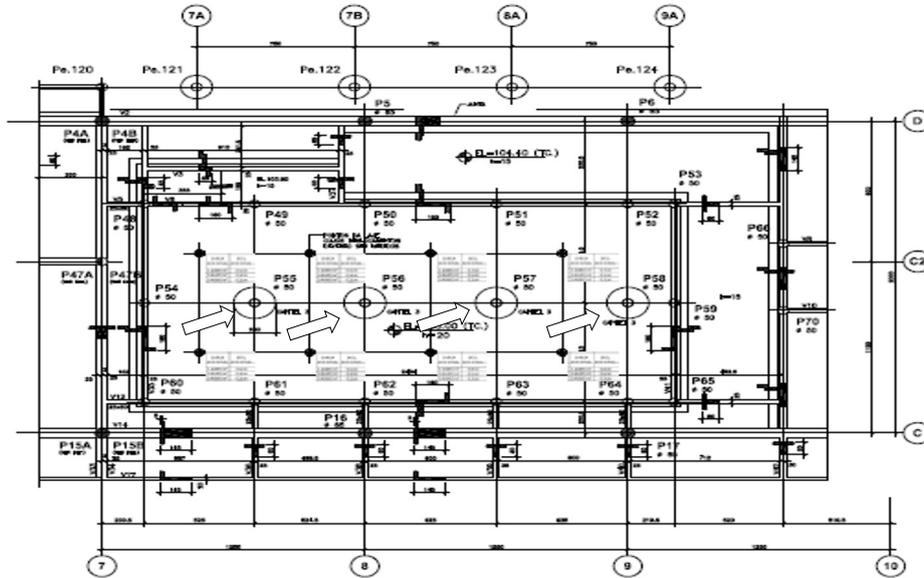
32



33

# Piscina de Centro Esportivo

## Prova de Carga



34



35



36



37



38

Paulo Helene  **MANUAL**

**PARA REPARO,**  **Punção**

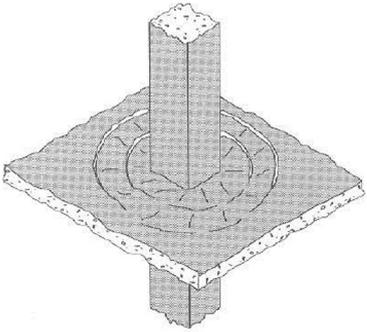
**REFORÇO E** **Maniferação Típica**

**PROTEÇÃO DE** 

**ESTRUTURAS** 

**DE**  **CONCRETO**

Projeto de Divulgação Tecnológica  



39



Laje

<https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/champlain-towers-south-collapse/news-and-updates->

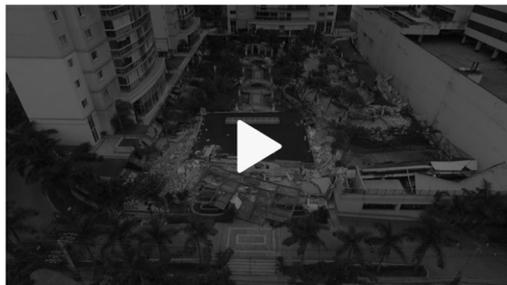
40

19/07/2016 09h49 - Atualizado em 19/07/2016 19h32

## Área de lazer em condomínio de luxo desaba e porteiro é achado morto

Drone mostra o estrago no Grand Parc, na Enseada do Suá, em Vitória. Suspeita é de vazamento de gás, segundo Corpo de Bombeiros.

Viviane Machado e Victoria Varejão  
Do G1 ES



As torres do condomínio de luxo Grand Parc Residencial Resort, na Enseada do Suá, em Vitória, foram esvaziadas após toda a **área de lazer desabar, na manhã desta terça-feira (19)**. Quatro pessoas ficaram feridas e **um porteiro ficou desaparecido até as 17h. Ele foi encontrado morto**. O desabamento aconteceu por volta de 3h.

<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2016/07/torres-de-condominio-de-luxo-no-es-sao-evacuadas-apos-desabamento.html>

