

**CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO**

**BRUNA MAYARA BRAGUIM CANTO**

**PAPEL DA ENGENHARIA CIVIL FORENSE: ESTUDO DAS PATOLOGIAS  
NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE EDIFICAÇÕES**

**BAURU**

**2021**

BRUNA MAYARA BRAGUIM CANTO

**PAPEL DA ENGENHARIA CIVIL FORENSE: ESTUDO DAS  
PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO  
DE EDIFICAÇÕES**

Monografia, apresentado ao Centro  
Universitário Sagrado Coração, como  
parte das exigências para a Iniciação  
Científica.

Orientador: Prof. Me. Ricardo Ramos da  
Rocha

Bauru

2021

C232 CANTO, Bruna Mayara Braguim.

Papel da Engenharia Civil Forense: Estudo das patologias nas estruturas de concreto armado de edificações/Bruna Mayara Braguim Canto, 2021 37 p.: il.

Orientador: Prof. Me. Ricardo Ramos da Rocha Monografia (Iniciação Científica) – Centro Universitário Sagrado Coração. Bauru, 2021

1. Danos estruturais; 2. Erros de projeto construtivo; 3. Laudos. Centro Universitário Sagrado Coração

Dedico este trabalho à minha família e,  
em especial, ao meu avô (in memoriam)  
Paulo Aparecido Braguim

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por todo apoio e sustentação para eu chegar até aqui.

Aos meus pais Amarildo Aparecido Canto, Cléia Regina Braguim Canto e ao meu irmão Victor Hugo Braguim Canto, por todo o amor, companheirismo e motivação, pois sem vocês eu não teria chegado até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Ricardo Ramos da Rocha, por todo o aprendizado, incentivo e ajuda para o desenvolvimento do presente projeto. Aos meus professores, por todas as lições e ensinamentos para toda a vida.

Aos meus amigos, em especial Lara Eloísa dos Santos de Oliveira e Jaqueline Alves da Silva por todo apoio e companheirismo e, também, colegas e familiares não citados diretamente, mas que contribuíram de alguma forma e me ajudaram.

## RESUMO

Para a reabilitação dos edifícios, os profissionais de Engenharia Civil devem possuir prática das técnicas e diagnósticos que existem atualmente para uma análise mais objetiva e eficaz analisando o resultado que determinadas patologias podem acarretar à estrutura. Objetiva-se com este projeto trazer o diagnóstico destes problemas, por meio da engenharia civil forense, nas edificações de concreto armado. O conhecimento destas patologias é de suma importância, já que por meio delas, pode-se obter soluções, além de funcionarem como método preventivo para futuros problemas.

O relatório a seguir corresponde a um estudo das patologias recorrentes a estruturas de concreto armado, iniciada em 2020 sob orientação do Prof.<sup>o</sup> Me. Ricardo Ramos da Rocha, por meio desta pesquisa visa estudar e analisar algumas patologias e técnicas que são utilizadas na Engenharia Civil para diagnóstico das estruturas.

**Palavras-chave:** Danos estruturais; Erros de projeto construtivo; Laudos.

## **ABSTRACT**

For the rehabilitation of buildings, Civil Engineering professionals must have practice of the techniques and diagnoses that currently exist for a more objective and effective analysis analyzing the result that certain pathologies can bring to the structure. This project aims to bring the diagnosis of these problems, through forensic civil engineering, in reinforced concrete buildings. The knowledge of these pathologies is of paramount importance, since through them, solutions can be obtained, in addition to working as a preventive method for future problems.

The following report corresponds to a study of pathologies recurrent to reinforced concrete structures, started in 2020 under the guidance of Prof. Me. Ricardo Ramos da Rocha, the research aims to study and analyze some pathologies and techniques that are used in Civil Engineering to diagnosis of structures. **Keywords:** Structural damage; Constructive design errors; Reports.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da Pirâmide .....	11
Figura 2 – Esquema das principais ações que atuam no edifício.....	13
Figura 3 – Fissuras geradas em uma viga .....	16
Figura 4 – Fissuras resultantes do esforço de tração.....	17
Figura 5 – Exemplo de fissuras de cisalhamento em uma viga.....	17
Figura 6 – Exemplo de fissuras de torção em uma viga.....	18
Figura 7 – Viga em balanço sob efeito de torção .....	18
Figura 8 – Ruptura da Peça à Flexão.....	19
Figura 9 – Ensaio à compressão de uma peça até seu cisalhamento .....	20
Figura 10 – Ensaio com o Dilatômetro .....	21
Figura 11 – Esboço do Ensaio de Martinet Baronnie .....	21
Figura 12 – Equipamento e Esquema do Ensaio de Ultrassons .....	22
Figura 13 - Edifício Residencial Real Class.....	23
Figura 14 – Análise Linear.....	24
Figura 15 – Análise Não Linear .....	25
Figura 16 – Gráfico de Isopletas .....	27
Figura 17 – Pilares Instáveis .....	27
Figura 18 – Alternativas Para a Resolução do Problema Estrutural do Edifício .....	29
Figura 19 – Estrutura do Edifício Citicorp Center .....	30
Figura 20 – Ações do Vento .....	32



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1 Objetivos Gerais: .....	14
2.2 Objetivos Específicos: .....	14
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>15</b>
<b>4. PROBLEMAS PATOLÓGICOS .....</b>	<b>16</b>
4.1 Mecanismos Mecânicos de Deterioração .....	16
4.1 Técnicas de Diagnóstico Utilizadas na Engenharia Civil .....	18
4.1.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR FLEXÃO .....	19
4.1.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	19
4.1.3 DILATÓMETRO .....	20
4.1.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO E ATRITO - <i>Martinet Baronnie</i> .....	21
4.1.5 ENSAIO DE ULTRASSONS .....	21
<b>5. ESTUDO DE CASOS .....</b>	<b>23</b>
5.1 EDIFÍCIO RESIDENCIAL REAL CLASS .....	23
5.2 ANÁLISE ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO .....	23
5.2.1 ANÁLISE LINEAR .....	24
5.2.2 ANÁLISE NÃO LINEAR .....	24
5.3 INCONFORMIDADES RELATADAS NOS LAUDOS .....	25
5.4 ALTERNATIVAS PARA A SOLUÇÃO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO .....	28
5.5 CITICORP CENTER .....	29
5.5.1 SOLUÇÃO DO PROBLEMAS DO EDIFÍCIO .....	32
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>35</b>

<b>7. CRONOGRAMA.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Engenharia forense é onde se aplica conceitos e lógica para a resolução de questões das quais, normalmente, são associadas a acidentes, degradação de propriedades, entre outros (NOON, 2001).

