

LUÍS HENRIQUE POY
REGINA HAGEMANN

**COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS
DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO
ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E
APURAÇÃO DAS RESPONSABILIDADES**

Trabalho de Perícia

Goiânia/GO
2021

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

RESUMO

Trata-se da síntese de uma perícia judicial, em ação de produção antecipada de provas que analisou o desabamento brusco da laje técnica que suportava reservatórios de grandes dimensões (cada um com cerca de 25 mil litros), destinados ao armazenamento de água para consumo e RTI – Reserva Técnica de Incêndio, ocorrido 4 anos após a ocupação da edificação – um galpão industrial em concreto pré-moldado, com cerca de 1200m². O sinistro gerou colapso progressivo parcial da edificação, ocasionando dois óbitos e grandes prejuízos materiais. A partir dos dados coletados nas inspeções, da análise detalhada de toda documentação técnica disponibilizada, da realização de ensaios de caracterização (resistência à compressão do concreto e resistência à tração do aço) e após criteriosa retro análise estrutural, com simulações envolvendo vários *layouts*, se tornou possível elucidar a ocorrência e atribuir responsabilidades a cada parte, como determinado pelo Juízo.

PALAVRAS-CHAVE: *Perícia; Análise estrutural; Desabamento; Colapso progressivo.*

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por finalidade verificar as causas do colapso de parte da edificação, doravante denominada Prédio 3. A fim de se analisar o sistema construtivo adotado, bem como estabelecer as devidas responsabilidades assumidas pelas partes envolvidas na construção do edifício, foram efetuadas consultas à documentação técnica, memoriais e RRTs/ ARTs (Registros/ Anotações de Responsabilidade Técnica), obtidos junto às partes e aos órgãos públicos relacionados.

1.1 RESUMO DOS FATOS

No ano de 2010 a Dona da Obra firmou contrato com a Construtora para a construção de uma nova edificação (Prédio 3), visando a ampliação de seu parque fabril. A Construtora ficou responsável pela administração da obra e execução de serviços de mão de obra e de engenharia. Para a elaboração dos projetos (Arquitetônico e Elétrico e Hidráulico Preventivos) foi contratada a Projetista do SPI, sendo que o projeto Hidráulico Preventivo previa a instalação de dois reservatórios de 25.000 litros cada destinados ao consumo e Reserva Técnica de Incêndio (RTI). Para a elaboração do projeto estrutural, fabricação e instalação da estrutura pré-moldada foi contratada a Fornecedora de Pré Moldados. As obras foram finalizadas com as em 24/10/2011, com a entrega à Dona da Obra. A estrutura do Prédio 3 se compunha por lajes do tipo PI, pilares e vigas pré-moldadas de concreto armado. Em dezembro de 2012, a Dona da Obra contratou Empresa de Regularização para fins de regularizar seu Parque fabril (Prédios 1, 2 e 3, inclusive), junto aos órgãos competentes. No mesmo mês, a Empresa de Regularização apresentou um novo projeto preventivo de incêndio, o qual abrangeu todos os prédios, sendo o mesmo aprovado em março de 2013. Em vistoria realizada pelo Corpo de Bombeiros Voluntários (CBV), no dia 20/02/2015, foi solicitada alteração nos reservatórios, para separação da água de consumo da RTI, como consta em Ata. Para realização da alteração, foi adicionado um terceiro reservatório de 5.000 litros e reduzida a capacidade dos outros dois

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

reservatórios, já implantados (de 25.000 para 20.000 litros, cada), sendo aprovado novo projeto em março de 2015 e emitida a Declaração de Aprovação em setembro do mesmo ano. No dia 18/01/2016, por volta das 07h08min e durante a troca de turno dos funcionários, ocorreu o desabamento brusco da laje que sustentava estes reservatórios, ocasionando dois óbitos. A partir daí iniciou-se um colapso progressivo o qual se estendeu por boa parte da edificação, causando prejuízos de grande monta. Após o ocorrido foi acionado o CBV – Corpo de Bombeiros Voluntários, para o primeiro atendimento e posteriormente outras entidades como a Defesa Civil, o Instituto Geral de Perícias (IGP), o CREA e a Polícia Militar, dando prosseguimento aos trabalhos.