Exemplo de  
punção e  
robustez

41



42



43



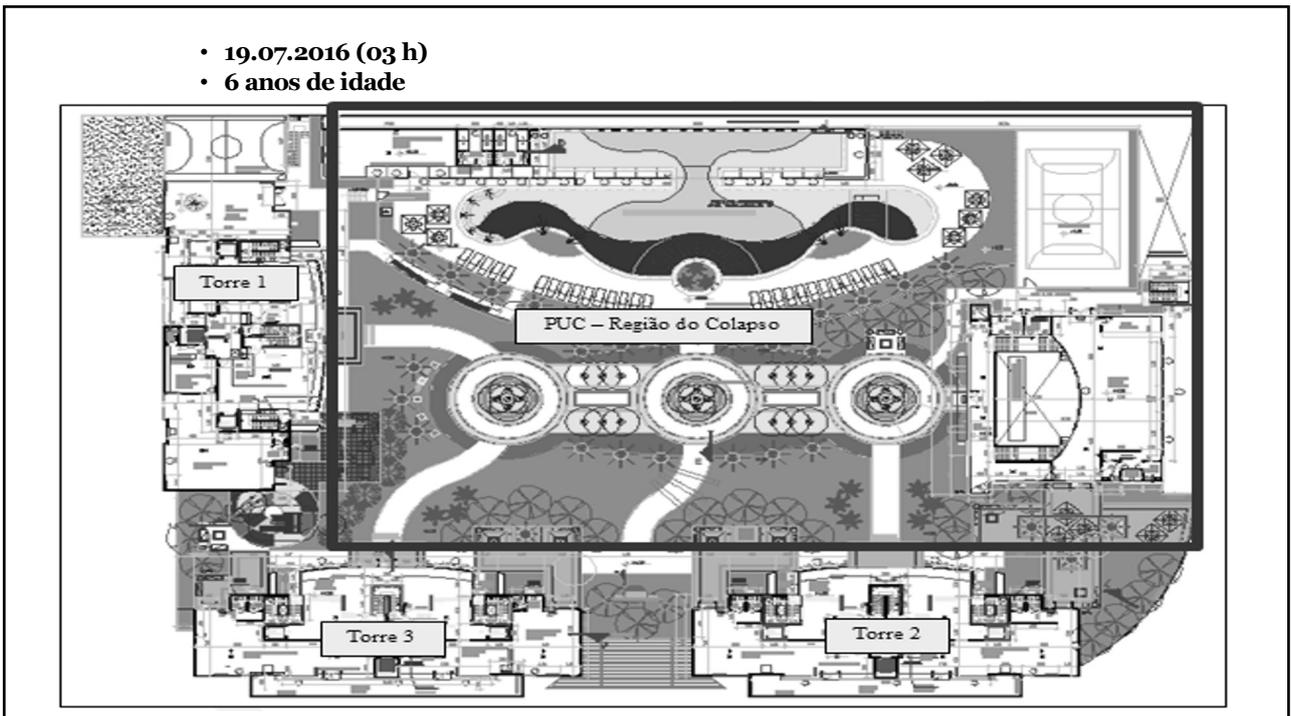
44



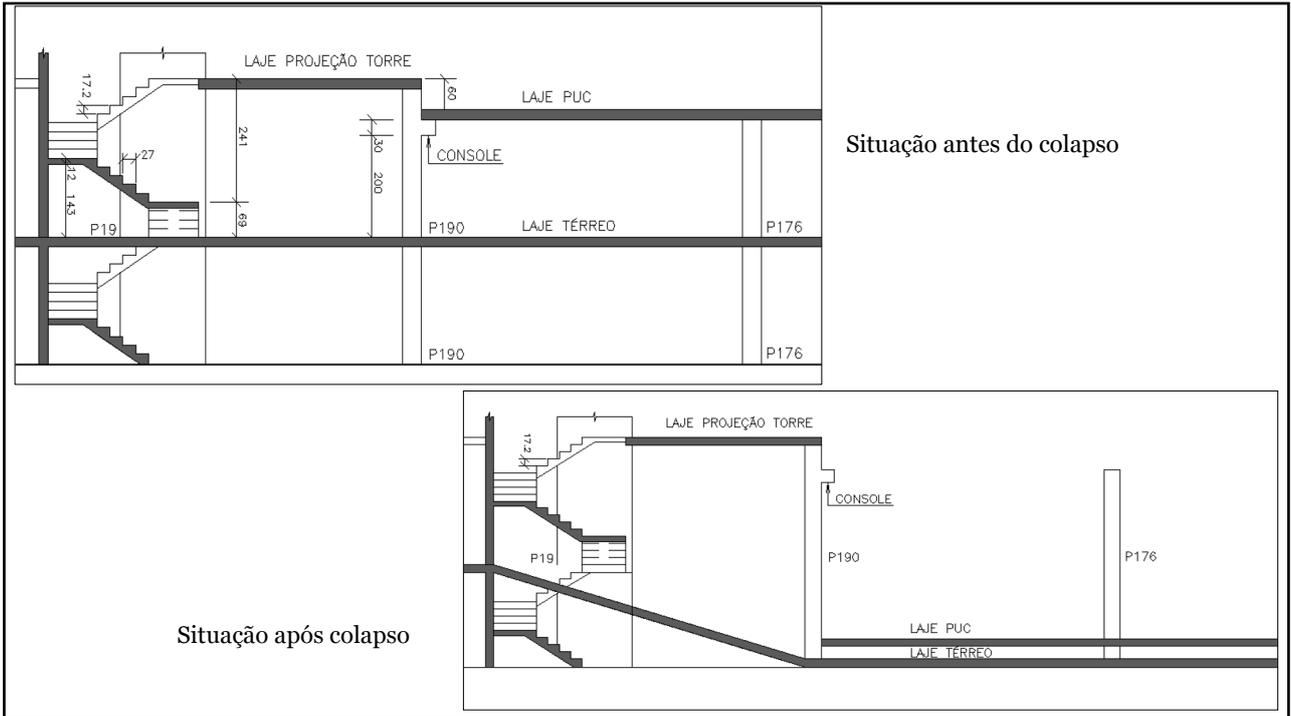
45



46



47



48



49



50



51

## Hipóteses do “Gatilho”

1. Corrosão das armaduras dos pilares
2. Estrutura com lajes planas sem vigas
3. Efeitos ambientais de sumidouros
4. Corrosão de armadura da laje perto piscina

52

October 8, 2018

Re: *Champlain Towers South Condominium  
Structural Field Survey Report*

MC Job# 18217

Page 8

O Relatório estrutural de Morabito, 2018, demonstra que a corrosão das armaduras nos pilares era inicial e jamais suficiente para justificar um colapso

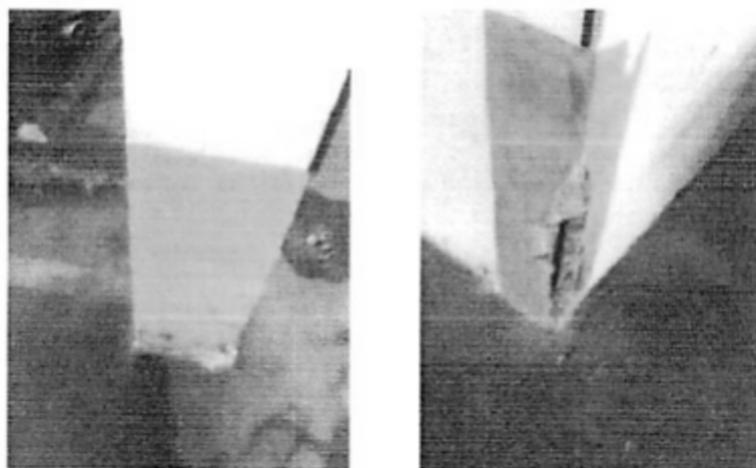
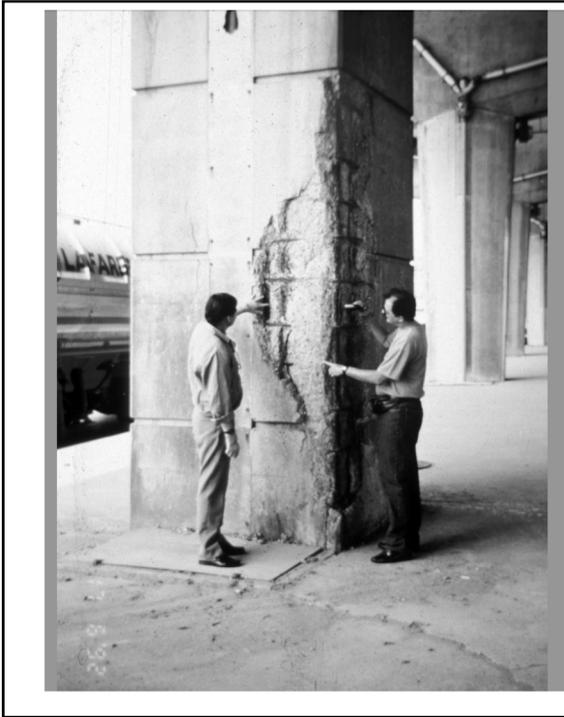
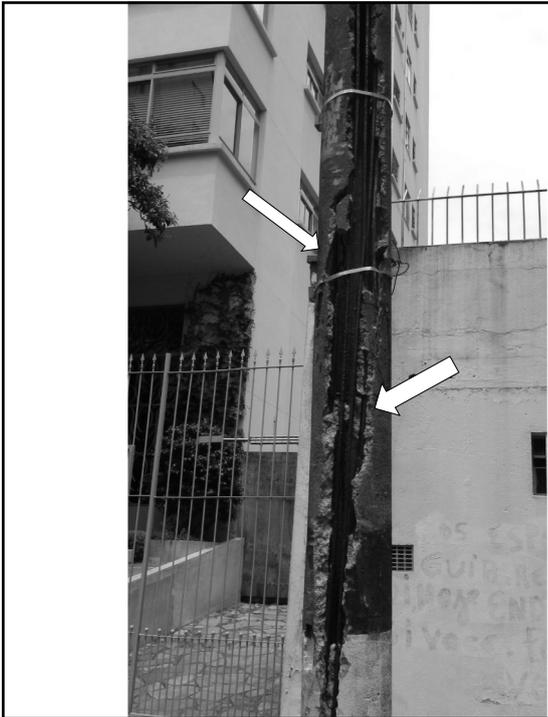


Figure J1: Typical cracking and spalling at parking garage columns

53



54



55

## Hipóteses do “Gatilho”

1. Corrosão das armaduras dos pilares → Negativo
2. Estrutura com lajes planas sem vigas → Negativo
3. Efeitos ambientais de sumidouros
4. Corrosão de armadura da laje perto piscina

56



57

O geofísico **Mika McKinnon** apontou uma série de falhas no plano de **Elon Musk** para cavar túneis em **Miami**, como a sua empresa **The Boring Company** tem feito em várias outras cidades dos **Estados Unidos**. Em entrevista ao site *Curbed*, McKinnon explicou que o solo embaixo da cidade da Flórida é composto de um cárstico de calcário altamente dissolúvel, que é cheio de cavidades e cavernas – assim como o solo do oceano.