Diante deste contexto, o perito especializado na área de engenharia civil desempenha uma importante função contribuindo com técnicas e procedimentos para a resolução de problemas estruturais ou relacionados ao contexto de acidentes na construção civil. Como definido por Noon (2001) a engenharia civil forense forma uma espécie de pirâmide no qual é constituída por: conclusões, análises e fatos de evidências físicas, como exemplificado na figura 1:



Fonte: NOON (2001)

O fator humano está ligado diretamente à engenharia civil forense já que causa distintos acidentes e patologias nas construções. Destaca-se diante disso a importância de peritos na investigação nos processos judiciais. Historicamente, surgiu a necessidade de um perito visto que as evidências não eram mais compreensíveis para um juiz, sem o ponto de vista de um especialista da área.

A NBR 13752 – Perícias de Engenharia na Construção Civil, regulamenta as instalações prediais. Ela aborda determinados parâmetros para a realização objetiva para a perícia, detalhando as irregularidades, patologias e, a partir delas, a resolução dos problemas. Fiker (2019) aborda que os distintos conceitos de laudos, sendo eles:

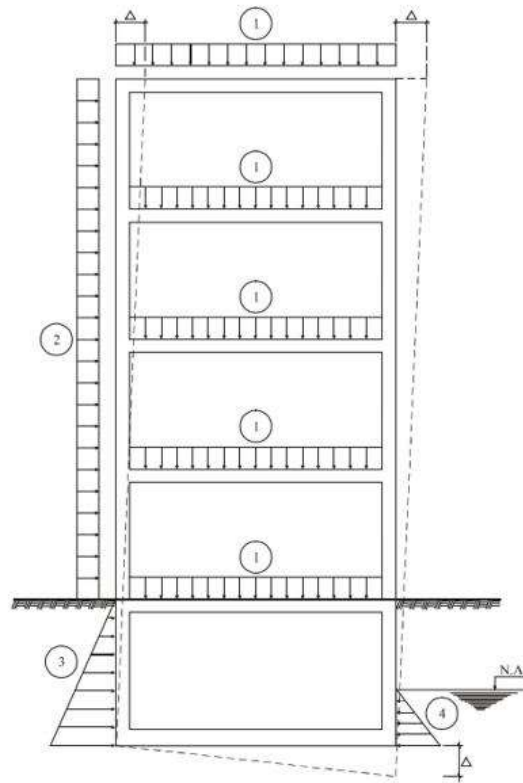
- Laudo: Documento criado a partir de um especialista da área determinado por uma autoridade. Neste documento, deve-se conter os resultados obtidos de exames e vistorias.
- Parecer Técnico: Relatório detalhado escrito por um especialista qualificado para atuação na área.
- Relatório: Uma observação dada do que se constatou visualmente de forma oral ou escrita.
- Vistoria: Atestado do estado do imóvel por meio de um documento detalhado a partir da avaliação de um profissional qualificado.
- Inspeção predial: Vistoria para a determinação das condições técnicas e funcionais do edifício em questão.
- Perícia: Avaliação de um profissional qualificado para a inspeção dos fatos, estudos e avaliação das causas de uma patologia ou anomalia.
- Avaliação: Inspeção realizada por um engenheiro para denominar o valor de um bem.

Patologia das construções estuda as anomalias, que afeta a totalidade ou o comportamento da estrutura. Neste contexto, realiza-se a investigação e classificação em decorrências das causas e origens da patologia no edifício estudado. A estrutura garante a estabilidade do edifício que constantemente está submetido a cargas que calculadas de maneira equivocada acarretam patologias.

O projeto estrutural é o instrumento utilizado para solucionar esses conflitos, fazendo com que as cargas atuantes e as tensões internas sejam mantidas sob controle em sistemas de ação e reação interdependentes, que garantam o equilíbrio tanto de cada componente individual, como da estrutura como um todo. (VITÓRIO, 2003, p. 12)

As estruturas estão submetidas a certas ações como o peso da própria estrutura, revestimentos, sobrecargas, móveis, variação de temperatura, retração, entre outros. A Figura 2 indica as principais forças que atuam no edifício, sendo 1 as cargas do próprio peso, 2 as forças do vento, 3 os empuxos da terra e 4 os empuxos hidrostáticos:

Figura 2 – Esquema das principais ações que atuam no edifício



Fonte: VITÓRIO (2003)

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivos Gerais:

O objetivo é demonstrar a importância da engenharia forense, na Engenharia Civil, já que nos últimos anos observa-se um aumento dos problemas construtivos, tanto na parte executiva, quanto na parte de projetos, e observando que a qualidade da mão de obra, tem comprometido, em muito, a correta execução de obras de engenharia.

### 2.2 Objetivos Específicos:

Como metodologia específica, tem o trabalho, o objetivo de detalhar os princípios e formas de aplicação da engenharia forense, na construção civil. Estudar e analisar os principais métodos para a solução dos problemas patológicos, além disto, examinar as principais técnicas de análise para as mesmas afim de proporcionar a reabilitação do edifício. Dentre as técnicas analisadas são abordadas:

- Estudo das Técnicas de Ação Mecânica.
- Estudo das Técnicas de Propagação Elásticas.

Na monografia serão abordadas:

- Estudo das Técnicas de Análise de Vibrações.
- Estudo das Técnicas de Inspeção Hidrodinâmica nas Estruturas.

### 3. METODOLOGIA

A partir da aprovação do projeto conforme consta no cronograma, foi dado seguimento na pesquisa com as atividades de análise das patologias mais recorrentes nas construções, levantamento bibliográfico, dos conceitos principais de perícias, na construção civil, e suas formas de aparecimento, e a descrição dos métodos de elaboração dos laudos e pareceres técnicos, elaborados pelo perito.

Além disso, o levantamento foi realizado a partir de documentos técnicos, livros, assim como laudos já liberados para o domínio público, sobre patologias e, posteriormente, a resolução dos problemas encontrados.

A metodologia é formada por uma abordagem qualitativa, a qual visa análise de dados. De acordo com Silva e Fossá (2015, p.2, apud BOTELHO et al., 2017, pag. 7) a análise de dados é conceituada como um grupo de técnicas metodológicas, em constante aprimoramento, na qual se submete a analisar diferentes fontes de conteúdo, sendo estas verbais ou não-verbais. Além de ser baseado em revisões bibliográficas sobre patologias e, posteriormente, a resolução dos problemas encontrados.