1.2 CRONOLOGIA DOS FATOS MAIS RELEVANTES

Para melhor entender os fatos ocorridos, até o momento do colapso, foram listadas as ocorrências mais importantes e elencadas em ordem cronológica. Essas informações estão listadas no Quadro 1, a seguir apresentado.

Quadro 1 – Linha do tempo (continua)

Item	Data	Descrição	Disponibilizado
1	07/02/2007	Licença para construção	Construtora
2	23/02/2007	Alvará de construção	Construtora
3	09/04/2007	Alvará sanitário (habite-se) com 1.006,50 m ²	Construtora
4	18/08/2010	Contrato Dona da Obra x Construtora (ART)	Dona da Obra
5	30/09/2010	Projeto <i>Layout</i> Projetista do SPI com 1122 m ² - Prédio 3	Dona da Obra
6	10/11/2010	Contrato Dona da Obra x Fornecedora de Pré moldado (ART)	Dona da Obra
7	Sem Data	Fornecedora de Pré moldado, Memorial de Cálculo	Dona da Obra / Fornecedora de Pré moldado
8	22/12/2010	Construtora, ART (Execução da Estrutura e Preventivo)	Dona da Obra
9	13/05/2011	Fornecedora de Pré moldado, ART nº 4046746-0 (Fabricação e Montagem)	Dona da Obra
10	02/06/2011	Projetista do SPI, Projeto Hidráulico Preventivo com 1.023m ² - Prédio 3 (ART)	Construtora
11	13/06/2011	Projetista do SPI, Projeto Elétrico Preventivo com 1.023m ² - Prédio 3 (ART)	Construtora
12	27/06/2011	CBV, Vistoria dos Bombeiros com recusa do alvará (item 2.6, ofício CBV)	CBV
13	24/10/2011	Pagamentos à Construtora	Dona da Obra
14	06/12/2012	Contrato Dona da Obra x Empresa de Regularização (Projeto e RRT - Execução)	Empresa de Regularização

COBREAP XXI – Goiânia-GO – 09 a 12 de novembro de 2021

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Quadro 2 – Linha do tempo (conclusão)

Item	Data	Descrição	Disponibilizado
15	12/12/2012	Empresa de Regularização, Projeto Preventivo Contra Incêndio da Empresa de Regularização de março/2013 com 3.948 m ² (RRT)	Construtora
16	12/12/2012	Empresa de Regularização, RRT, Projetos diversos com 3.796,87 m ²	CBV
17	12/12/2012	Empresa de Regularização, RRT, Execução de obra com 3.796,87 m ²	CBV
18	28/09/2014	Empresa de Regularização, RRT, projeto de obra com 2.984,85m ²	Construtora
19	28/09/2014	Empresa de Regularização, RRT, execução de obra com 2.984,85 m ²	Construtora
20	14/11/2014	SEMA, Alvará Construção com 2.941m ² - ampliação	SEMA
21	24/11/2014	Certificado de Conclusão de Obras com 1.006,50 m ²	Construtora
22	20/02/2015	ATA: Medidas Corretivas (Separação RTI)	Dona da Obra
23	03/2015	Empresa de Regularização, Projeto Preventivo Contra Incêndio Aprovado em junho/2015 com 3.991,35 m ² (RRT)	CBV
24	12/03/2015	CBV, Declaração de Aprovação de Projeto contra Incêndio	CBV
25	13/04/2015	Vistoria de Conclusão de Obras	Construtora
26	01/07/2015	SEMA, Certificado de Conclusão de Obras com 2.941,95 m ²	SEMA
27	01/09/2015	CBV, Atestado de Vistoria	Dona da Obra
28	18/01/2016	Desabamento parcial do Prédio 3	Dona da Obra
29	22/01/2016	Relatório da Defesa Civil referente ao sinistro no dia 18/01/2016	Dona da Obra
30	20/04/2016	IGP produz seu Laudo Pericial	
31	19/12/2016	Dona da Obra ingressa com processo judicial	
32	25/07/2018	Delegacia de Polícia finaliza o Inquérito Policial	

1.3 PRINCIPAIS DOCUMENTOS ANALISADOS

Durante as diligências foi também obtida extensa documentação complementar, necessária ao esclarecimento dos fatos.