Esse seria o motivo pelo qual Miami não possui um sistema de metrô, e também porque a grande maioria das casas da cidade não tem porões. Essa característica geográfica também faz com que a cidade seja particularmente suscetível a inundações.

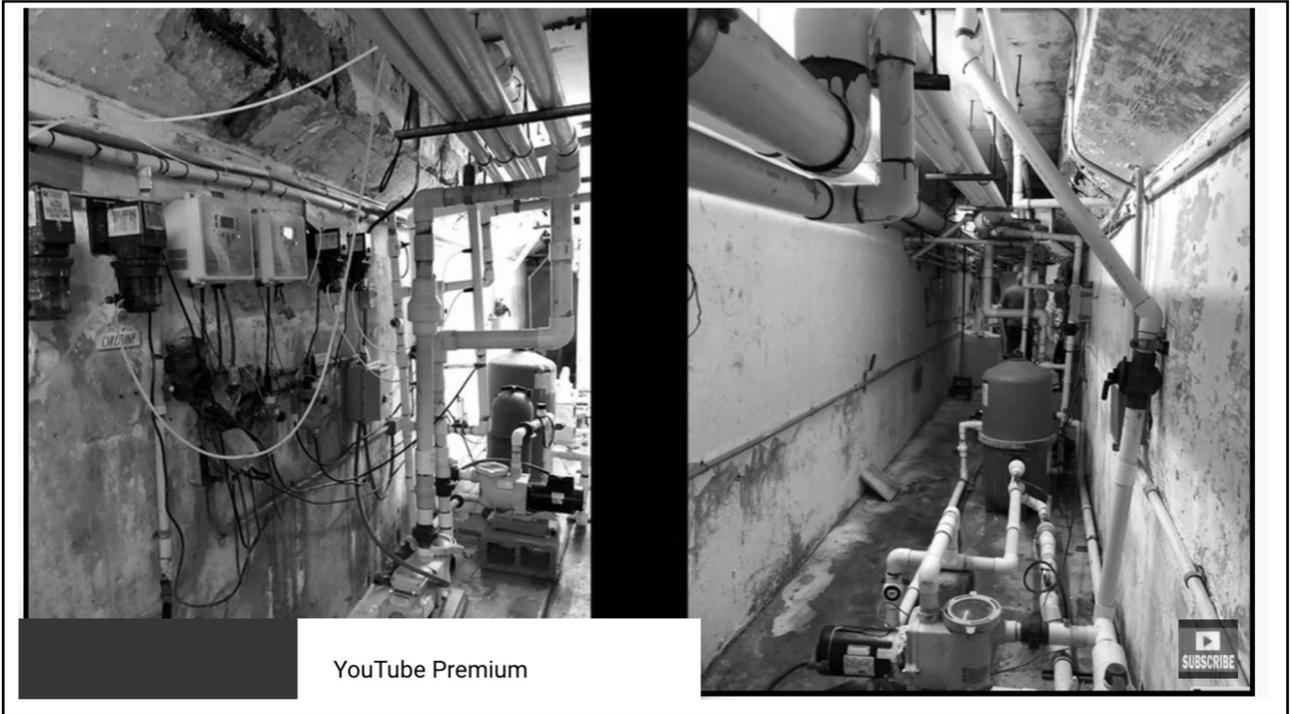
Por causa disso, ela necessita de um complexo sistema de bombeamento apenas para garantir que suas ruas são navegáveis por carros. Isso mesmo em épocas em que não há grandes tempestades na região.

58

## Hipóteses do “Gatilho”

1. Corrosão das armaduras dos pilares → Negativo
2. Estrutura com lajes planas sem vigas → Negativo
3. Efeitos ambientais de sumidouros → Negativo
4. Corrosão de armadura da laje perto piscina

59



YouTube Premium

60



61

## **Hipóteses FALSAS do “Gatilho”**

1. Corrosão das armaduras dos pilares → Negativo
2. Estrutura com lajes planas sem vigas → Negativo
3. Efeitos ambientais de sumidouros → Negativo
4. Corrosão de armadura da laje perto piscina → Negativo

62

## **Terceira Lição**

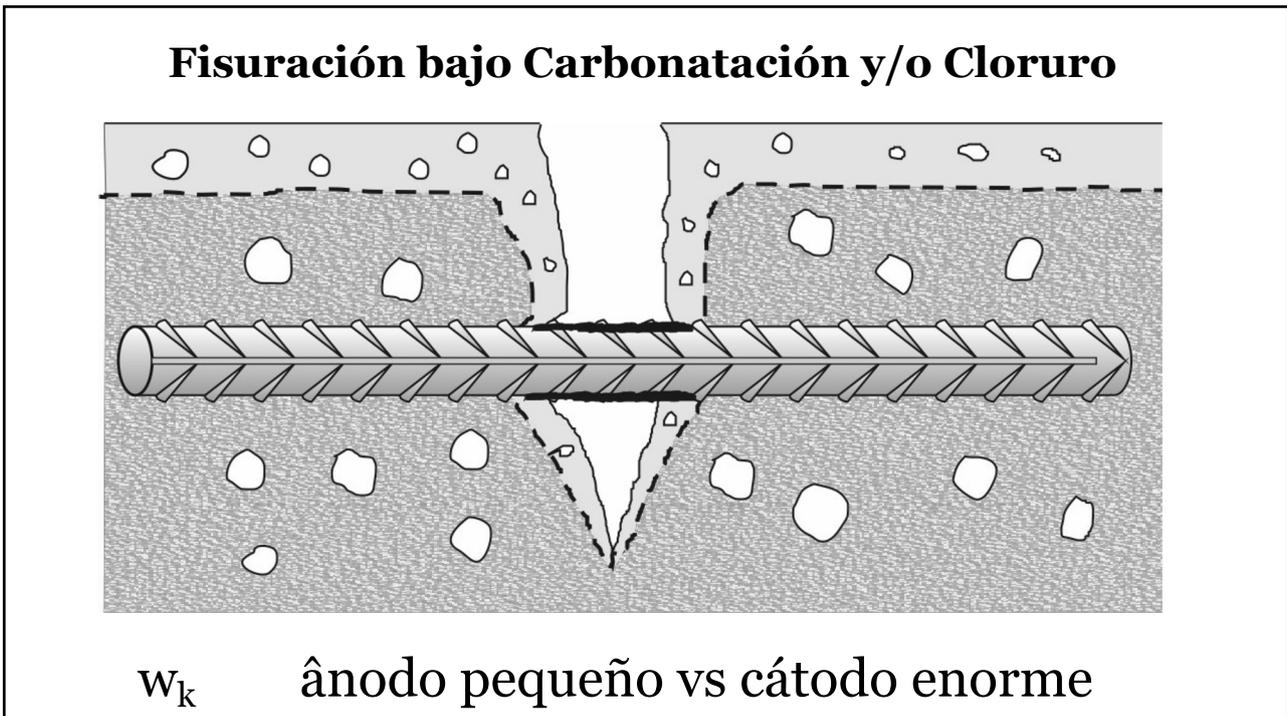
- ✓ Mantenha visão crítica das notícias na mídia por mais que pareçam verdadeiras
- ✓ *Por exemplo no caso do Palace II noticiaram que o concreto tinha conchinhas do mar na massa*
- ✓ *No caso do colapso do Ed. Paes de Almeida noticiaram que estourou um bujão de gás*
- ✓ *No caso do Grenfell Tower (Maria Angélica) os bombeiros mandaram os condôminos permanecerem nos apartamentos. 72 mortos*