## 4. PROBLEMAS PATOLÓGICOS

### 4.1 Mecanismos Mecânicos de Deterioração

De acordo com Bolina et al. (2020) o mecanismo mecânico é o resultado do excesso da capacidade de resistência da peça estudada. A carga sempre será maior que a capacidade do elemento, em decorrência deste problema são geradas fissuras. As estruturas de concreto armado diferentemente de outros elementos estruturais, formam um sistema hiperestático.

Figura 3 – Fissuras geradas em uma viga



Fonte: BOLINA et al. (2020)

Nas vigas a região tracionada é onde encontra-se a fissura. O especialista na área realiza a verificação da fissura para evitar deformações excessivas e de forma segura. Independente da região em que se iniciou, as fissuras se produzem a partir dos esforços de flexão, que acabam se evidenciando na parte tracionada da viga. Em outros trechos da viga, a trajetória possui uma inclinação devido ao esforço cortante, enquanto nas extremidades elas são perpendiculares e irão se desenvolver ao sentido de tração.

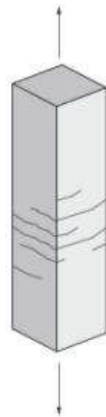
Os esforços de tração axial, ocorrem em pilares que sofrem com maior frequência a ação horizontal, como ventos. Ademais, o concreto possui um bom comportamento quando é submetido aos esforços de compressão. Embora que a tração axial ser pouco frequente nas estruturas de concreto armado, quando a peça



submetida à força não suporta as cargas surgem fissuras perpendiculares às armaduras. Nos outros trechos ocorre um caminho mais inclinado, devido às influências dos esforços cortantes (Figura 3).

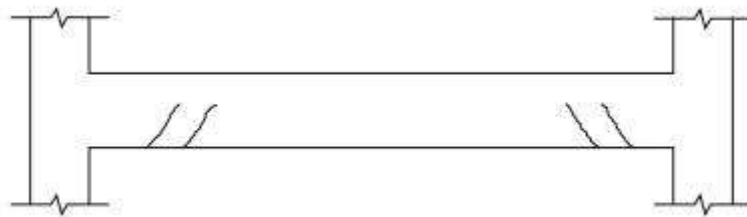
Enquanto as fissuras de cisalhamento (Figuras 4 e 5) são provocadas pelo esforço cortante, são inclinadas e se iniciam próximo aos apoios. Normalmente são causadas pela ausência correta das armaduras.

Figura 4 – Fissuras resultantes do esforço de tração



Fonte: BOLINA et al (2020)

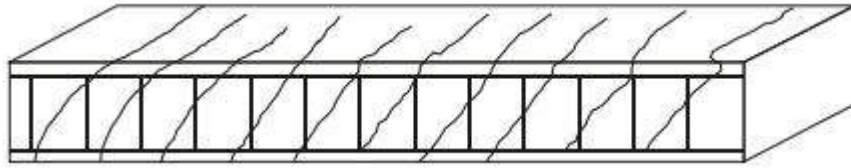
Figura 5 – Exemplo de fissuras de cisalhamento em uma viga



Fonte: VITÓRIO (2003)

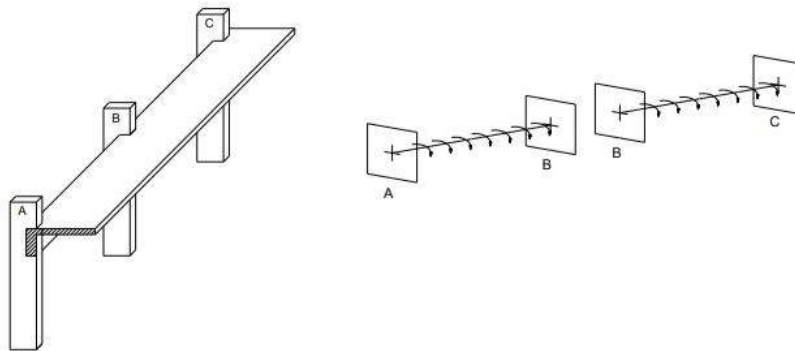
Os casos mais comuns de fissuras de torção sucedem em vigas de balanço, engastadas em vigas de apoio. As fissuras surgem em todas as faces da viga. As lajes são exemplos de torção já que a laje deve estar engastada na viga de apoio em razão de que a laje não possui continuidade as outras lajes internas da construção.

Figura 6 – Exemplo de fissuras de torção em uma viga



Fonte: VITÓRIO (2003)

Figura 7 – Viga em balanço sob efeito de torção



Fonte: BASTOS (2017)

A compressão que é mais comum em pilares, afeta diretamente a estabilidade do pilar que dependem da flambagem, inércia etc. O esmagamento do concreto do pilar pode ser por consequência de uma instabilidade lateral das barras de armadura que a compõe.

#### 4.1 Técnicas de Diagnóstico Utilizadas na Engenharia Civil

Foram abordadas a seguir algumas técnicas que são utilizadas na Engenharia Civil para análise dos edifícios. A princípio foram estudadas as técnicas de ação mecânica e as técnicas de propagação de ondas elásticas.

A técnica de ação mecânica pode ser realizada através de dispositivos eletrônicos, hidráulicos ou elétricos. Os mecanismos utilizados são aplicados sobre os elementos estruturais, de revestimento ou nos materiais que apresentam alguma anomalia.

#### 4.1.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR FLEXÃO

Segundo Rita Freire Lazera (2016) no ensaio foi utilizado uma peça para cada argamassa aos 28 dias e foi aplicado uma força resultante de 10 kN. Através do ensaio de tração por flexão é possível observar o ganho de resistência de aderência com o passar dos dias.

Figura 8 – Ruptura da Peça à Flexão



Fonte: LAZERA (2016)

O cálculo para obtenção do valor da resistência de tração é obtido pela equação:

onde:

- Tensão de rotura á flexão (      );
- Carga máxima aplicada (      );
- Distância entre apoios da máquina (100 mm);
- Largura do provete (40 mm); d – espessura do provete (40 mm).

#### 4.1.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Ainda segundo Rita Freire Lazera (2016) o esmagamento do pilar pode ser acarretado por uma instabilidade lateral das barras de armaduras longitudinais. Se construído de forma correta, com os estribos colocados de forma adequada, o pilar suporta o esforço de compressão por determinado tempo até que os estribos não conseguem mais suportar a força e se rompem.