Quadro 3 – Documentação disponibilizada nos Autos (continua)

Item	Documento	Data
Dona da Obra		
1	Contrato/Proposta entre Dona da Obra e Construtora	18/08/2010

COBREAP XXI – Goiânia-GO – 09 a 12 de novembro de 2021

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Quadro 4 – Documentação disponibilizada nos Autos (conclusão)

Item	Documento	Data
2	Cronograma Físico - Financeiro Construtora	2010
3	Planta Projeto Arquitetônico da Projetista do SPI (Projeto Layout)	30/09/2010
4	Contrato de Compra e Venda Pré-moldados entre Dona da Obra e Fornecedora de Pré moldado	10/11/2010
5	Memorial de Cálculo do pré-moldado da Fornecedora de Pré moldado	10/11/2010
6	Notas Fiscais de Prestação de Serviços Construtora	Diversas
7	ART nº 3928687-4 referente à construção do Prédio 3 (Construtora)	22/12/2010
8	ATA da Vistoria do Corpo de Bombeiros emitida pela Dona da Obra	20/02/2015
9	Projeto elaborado pela Empresa de Regularização Rev.01	09/2014
10	Atestado de Vistoria do Corpo de Bombeiros.	01/09/2015
11	Registro da Ocorrência feito pela Defesa Civil	22/01/2016
12	Termo de Notificação emitido pela Defesa Civil	02/03/2016
13	Resposta da Dona da Obra à Defesa Civil	29/02/2016
14	ART referente às medidas da Defesa Civil	04/02/2016
	Empresa de Regularização	
15	Contrato de elaboração de Projeto Arquitetônico e Preventivo	06/12/2015
16	Cronograma Físico - Financeiro	06/12/2015
17	ART, Direção da Execução do Prédio 3	26/10/2001
Fornecedora de Pré moldado		
18	ART, referente ao Projeto, Fabricação e Montagem da Estrutura Pré-Moldada	13/05/2011
19	Projeto da Estrutura Pré-Moldada	11/2010

Quadro 5 – Documentação obtida junto às partes (continua)

Item	Documentos	Data	Empresa Resp.
Dona da Obra			
1	Relatório Técnico da Assistente Técnica referente ao desabamento	16/03/2016	Assistente Técnica
2	Relatório Técnico da Assistente Técnica referente à viabilidade técnica da estrutura remanescente	01/06/2016	Assistente Técnica
3	Laudo do IGP	20/04/2016	IGP
4	Questionamento do Delegado ao IGP	13/10/2016	Delegacia Geral de Polícia Civil

COBREAP XXI – Goiânia-GO – 09 a 12 de novembro de 2021

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Quadro 6 – Documentação obtida junto às partes (continua)