63

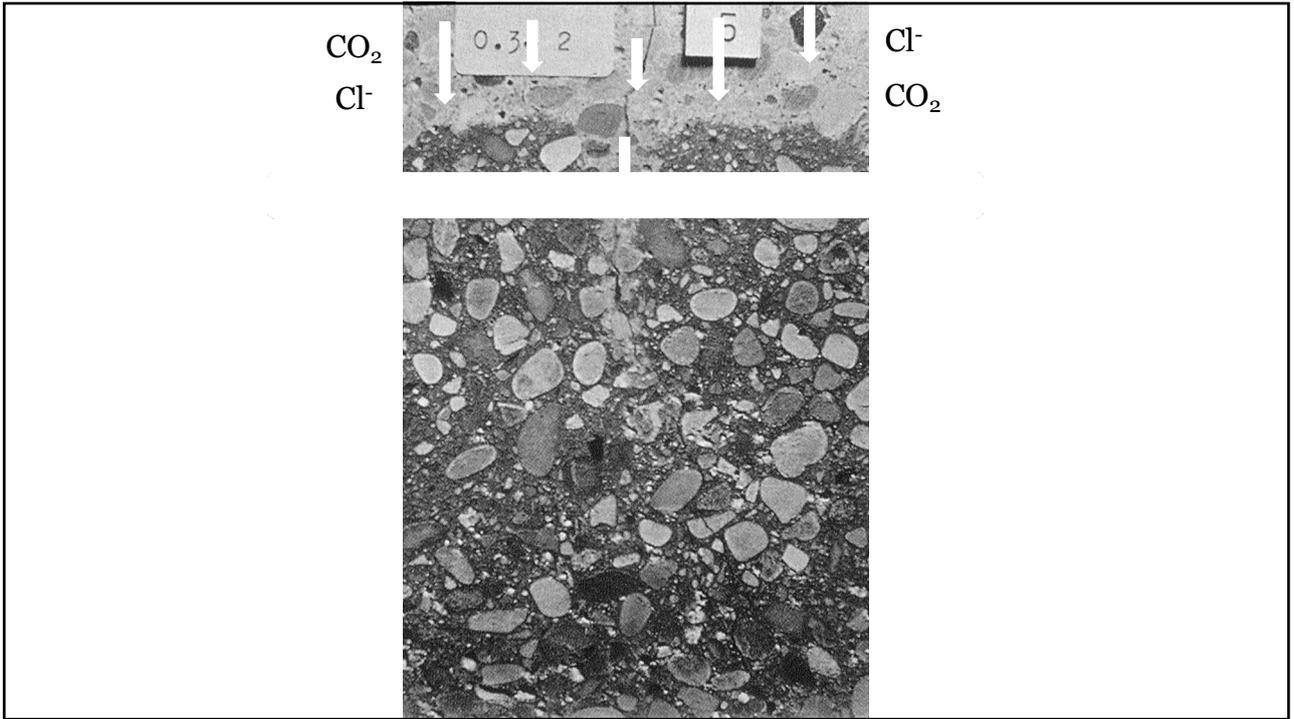




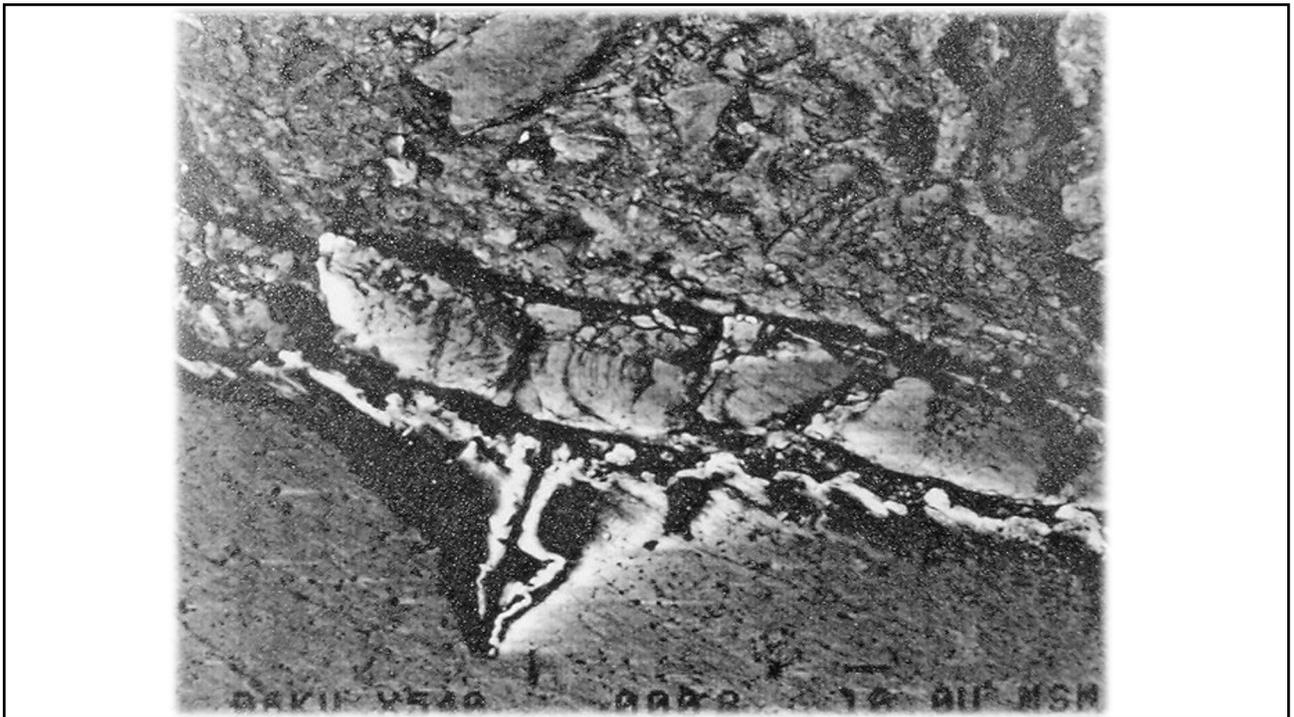
66



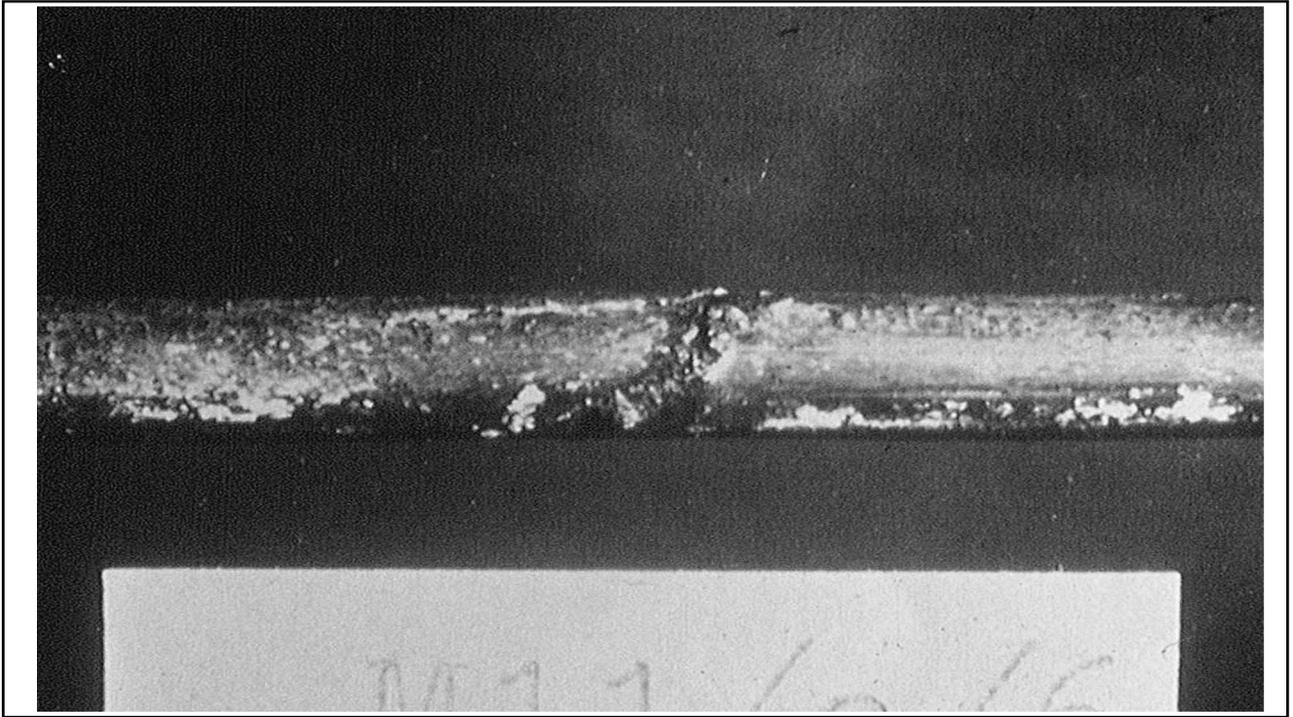
67



68



69



70



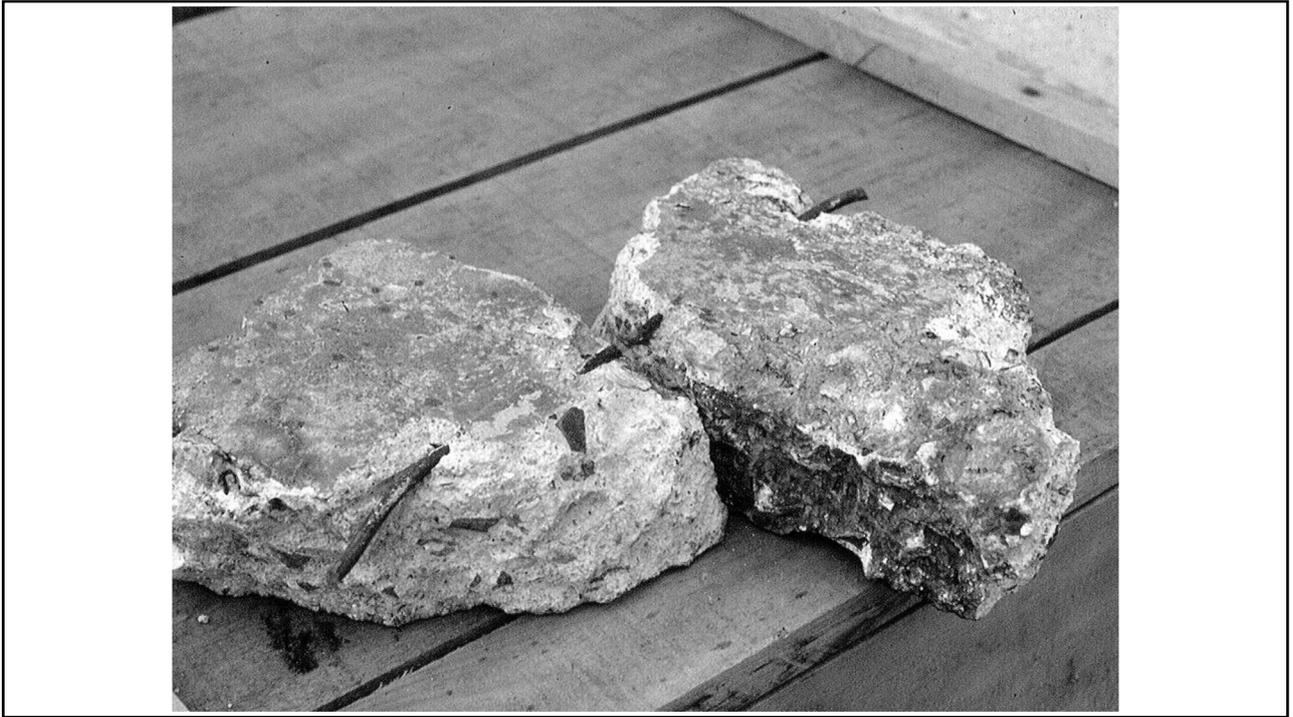
71



72



73



74



75



76



77



78



79

**Thursday  
April 21, 2022**

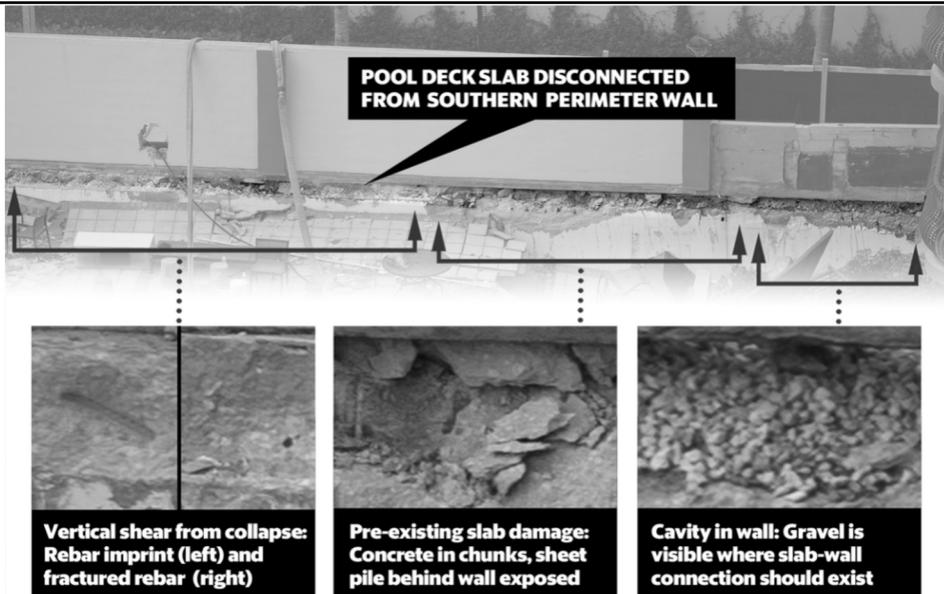
**MIAMI  
HERALD**



A photo of the Champlain Towers South pool deck shows the slab disconnected from the southern wall during the June 24 collapse. Damage in the failure plain is not uniform, indicating pre-existing damage to portions of the slab at the connection, according to engineer Dawn Lehman. Robert Lisman