O ensaio de compressão consiste em aplicar uma força crescente até que a peça estudada cisalhe. No experimento (Figura 9) foi utilizado uma carga de 20 kN.

Figura 9 – Ensaio à compressão de uma peça até seu cisalhamento



Fonte: LAZERA (2016)

O cálculo para obtenção do valor do ensaio de compressão é obtido pela equação 1:

$$f_c = \frac{P}{A_c}$$

onde:

- Tensão de rotura à compressão (  $f_c$  );
- Carga de compressão máxima aplicada (  $P$  );
- Área de secção comprimida (  $A_c$  )

#### 4.1.3 DILATÓMETRO

Segundo Domingos Miguel Fernandes Ferreira de Abreu (2013) com o uso do dilatómetro é possível verificar as características internas de deformabilidade da estrutura mediante ao uso de uma pressão hidrostática, a pressão é exercida pela água. Através deste procedimento é possível obter o módulo de elasticidade pelo deslocamento da área estudada. Refere-se a um processo que necessita de uma reparação após o uso por ser uma inspeção destrutiva.

Figura 10 – Ensaio com o Dilatômetro

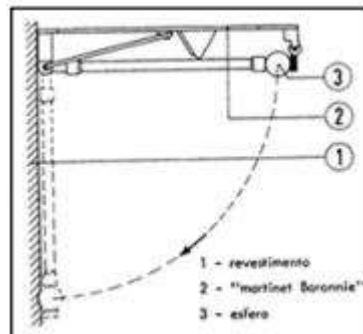


Fonte: ABREU (2013)

#### 4.1.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO E ATRITO - *Martinet Baronnie*

De acordo com Rita Freire Lazera (2016) este ensaio representa a medição de resistência ao choque de dois corpos duros em superfícies, conseqüentemente obtém-se a resistência superficial.

Figura 11 – Esboço do Ensaio de Martinet Baronnie



Fonte: LAZERA (2016)

#### 4.1.5 ENSAIO DE ULTRASSONS

Ainda segundo Domingos Miguel Fernandes Ferreira de Abreu (2013) o ensaio constitui-se na velocidade de propagação do impulso do ultrassom. Através da obtenção do resultado deste ensaio é possível verificar a densidade e suas características que dependem diretamente da resistência.

Figura 12 – Equipamento e Esquema do Ensaio de Ultrassons



Fonte: ABREU (2013)

## 5. ESTUDO DE CASOS

### 5.1 EDIFÍCIO RESIDENCIAL REAL CLASS

Neste estudo será abordado o edifício residencial Real Class (Figura 13) que estava situado na cidade de Belém/PA. Como citado anteriormente, as estruturas de concreto armado são as mais usadas no Brasil em decorrência da facilidade deste sistema construtivo, que era o caso do edifício.

Figura 13 - Edifício Residencial Real Class



Fonte: RIBEIRO (2018)

### 5.2 ANÁLISE ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO

O edifício Real Class era constituído por pórticos de concreto armado com lajes maciças convencionais. Composto de 35 pavimentos (subsolo, térreo, 1º nível e 2º nível), 30 pavimentos tipo e uma cobertura.

A análise estrutural é o estudo que identifica como a estrutura vai reagir com os esforços que são aplicados nela. Segundo a NBR 6118/2004 (ABNT, 2004) a análise estrutural tem o objetivo de determinar os efeitos das ações atuantes na estrutura.

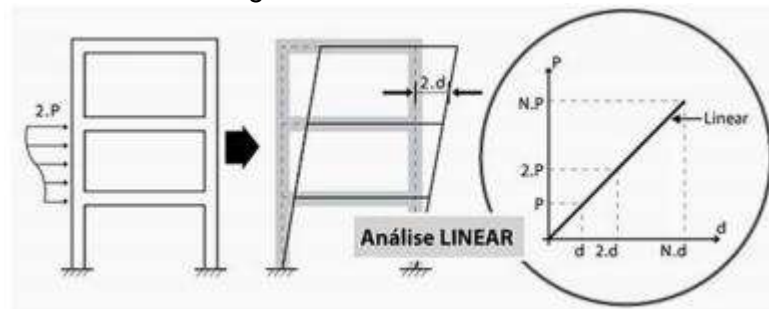
Além disso, a norma aborda alguns métodos de análise, tais como: análise linear e análise não linear.

### 5.2.1 ANÁLISE LINEAR

As estruturas devem ser dimensionadas de modo que não falhem, nem deformem excessivamente sob carga. Portanto, o engenheiro deve se atentar ao prever possíveis cargas que uma estrutura deve suportar. A carga associada ao peso da estrutura e seus componentes permanentes (pisos, tetos, tubulações e outros) é chamada de carga permanente.

Na análise linear é dada atenção ao deslocamento que é feito de maneira proporcional a força dos carregamentos, como representado na Figura 14.

Figura 14 – Análise Linear



Fonte: SANTOS apud Kimura (2007)

Observa-se depois da carga atuante  $2.P$  um produto de deslocamento  $2.D$ , representando o comportamento linear. Tal reação é baseada na Lei de Hooke "Ut Tensio Sic Vis" que faz a relação de tensão x deformação, denominada módulo de Elasticidade ( $E$ ) como constata-se na fórmula 2:

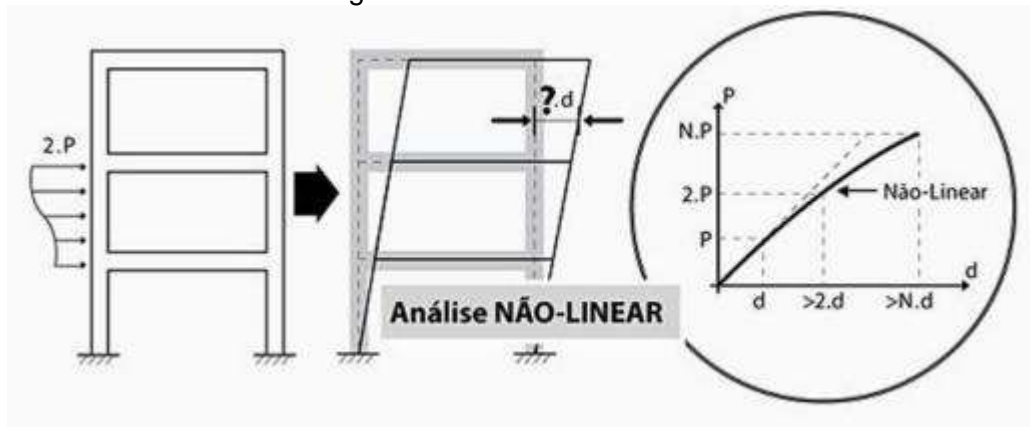
$$= .$$

### 5.2.2 ANÁLISE NÃO LINEAR

Segundo Kimura (2007) apud Santos (2021), o deslocamento resultante não é proporcional ao acréscimo de carga. A resposta da estrutura em relação ao deslocamento tem um comportamento não-linear ao decorrer da aplicação do carregamento.