Item	Documentos	Data	Empresa Resp.
5	Ofício do IGP em resposta ao Delegado	03/11/2016	IGP
6	ART da Fornecedora de Pré moldado (Fabricação e Montagem do pré-moldado)	13/05/2011	Fornecedora de Pré moldado
7	Vídeos do sistema interno de câmeras	18/01/2016	Dona da Obra
8	Fotos dos reservatórios	2015	Dona da Obra
9	Fotos internas do Prédio 3 após desabamento	18/01/2016	Dona da Obra
10	Planta com posição das câmeras internas	–	Dona da Obra
11	Fotos do capeamento da capa da laje do nível dos reservatórios	11/10/2018	Dona da Obra
12	Notas fiscais do concreto para execução do Prédio 3	2011	Dona da Obra
13	Nota fiscal do forro da empresa Mendes Forros e Divisórias	11/08/2014	Mendes Forros
14	Relatório fotográfico da Assistente Técnica	18/07/2017	Assistente Técnica
15	Projeto Arquitetônico)	30/09/2010	Projetista do SPI
16	Projeto Hidráulico Preventivo	02/11/2011	Projetista do SPI
15	Projeto Arquitetônico)	30/09/2010	Projetista do SPI
16	Projeto Hidráulico Preventivo	02/11/2011	Projetista do SPI
17	Projeto Elétrico Preventivo	13/06/2011	Projetista do SPI
18	RRT simples da Empresa de Regularização	12/12/2012	Empresa de Regularização
19	RRT simples da Empresa de Regularização	12/12/2012	Empresa de Regularização
20	Projeto Preventivo Contra Incêndio da Empresa de Regularização	12/12/2012	Empresa de Regularização
21	RRT simples da Empresa de Regularização	28/12/2014	Empresa de Regularização
22	RRT simples da Empresa de Regularização	28/09/2014	Empresa de Regularização
23	Projeto Arquitetônico da Empresa de Regularização	28/09/2014	Empresa de Regularização
24	RRT simples da Empresa de Regularização	13/05/2015	Empresa de Regularização
25	Declaração de Aprovação de Projeto contra Incêndio	30/06/2015	Empresa de Regularização

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Quadro 7 – Documentação obtida junto às partes (conclusão)

Item	Documentos	Data	Empresa Resp.
26	Projeto Preventivo Contra Incêndio da Empresa de Regularização	03/2015	Empresa de Regularização
27	Arquivo SEINFRA	–	Diversos
28	Fotos com montagem da estrutura pré-moldada	26/01/2011	Construtora
29	Fotos da execução das alvenarias	01/04/2011	Construtora
30	Notas fiscais de empresas terceiras	2011	Diversas
31	Fotos da visita do Eng. Giovanni Construtora após obra entregue	14/02/2012	Construtora
Projetista do SPI			
32	Projeto Preventivo Contra Incêndio	06/2011	Projetista do SPI
33	ART (Projetos Arquitetônico, Hidrossanitário e Prevenção contra Incêndio)	30/05/2011	Projetista do SPI
34	ART (Projetos Elétrico e Preventivo)	02/07/2011	Projetista do SPI
Fornecedora de Pré moldado			
35	Relatório de concretagem das peças	Diversas	Fornecedora de Pré moldado
36	Notas fiscais do concreto	Diversas	Fornecedora de Pré moldado

1.4 EMPRESAS ENVOLVIDAS

Desde a construção da edificação até a data do desabamento várias empresas participaram do processo. Para melhor compreender a participação de cada uma delas foi criado o Quadro 4, a seguir apresentado:

Quadro 4 – Empresas envolvidas

Empresa	Contratada por	Função
Dona da Obra	–	Proprietária da obra, responsável pela contratação das empresas para construção do Prédio 3
Construtora	Dona da Obra	Empresa responsável pelo gerenciamento da obra, contratação de terceiros e serviços de engenharia
Projetista do SPI	Dona da Obra	Empresa responsável pelos projetos Arquitetônico, Hidráulico e Preventivo de Incêndio (original)
Fornecedora de Pré moldado	Dona da Obra	Empresa responsável pelo projeto, execução e montagem da estrutura pré-moldada
Empresa de Regularização	Dona da Obra	Empresa responsável pelo fornecimento de projetos para regularização da obra