<https://www.miamiherald.com/news/special-reports/surfside-investigation/article260418037.html>

80



**Thursday  
April 21, 2022**

**MIAMI  
HERALD**

A July 1 photo of the collapse site shows distinct damage patterns in the area where the pool deck slab disconnected from the southern perimeter wall. EDUARDO ALVAREZ AND SARAH BLASKEY

<https://www.miamiherald.com/news/special-reports/surfside-investigation/article260418037.html>

81



82



October 8, 2018

Champlain Towers South  
8777 Collins Avenue  
Surfside, FL 33154

Attention: Ms. Maggie Manrara  
Treasurer

**Re: Champlain Towers South Condominium  
Structural Field Survey Report  
MC Job# 18217**

Dear Ms. Manrara:

Morabito Consultants, Inc. (MC) is pleased to submit this structural engineering report of the Field Survey completed at the existing Champlain Towers South Condominium Complex (CTS) in Surfside, FL. The scope of this project includes a review of the existing 12 story plus penthouse 136-unit residential building, below-grade parking garage and at-grade exterior entrance drive, pool and recreation area. MC reviewed a representative sample of ~68 condominium units (half of the total units found in the building) along with the roof, exterior façade (observed from the balconies surveyed), parking garage,

83

[https://www.townofsursidefl.gov/docs/default-source/default-document-library/town-clerk-documents/champlain-towers-south-public-records/8777-collins-ave---structural-field-survey-report.pdf?sfvrsn=882a1194\\_2](https://www.townofsursidefl.gov/docs/default-source/default-document-library/town-clerk-documents/champlain-towers-south-public-records/8777-collins-ave---structural-field-survey-report.pdf?sfvrsn=882a1194_2)

*" The Pool Deck and Entrance Drive areas were reviewed ...*

*...*

*Many of the existing pavers on the pool deck are cracked*

*...*

*The joint sealant was observed to be beyond its useful life and are in need to complete replacement*

*...*

*The failed waterproofing is causing major structural damage to the concrete structural slab below these areas "*

84

- ❖ Pacometría – posição das armaduras
- ❖ Esclerometria - dureza superficial
- ❖ Ultrassom – ninhos de concretagem
- ❖ Testemunhos -  $f_c$  e modulo do concreto
- ❖ Cobrimento
- ❖ Espessura de carbonatação
- ❖ Presença e perfil de cloreto
- ❖ Geometria de fissuras
- ❖ **Identificação de áreas problemáticas**



85

## Quarta Lição

- ✓ É fundamental proceder a uma inspeção correta e detalhada, realizada por profissionais experientes e certificados que saibam identificar os pontos críticos da estrutura que está sendo inspecionada

*“...tudo o que diz a Red DURAR, a ALCONPAT, os CTs do IBRACON, ABNT, ... anamenese, ensaios, conhecimento do projeto estrutural, cloretos, prospecção...”*

86

## Hipóteses do “Gatilho”

- Fissura com corrosão no muro de divisa
- Punção + corrosão
- Recalque diferencial

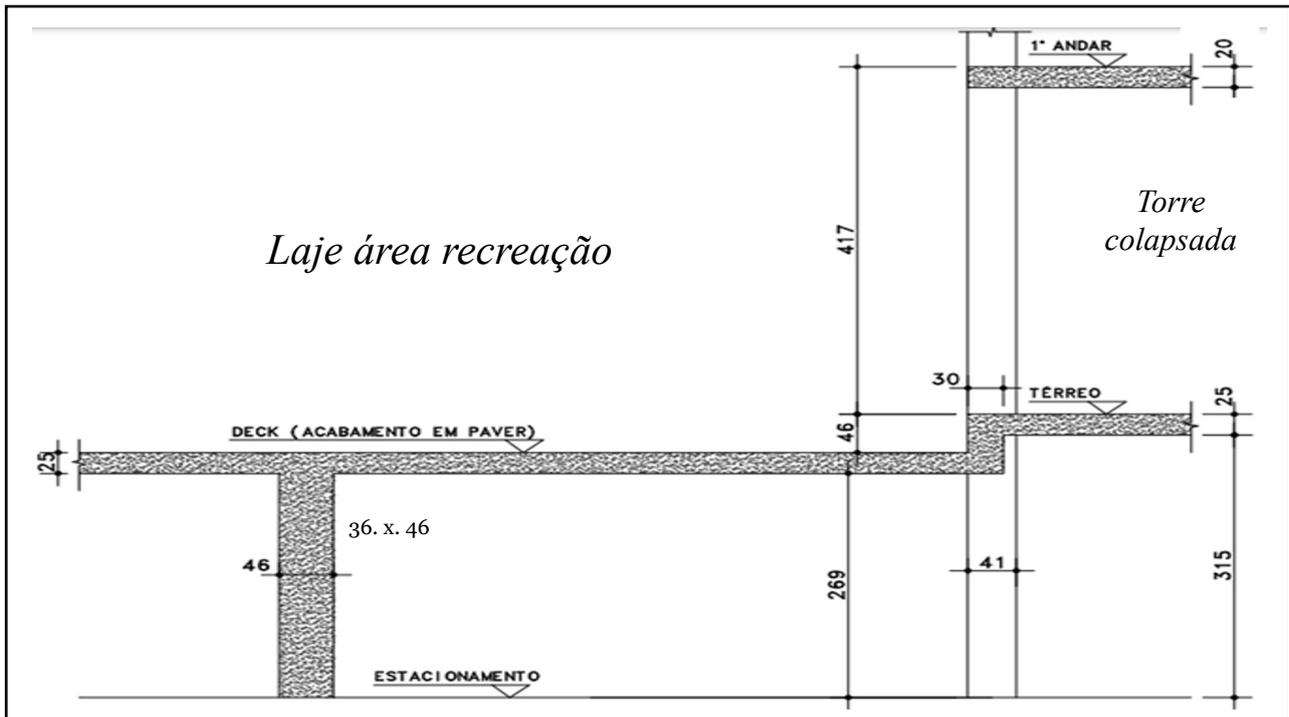
87



88



89



90

## Laje Recreação/Estacionamento → Punção

$e_{\text{nominal}} = 25 \text{ cm} \rightarrow \text{altura útil} \rightarrow d = 22 \text{ cm}$

Carga peso próprio =  $625 \text{ kgf/m}^2$

Carga permanente =  $325 \text{ kgf/m}^2$

Total :  $1.200 \text{ kgf/m}^2$

Carga acidental =  $250 \text{ kgf/m}^2$

“área de influencia” ou modelo

Carga no pilar =  $50.000 \text{ kgf}$  (50tf)