Figura 15 – Análise Não Linear



Fonte: SANTOS apud Kimura (2007)

Observa-se que na figura 15 após a aplicação da força 2.P é desproporcional na análise não linear. Tal reação é baseada na Lei de Hooke “Ut Tensio Sic Vis” que faz a relação de tensão x deformação, denominada módulo de Elasticidade (E) como constata-se na fórmula 2:

$$\sigma = E . \varepsilon$$

### 5.3 INCONFORMIDADES RELATADAS NOS LAUDOS

De acordo com a norma 6118/2004 (ABNT, 2004) de estruturas de concreto armado, é recomendado que se utilize o valor de 20 mm para as lajes e vigas e 25 mm para pilares, mas não foram adotados estes valores no projeto, sendo utilizados segundo Ribeiro e Oliveira, 15 mm para todos os elementos da estrutura. Em relação ao dimensionamento dos estribos, a norma 6118/2004 (ABNT, 2004) item 18.3.3.2 recomenda que seja adotado um diâmetro igual ou superior de  $\phi_s = 5,0$  mm, no projeto segundo Ribeiro e Oliveira (2018) foi utilizado um valor de  $\phi_s = 4,2$  mm. Além disso, as armaduras longitudinais apresentaram distinção do projeto e do que foi realizado na construção como representado na Tabela 1:

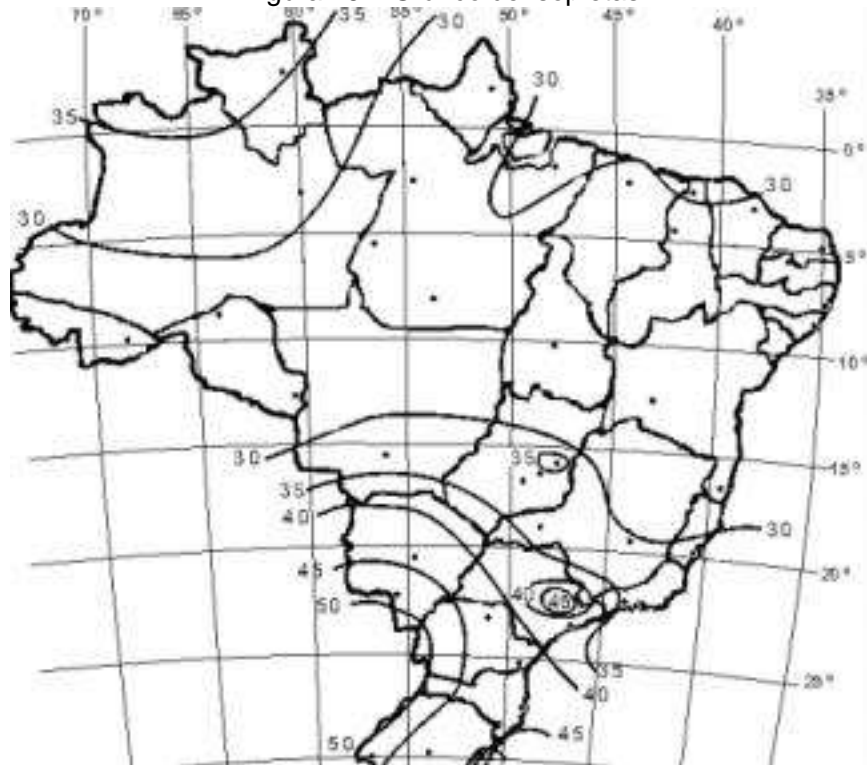
Tabela 1 – Distinção dos Valores das Armaduras

Pilar	Execução		Projeto		Diferença	
	Quantidade	Diâmetro (mm)	Quantidade	Diâmetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	$\rho$ (%)
P 01	10	12,5	14	10	-128	-12%
P 02	22	12,5	16	16	517	16%
P 03	48	16	50	16	402	4%
P 04	24	16	36	16	2413	33%
P 05	24	12,5	18	16	674	19%
P 06	10	12,5	14	10	-128	-12%
P 07	10	10	10	10	0	0%
P 08	8	12,5	8	10	-353	-56%
P 09	28	16	20	20	653	10%
P 10	34	12,5	34	16	2664	39%
P 11	18	12,5	28	10	-10	0%
P 12	38	10	38	10	0	0%
P 13	16	16	38	10	-232	-8%
P 14	18	12,5	28	10	-10	0%
P 15	34	10	34	10	0	0%
P 16	34	10	34	10	0	0%
P 17	10	10	10	10	0	0%
P 18	18	12,5	28	10	-10	0%
P 19	8	16	20	10	-38	-2%
P 20	8	12,5	8	10	-353	-56%
P 21	12	12,5	30	10	884	38%
P 22	42	16	30	20	980	10%
P 23	34	12,5	76	10	1797	30%
P 24	42	16	34	20	2237	21%
P 25	8	12,5	16	10	275	22%

Fonte: RIBEIRO (2018)