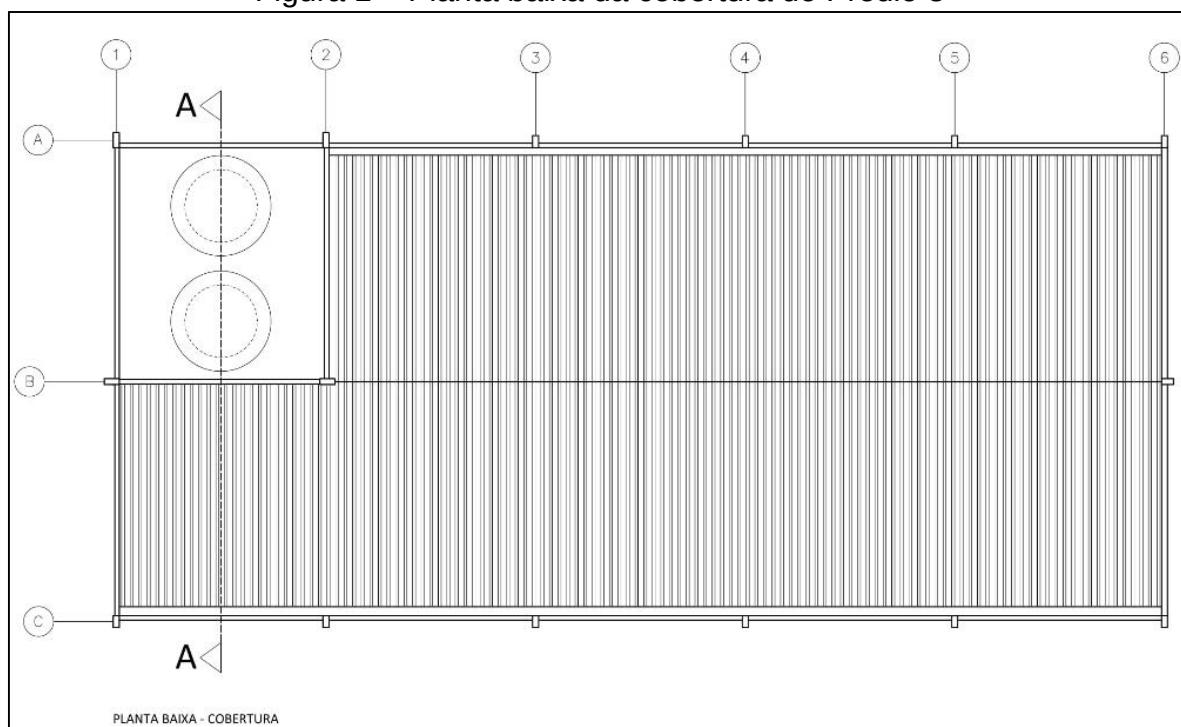
COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

2 PROVA PERICIAL

2.1 INSPEÇÕES EM CAMPO

A primeira inspeção do Prédio 3 ocorreu entre os dias 12 e 14/09/2018, estando presentes os representantes das partes. Houve necessidade de inspeção complementar, a qual ocorreu na data de 10/10/2018, também na presença das partes. As figuras 1 a 3, a seguir apresentadas, indicam a situação de projeto do local de interesse (local do sinistro).

Figura 1 – Planta baixa da cobertura do Prédio 3



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Figura 2 – Corte A-A da Figura anterior