*Nota: não foi considerado efeito de momento na cabeça do pilar, nem flexão, portanto uma verificação aproximada da realidade*

91

## Laje Recreação/Estacionamento → Punção

$$f_{ck,laje} = 27,6 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{ck,pilar} = 41,4 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

Armadura em x =  $\phi 16$  cada 15,3cm  $\rho_x = 0,60\%$

Armadura em y =  $\phi 16$  cada 17,5cm  $\rho_y = 0,52\%$

$$\rho = \sqrt{\rho_x * \rho_y}$$

$$\text{Taxa de Armadura} = 0,0056 = 0,56\%$$

92

## Laje Recreação/Estacionamento → Punção *resumo*

$$f_{ck,laje} = 27,6 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{ck,pilar} = 41,4 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

Taxa armadura =  $\rho = 0,0056 = 0,56\%$

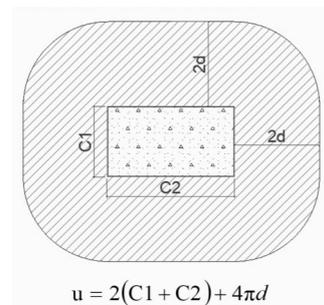
Normal solicitante →  $F_{sd} = 500 * \gamma_f$  (kN)

Perímetro crítico →  $\mu = 440 \text{ cm}$

Altura útil  $d = 22 \text{ cm}$

$C_1 = 36 \text{ cm}$     $C_2 = 46 \text{ cm}$

Contorno C'



93

apartado 20.12

“Punzonamiento”

pág. 418 a 422

*Hormigón Armado*

14<sup>o</sup> Edición

Refere-se a EHE

Publicada em 2000

Pedro Jiménez Montoya

Álvaro García Meseguer

Francisco Morán Cabre



94

EHE 2000 → Punção

$$\tau_{Rd} = 0,12 * \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}}\right) * \sqrt[3]{(100 * \rho * f_{ck})}$$

Contorno C'

$$\tau_{sd} = \frac{\beta * Fsd}{\mu * d}$$



95

Norma Espanhola EHE 2000 → Punção

$$\tau_{Rd} = 0,12 * \left(1 + \sqrt{200/220}\right) * (100 * 0,0056 * 27,6)^{1/3} = \mathbf{0,58 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{Rd} = 0,12 * \left(1 + \sqrt{200/220}\right) * (100 * 0,0056 * 41,4)^{1/3} = \mathbf{0,63 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{Sd} = \frac{\beta * F_{Sd}}{u * d} = \frac{1,15 * 500kN * \gamma_f}{440cm * 22cm} = 0,59 \text{ MPa} * \gamma_f$$

96

EHE 2000 → Punção

$$\tau_{Sd} < \tau_{Rd}$$

$$\tau_{Rd} = \mathbf{0,58 \text{ a } 0,63 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{Sd} = \mathbf{0,59 * \gamma_f}$$

$$\gamma_f = \mathbf{0,98 \text{ a } 1,07}$$

**(1,5 ?!)**

97

## NBR 6118:2014 Cálculo da Solicitante à Punção

Pilar interno, carregamento simétrico (sem efeito de momento)

$$\begin{aligned}\tau_{Rd} &= 0,13 * \left(1 + \sqrt{20/d}\right) * (100 * \rho * f_{ck})^{1/3} = \\ &= 0,13 * \left(1 + \sqrt{20/22}\right) * (100 * 0,56\% * 27,6)^{1/3} = 0,63 \text{ MPa} \\ &41,4 \rightarrow 0,72 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u \times d} = \frac{500kN * \gamma_f}{440cm * 22cm} = 0,52 \text{ MPa} * \gamma_f$$

$$\gamma_f = 1,21 \text{ a } 1,38 \quad (1,4 ?!)$$

98

## ACI 318:14 Punção

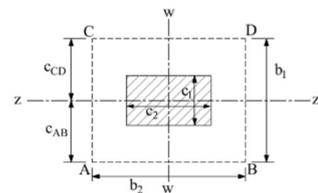
$$\tau_{Rd} = 0,25 * \sqrt{f_{ck}}$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 * \sqrt{27,6} = 1,31 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 * \sqrt{41,4} = 1,60 \text{ MPa}$$

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u_1 \times d} + \frac{\gamma_v * M_{sd} * b_1/2}{J_c}$$

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u_1 * d} = \frac{500kN * \gamma_f}{252cm * 22cm} = 0,90 \text{ MPa} * \gamma_f$$



99

### ACI 318:14 Punção

$$\tau_{Rd} = 1,31 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd} = 1,60 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Sd} = 0,90 \text{ MPa} * y_f$$

**(1,4 ?!)**

$$\gamma_f = 1,45 \text{ a } 1,77$$

*Obs.: ACI é muito diferente. Neste caso não passa a armadura de flexão, por exemplo.*

100

### **fib** Model Code:2010 Punção

$$F_{Rd} = k_{\Psi} * \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} * b_0 * d$$

$$F_{Rd} = 0,214 * \frac{\sqrt{27,6}}{1,5} * 2100\text{mm} * 220\text{mm} = 347 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 0,214 * \frac{\sqrt{41,4}}{1,5} * 2100\text{mm} * 220\text{mm} = 424 \text{ kN}$$

$$F_{Sd} = 500 \text{ kN} * y_f$$

101

**fib** Model Code:2010 Punção

$$F_{Rd} = 347 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 424 \text{ kN}$$

$$F_{Sd} = 500 * \gamma_f$$

**(1,5 ?!)**

$$\gamma_f = \mathbf{0,69 \text{ a } 0,85}$$

*Obs.: comparativo de esforços resistente versus solicitante.*

102

**ACI 318:**

$$\gamma_f = \mathbf{1,45 \text{ a } 1,77}$$

**fib** Model Code:2010:

$$\gamma_f = \mathbf{0,69 \text{ a } 0,85}$$

Norma Espanhola EHE.2000:

$$\gamma_f = \mathbf{0,98 \text{ a } 1,07}$$

NBR 6118:2014 → contorno C'

$$\gamma_f = \mathbf{1,21 \text{ a } 1,38}$$

*+retração + efeitos térmicos + recalque diferencial + corrosão*

103

## Quinta Lição

- ✓ As normas não são iguais, evite usar só um pedaço de uma misturado com outra
- ✓ É essencial proceder com uma revisão por pares do projeto estrutural antes de começar a construir, realizada por especialistas que saibam identificar os pontos críticos da estrutura.