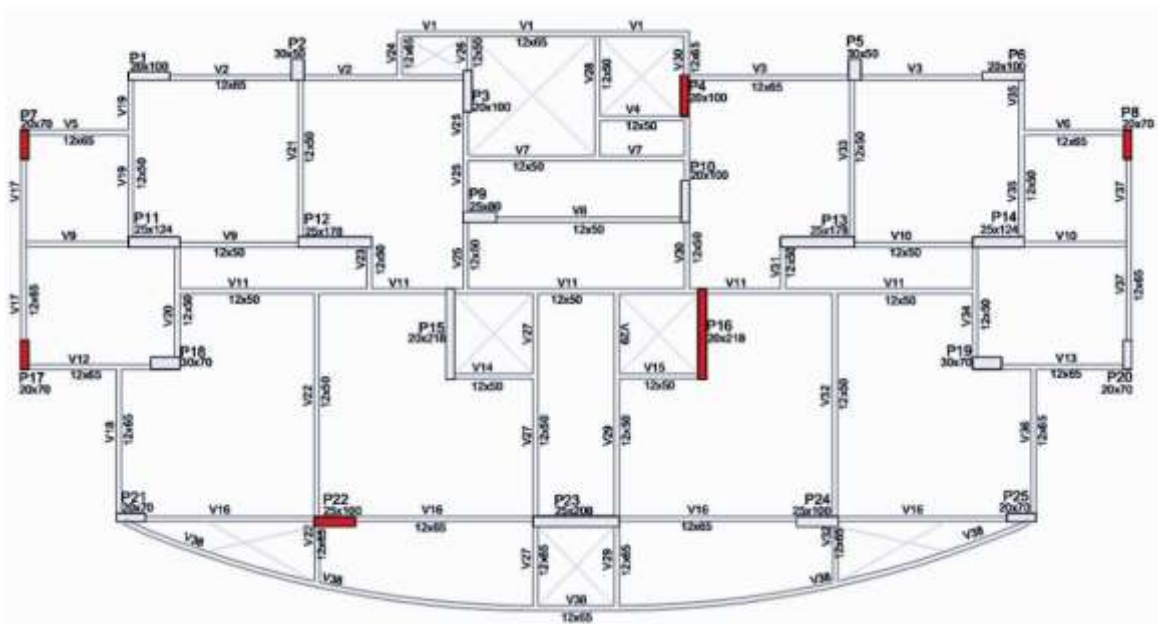
Através dos laudos realizados da estrutura por Santos (2021), com o uso do software CAD TQS adotando-se valor de 32 m/s, de acordo com gráfico de isopleias como representado na Figura 16, constatou-se que o edifício sofria grandes deslocamentos. Os pilares responsáveis pelo colapso são representados na Figura 17, sendo o P16, P17 e P22 apresentando instabilidade sob ação de vento a 32 m/s. Já os pilares P04, P07 e P08 entrariam em colapso sob ação do vento 23 m/s. Como resultado, conclui-se que o edifício foi calculado sem a consideração da carga do vento, fazendo com que ele fosse exposto a cargas maiores que previstas em projeto.

Figura 16 – Gráfico de Isopletas



Fonte: SANTOS (2021)

Figura 17 – Pilares Instáveis

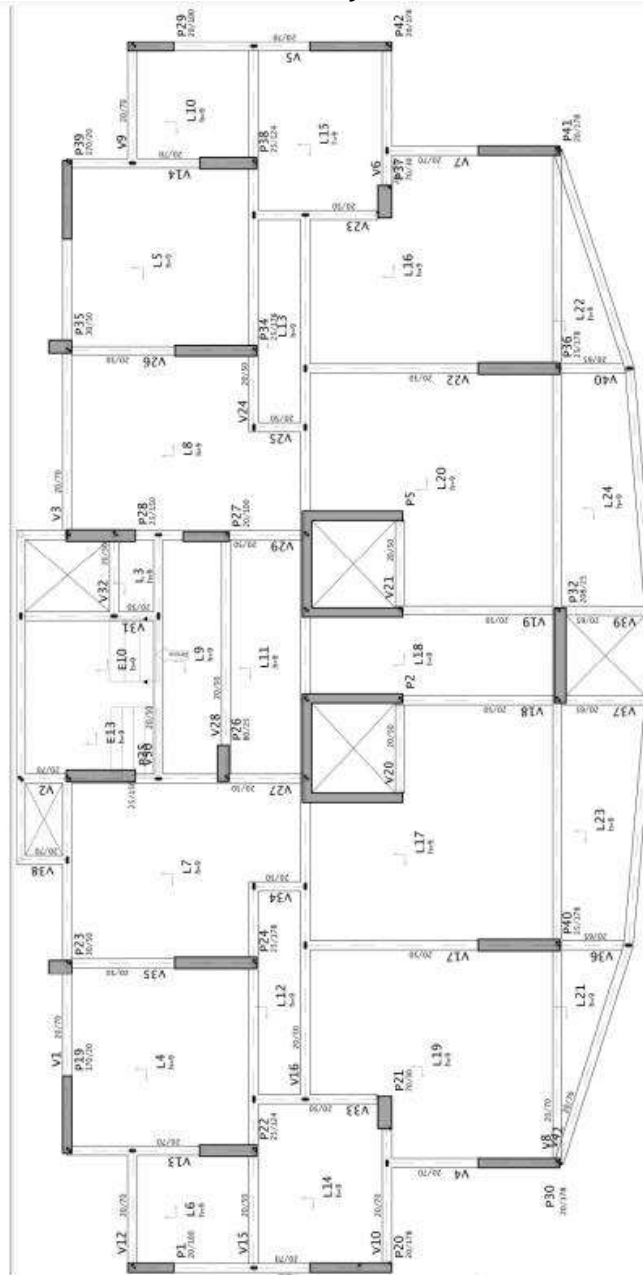


Fonte: RIBEIRO (2018)

#### 5.4 ALTERNATIVAS PARA A SOLUÇÃO ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO

Segundo Ribeiro (2018) os resultados obtidos evidenciaram que a estrutura não era capaz de suportar as cargas que estavam submetidas a ela. Os resultados mostram que havia falhas de cálculo no projeto, sendo que a estrutura não era capaz de suportar forças horizontais como o vento. É evidente que algumas mudanças realizadas no projeto evitariam tal acidente, tais como: a rotação do pilar para o maior eixo de inércia do edifício, o que ocasionaria uma diminuição nos fatores de estabilidade, aumentar os pilares e acrescentar pilares em "U" na caixa de elevadores. Foi proposto um novo projeto estrutural (Figura 18) com o objetivo de obter um melhor desempenho diante das cargas submetidas a ela. Além disso, é importante atentar-se à estabilidade global da estrutura.

Figura 18 – Alternativas Para a Resolução do Problema Estrutural do Edifício



Fonte: RIBEIRO (2018)

## 5.5 CITICORP CENTER

Outro edifício que apresentou erros de cálculo foi o Citicorp Center (Nova Iorque) que foi construído em 1977 e possui uma cobertura inclinada. Era composto de 59 andares, 279 metros de altura e tinha sua estrutura suspensa sob a igreja, já que ela não vendeu o terreno, mas sim os direitos aéreos da instituição religiosa. Em decorrência deste fato, os pilares não poderiam seguir o padrão dos edifícios e teriam que ocupar o meio das faces do prédio. Como solução o engenheiro William LeMessurier realizou a construção de um núcleo rígido em concreto armado, as faces

eram compostas de uma estrutura de treliça que além de serem mais leves, carregavam diretamente as cargas para os pilares.