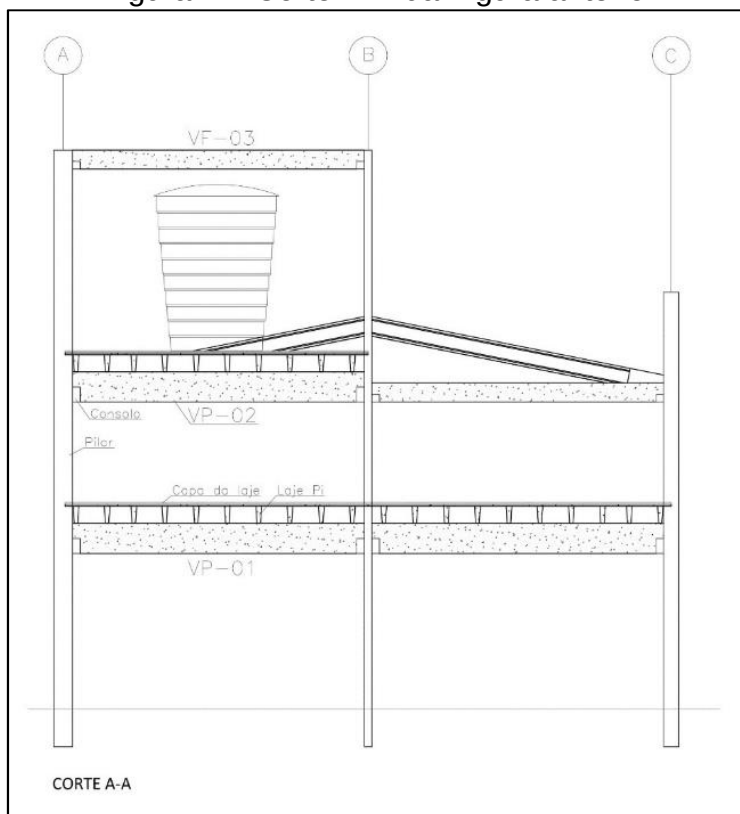
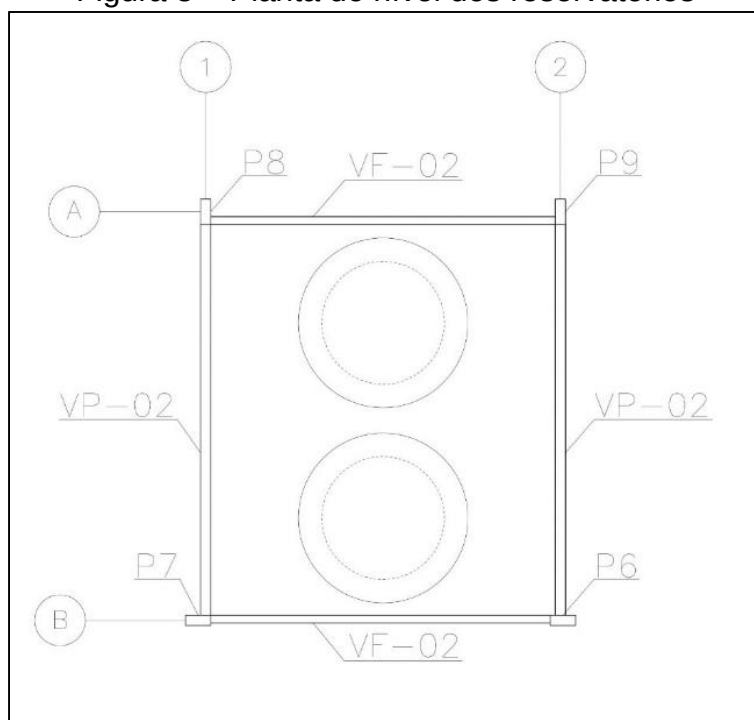


Figura 3 – Planta do nível dos reservatórios



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

2.1.1 Inspeção de 12 a 14/09/2018

Figura 4 – Trecho 1 da viga VP-02 Eixo 01 com indícios de esmagamento (círculos amarelos) e posição das nervuras das lajes PI (círculos vermelhos)



Figura 5 – Trecho 2 da viga VP-02 Eixo 01 com indícios de esmagamento (círculos amarelos) e disposição das nervuras das lajes PI (círculos vermelhos)



Figura 6 – Viga VP-02 Eixo 01. Detalhe da viga esmagada no apoio da nervura da laje PI (círculo amarelo)



Figura 7 – Viga VP-02 Eixo 01. Detalhe do círculo amarelo da Figura anterior



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Figura 8 – Viga VP-02 Eixo 02. Vista frontal do dente Gerber com detalhe das armaduras retorcidas



Figura 9 – Viga VP-02 Eixo 02. Detalhe da viga sem o dente Gerber, rompido em fissura de 45° (círculo amarelo)



Figura 10 – Viga VP-02 Eixo 02. Detalhe das fissuras ressaltadas nos pontilhados em branco



Figura 11 – Viga VP-02 Eixo 02. Detalhe das fissuras ressaltadas nos pontilhados em branco



Figura 12 – Extração de testemunhos. Máquina para extração dos testemunhos modelo HILTI DD-120



Figura 13 – Extração de testemunhos. Equipamento posicionado para extração na viga VP-02 Eixo 01



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Figura 14 – Extração de testemunhos. Furos da extração dos seis testemunhos da viga VP-02 Eixo 01



Figura 15 – Extração de testemunhos. Equipamento posicionado para extração na viga VP-02 Eixo 02