*“...norma brasileira ABNT NBR 6118 prescreve ATP...”*

104

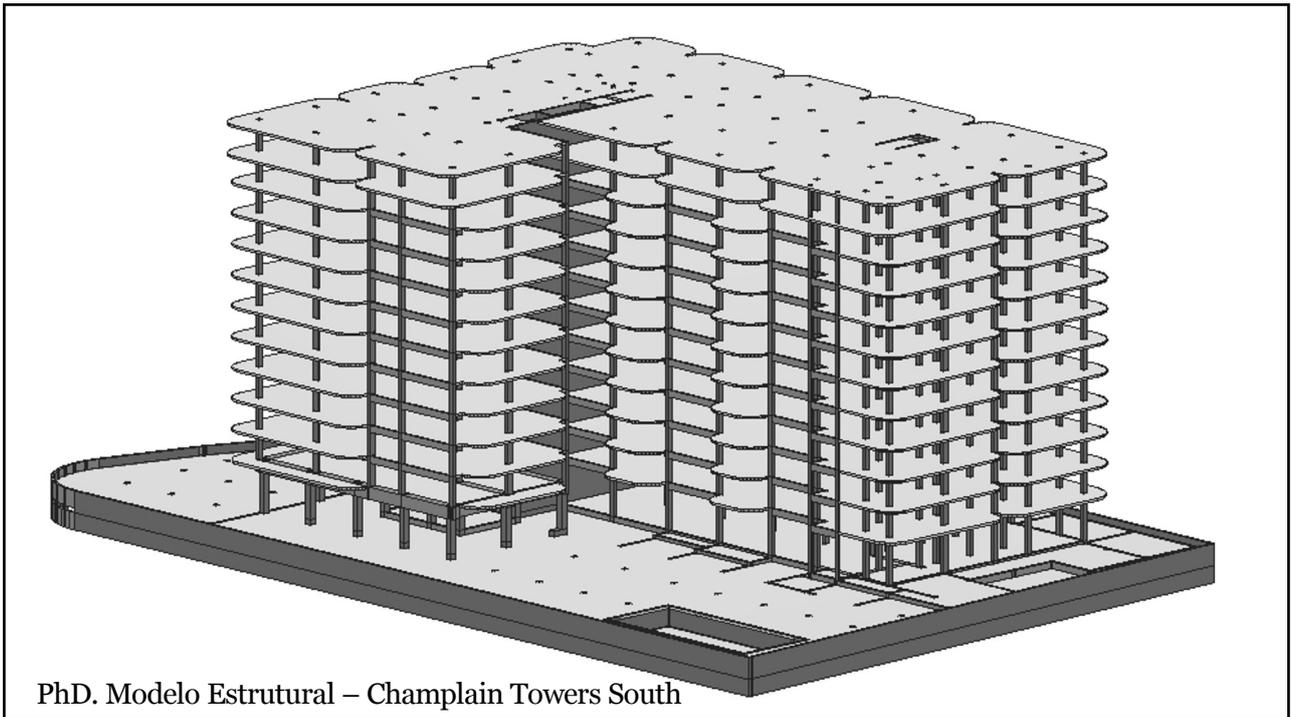
## Hipóteses do “Gatilho”

- Fissura + corrosão no muro de divisa
- Punção + corrosão
- Recalque diferencial + corrosão

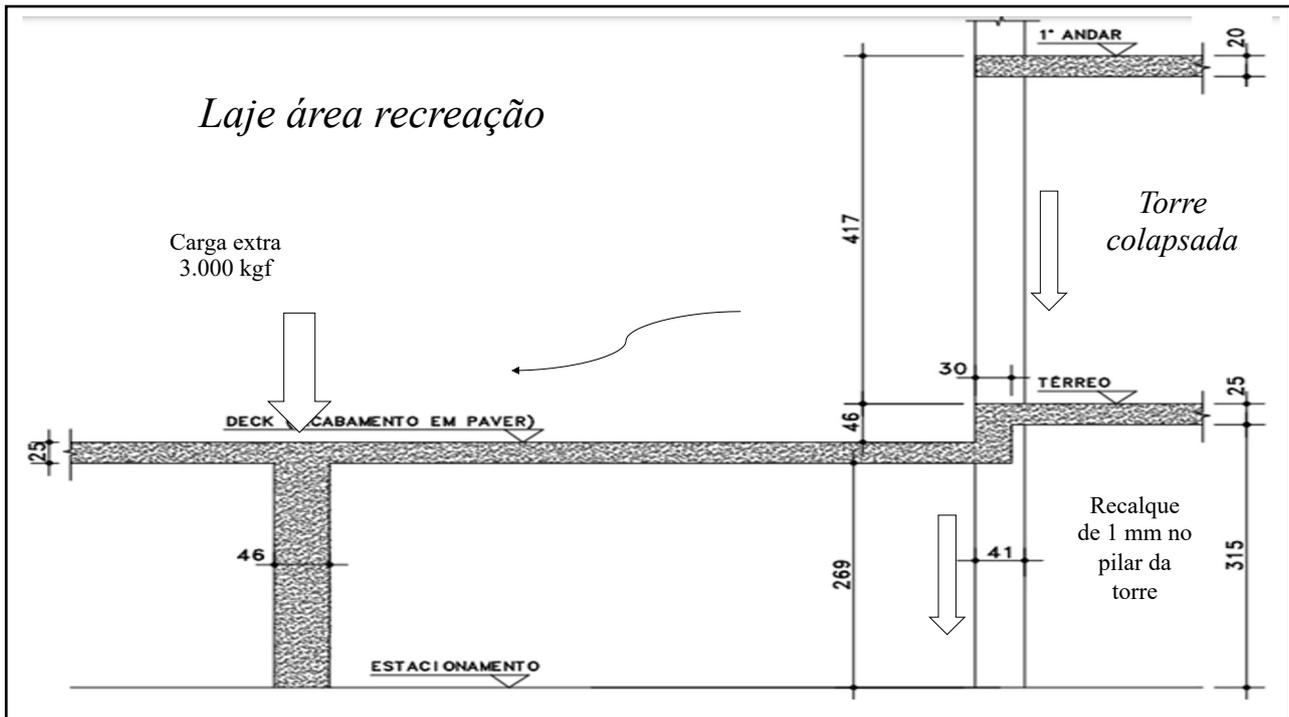
105



106



107



108

### EHE 2000 Recalque Diferencial

$$\gamma_f = 0,69; 0,98; 1,21 \text{ e } 1,45 = 1,09$$

Carga nos pilares = 50.000 kgf

Recalque 1 mm  $\rightarrow$  carga extra  $\approx$  3.000 kgf

$$\gamma_f = 1,02$$

109

## EHE 2000 Recalque Diferencial

$$\gamma_f = 0,69; 0,98; 1,21 \text{ e } 1,45 = 1,09$$

Carga no Pilar = 50.000 kgf

Recalque 2 mm  $\rightarrow$  carga extra  $\approx$  6.300 kgf

$$\gamma_F = 0,97$$

110



111

O que recomendar à Champlain Towers North ??

1. Proibir estacionar carro
2. Revisar projeto
3. Inspeccionar fissuras (muro e cabeça pilar)
4. Promover junta dilatação (consoles)
5. Verificar conceito de robustez

112



Shoring is visible around at least 11 columns at Champlain Towers North, sister building to the Champlain Towers South condo that collapsed in June 2021.

113

## Lições Aprendidas

- ❖ Transparência à Sociedade e Poder à Engenharia (Inspeção e Diagnóstico)
- ❖ ATP (revisão de design estrutural, por especialistas)
- ❖ ATO (controle tecnológico das estruturas, por especialistas)
- ❖ ATU (inspeção periódica de uso, por especialistas)
- ❖ Manutenção e reformas/obras (por construtor competente)
- ❖ Cuidado com a água! Nunca subestime corrosão e fissura!
- ❖ Edifícios não são eternos, fique de olho, saiba ouvir os grtos da estrutura!
- ❖ Escolher profissionais bem preparados (Certificação)
- ❖ Equipe multidisciplinar (o último engenheiro universal foi Leonardo da Vinci)

114

**Muchas  
Gracias!**



115