Figura 19 – Estrutura do Edifício Citicorp Center



Fonte: VARDARO (2011)

Os edifícios são projetados para suportar o próprio peso e, além disso, a força do vento. A necessidade encontrada no prédio foi de transferir os esforços horizontais para os pilares do edifício. A solução era uma estrutura de aço cujo objetivo era transmitir a carga para o solo. Embora trouxesse a solução, a estrutura trouxe outro problema que era a forma como ela iria balançar em decorrência dos ventos. A solução encontrada para o engenheiro foi de adotar um amortecedor de massas (mass damper) que tem a função de acrescentar peso e inércia à estrutura do edifício.

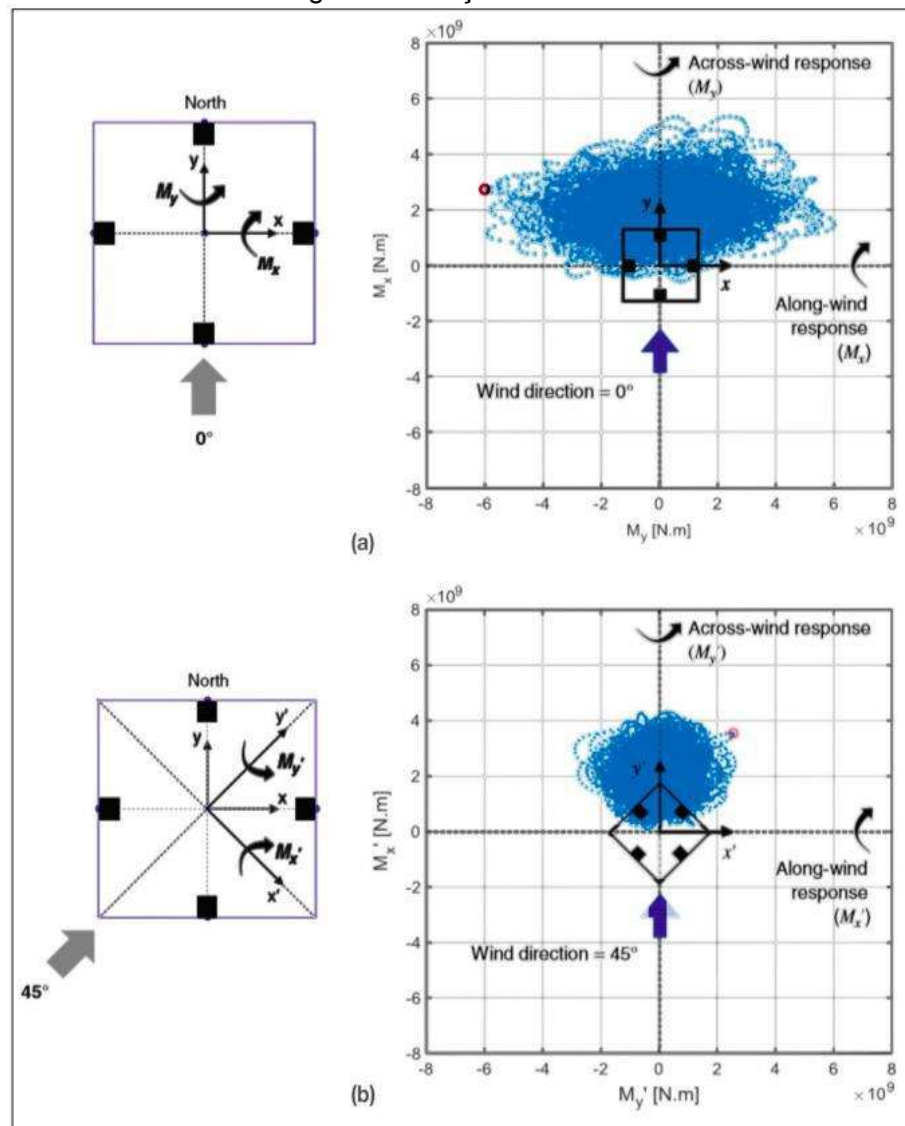
Um ano após a sua inauguração a estudante de engenharia civil Diane Hartley indagou a estrutura já que pelos seus cálculos, a estrutura com ventos acima de 110 km/h corria risco de tombar transversalmente em decorrência do fato dos pilares serem construídos no centro da edificação. É importante que qualquer engenheiro considere os ventos, já que eles podem acarretar um processo de vórtice (tornados que sobem e descem no edifício). William LeMessurier verificou que o seu coeficiente de segurança ainda seria capaz de absorver a diferença e ventos de até 160 km/h

desde que sua execução fosse realizada exatamente da forma que foi projetada, mas durante a execução foi realizada uma redução de custo que modificou as soldas para rebites, o que diminui bastante a resistência da estrutura metálica do edifício. Como resultado do desaprumo gerado pelas cargas e a modificação realizada durante a construção, a estrutura era totalmente instável naquela situação.

Segundo Vardaro (2011) a força do vento gera tensões em determinadas regiões do edifício à medida que eles resistem aos esforços do vento. O peso do próprio prédio neutraliza a força do tombamento. Conseqüentemente, todas as partes contabilizam a diferença entre a força da carga do prédio (compressão) e a força do tombamento (tração).

A figura 20 apresenta uma análise feita por Tirado (2020) e evidencia que para ventos frontais (a) pico através do momento de reviravolta do vento é cerca de 12% maior e que para os cantos (b) os momentos de reviravolta ao longo do vento e através do vento são, respectivamente, cerca de 20 por cento e 50 por cento mais baixos do que seus equivalentes de vento frontal.

Figura 20 – Ações do Vento



Fonte: WITCHER (2020)

### 5.5.1 SOLUÇÃO DO PROBLEMAS DO EDIFÍCIO

A estrutura metálica interna foi reforçada justamente para melhorar a resistência em ventos de mais de 160 km/h, que era o mínimo exigido na região.



## **6. RESULTADOS**

No início da pesquisa foram encontrados 19 artigos, destes foram analisados e estudados exemplos, ilustrações e estudos de casos de patologias da construção civil.

### **6.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

A engenharia forense estrutural se divide em duas principais áreas, que são elas: análise do erro e análise do que ocasionou a patologia. É importante compreender essas duas áreas que podem estar relacionadas aos incidentes da obra. A seguir foram apresentados os principais fatores que podem acarretar problemas na construção, baseado em publicações científicas relacionadas na área de estudo.

#### **6.1.2 FATOR HUMANO E ERROS DE EXECUÇÃO**

Determinadas falhas no desenvolvimento da obra podem acarretar a danos da estrutura. Para Vykopalová (2013) (apud Bomtempo, 2016) a maioria dos acidentes é causada por falhas e erros decorrentes da ação humana. O especialista caracteriza o erro que ocasionou o problema da edificação e diante disso propõe uma solução como alternativa.

#### **6.1.3 ERROS DE PROJETO**

Os erros de projetos ocorrem no momento da execução da obra que geralmente é difícil detectar já que existem muitos cálculos, materiais, especificações, entre outros. No estudo de caso do edifício Citicorp Center, o fator de maior relevância sobre o ocorrido é o erro de cálculo e mudanças na hora da execução do projeto, que acarretaram modificações na parte estrutural do prédio já que ele não suportaria ventos daquela região.

#### 6.1.4 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO NA ENGENHARIA CIVIL

Foram abordadas também as principais técnicas de diagnóstico na engenharia civil. Toda a investigação da análise estrutural se inicia na edificação da estrutura: vigas, pilares, lajes, pisos, entre outros. Em seguida à medição de toda a parte estrutural como distância entre os vãos, cama de concreto, entre outros. Após estes processos, se inicia as análises laboratoriais.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho teve o objetivo de apresentar e analisar os distintos fatores de negligência e imprudência de profissionais da construção civil. É evidente que diferentes situações podem acarretar ao desabamento de um edifício, tais como: erro no cálculo estrutural, falta de manutenção, resistência dos materiais em desacordo com o projeto original, entre outros.

Além disso, foi abordado técnicas de diagnóstico na engenharia civil afim de analisar e buscar mais eficiência nos laudos, perícias e vistorias.

Para a realização do trabalho foi realizado uma revisão bibliográfica, com estudo de diferentes casos afim de analisar as diferentes patologias que podem ocorrer em edifícios e, conseqüentemente, a solução destes problemas.

## 8. CRONOGRAMA

O presente projeto foi desenvolvido durante 12 meses com base no seguinte cronograma e houve uma alteração no tópico de simulações em laboratório para estudos de casos afim de proporcionar maior aprendizagem às principais patologias da construção civil:

	Ago - Out (2020)	Nov - Dez (2020)	Jan - Set (2021)
1- Revisão Bibliográfica	X	X	X
2- Coleta de dados de patologias	X	X	X
3- Estudo de Casos			X
4- Comparações e análises dos resultados			X
5- Elaboração de um artigo científico		X	X
6- Elaboração de um relatório final			X

## REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. 2004. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/abnt-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento>> Acesso em 20 de agosto de 2021
- ABREU, Domingos Miguel Fernandes Ferreira De. **Técnicas de Diagnóstico Utilizadas em Engenharia Civil**. 2013. Porto. Disponível em <<https://core.ac.uk/download/pdf/143394211.pdf>> Acesso em 25 de janeiro de 2021.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Torção em Vigas de Concreto Armado**. 2017. Bauru. Disponível em <<https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Torcaao.pdf>> Acesso em 3 de janeiro de 2021
- BOLINA, Fabricio Longhi et. al. **Patologia de Estruturas**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2020.
- BOTELHO, Paula Monalisa Silva et. al. **Estudo Comparativo do custo-benefício entre estrutura de concreto armado e alvenaria estrutural em obras da cidade de Vitória da Conquista**. 2017. Vitória da Conquista. Disponível em <<https://engenhariacivilftc.files.wordpress.com/2016/08/estudo-comparativo-do-custo-benefc3adcio-entre-estrutura-de-concreto-armado.pdf>> Acesso em: 14 de abril de 2021.
- FIKER, José. **Manual de Redação de Laudos**. 3 ed. 2019.
- LAZERA, Rita Freire. **Avaliação do Desempenho Mecânico de Argamassas Térmicas em Protótipos de Parede**. 2016. Lisboa. Disponível em <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1407770020545008/Avaliacao%20do%20desempenho%20mecanico%20de%20argamassas%20Rita%20Lazera.pdf>> Acesso em 12 de dezembro de 2020.
- NOON, Randall K. **Forensic Engineering Investigation**. 2001. New York.
- RIBEIRO, R. J. C. OLIVEIRA, D. R. C. **O Colapso do Edifício Real Class**. 2018. Belém. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/riem/a/NYkmQV8B3ryDKJnWpWmL7kk/?lang=pt&format=pdf>> Acesso em 15 de agosto de 2021.
- SANTOS, Giovanni Barroso. **Estudo de Caso: Colapso do Edifício Real Class**. 2021. Anápolis. Disponível em <<https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/676/1/TCC%20-%20GIOVANNI%20Vers%C3%A3o%20Final.pdf>> Acesso em 6 de agosto de 2021.
- TORRIJOS, Pedro. **O arranha-céu que esteve a ponto de destruir meia Manhattan (se não fosse por uma estudante)**. El País. 2019. Brasil. Disponível em <[https://brasil.elpais.com/brasil/2019/10/02/cultura/1570041356\\_078765.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2019/10/02/cultura/1570041356_078765.html)> Acesso em 12 de agosto de 2021.

VARDARO, Michael J. e HEGARTY, Timothy F. **The Citicorp Center Project: LeMessurier Stands Tall.** 2011. Disponível em < [https://www.victorinsuranceus.com/Content/Risk\\_Management/Risk\\_Management/News\\_and\\_Events/Proceedings - Public/PastPapers/2011-50thProceedings/Proceedings11-Vardaro-Hegarty\\_pdf.aspx](https://www.victorinsuranceus.com/Content/Risk_Management/Risk_Management/News_and_Events/Proceedings_-_Public/PastPapers/2011-50thProceedings/Proceedings11-Vardaro-Hegarty_pdf.aspx)> Acesso em 20 de agosto de 2021.

VITÓRIO, Afonso. **Fundamentos da Patologia das Estruturas nas Perícias de Engenharia.** 2003. Recife. Disponível em < [http://www.vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos\\_Patologia\\_Estruturas\\_Pericias\\_Engenharia.pdf](http://www.vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos_Patologia_Estruturas_Pericias_Engenharia.pdf) > Acesso em 24 de fevereiro de 2021.

WITCHER, T. R. **Taking Responsibility: The Citicorp Center.** 2020. Disponível em < <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/ciegag.0001499> > Acesso em 17 de julho de 2021.