Figura 16 – Extração de testemunhos. Furos da extração dos primeiros quatro testemunhos da viga VP-02 Eixo 02



Figura 17 – Extração de testemunhos. Furos da extração dos últimos quatro testemunhos da viga VP-02 Eixo 02



Figura 18 – Extração de testemunhos. Todos os testemunhos extraídos das vigas VP-02 Eixos 01 e 02



Figura 19 – Capa da laje dos reservatórios com canaleta para escoamento de água



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

2.1.2 Inspeção do dia 10/10/2018

Dando sequência às inspeções de campo, foi procedida a inspeção da estrutura remanescente bem como dos destroços mantidos. As Figuras a seguir apresentadas ilustram o relatado.

Figura 20 – Rompimento da VP02 Eixo 02 para verificação das armaduras



Figura 21 – Viga VP02 Eixo 02 com estribos medindo 5,27 mm a cada 5 cm, aproximadamente (setas vermelhas)



Figura 22 – Estribos posicionados após a armadura de suspensão espaçados a cada 16,50 cm, aproximadamente



Figura 23 – Armadura do tirante da viga VP-02 do eixo 02 medindo aproximadamente 72 cm com bitola de 24 mm



Figura 24 – Bitola da armadura da capa da laje dos reservatórios medindo 6,24 mm



Figura 25 – Espaçamento longitudinal da armadura da capa da laje dos reservatórios medindo aprox. 15,0 cm



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Figura 26 – Espaçamento transversal dos estribos da capa da laje dos reservatórios a cada 18,0 cm



Figura 27 – Capa da laje medindo aproximadamente 7,0 cm de espessura



Figura 28 – Destroços dos reservatórios. Parte de um dos reservatórios de 25.000 litros



Figura 29 – Destroços dos reservatórios. Parte de outro reservatório de 25.000 litros



Figura 30 – Peça remanescente do reservatório de 5.000 litros



Figura 31 – Tubo de alimentação de água (distante aprox. 12,50 cm, da borda)



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Figura 32 – Destroços dos reservatórios. Tubo extravasor (distante aprox. 24,0 cm, da borda)



Figura 33 – Destroços dos reservatórios. Marca indicando nível de água máximo típico (seta vermelha)



Figura 34 – Destroços dos reservatórios. Marca d' água do nível máximo típico, destacada na Figura anterior (distante 27,0 cm da borda superior)



Figura 35 – Destroços dos reservatórios. Marca d' água do nível típico inferior (distante 150,0 cm da borda superior)



Figura 36 – Marca d'água do do nível típico do segundo reservatório (distante 165,50 cm da borda superior)



Figura 37 – Reconstituição do traçado dos tubos do sistema de incêndio preservados e dispostos conforme instalados. Notar três bombas presentes (setas pretas)



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

3 ANALISES

3.1 ENSAIOS

Para correta caracterização foram realizados ensaios nos vergalhões de aço extraídos (vigas VP-02 Eixo 02) e nos testemunhos de concreto extraídos das vigas VP-02 (Eixos 01 e 02). Os ensaios nos vergalhões de aço e dos testemunhos de concreto foram realizados em laboratórios especializados, na presença das partes envolvidas.

3.1.1 Resultado dos ensaios realizados

Os ensaios dos materiais extraídos (testemunhos de concreto e vergalhões de aço) tiveram por objetivo a determinação das características mecânicas mais relevantes destes materiais, visando a posterior realização de análise estrutural.

3.1.1.1 Resultados do ensaio de tração nos vergalhões de aço

Teve como objetivo a determinação da resistência à tração dos vergalhões de aço da viga VP-02 Eixo 02. Foram retirados 7 (sete) testemunhos, dos quais 2 (dois) ficaram retidos, para eventual contraprova. Os resultados encontrados oscilaram entre 667 MPa e 789 MPa, com uma média de 732 MPa, apresentando conformidade com a Classe CA-60. O Quadro 5, a seguir apresentado, representa os resultados obtidos.

Quadro 5 – Resultados do ensaio de tração

Amostras	Tensão máxima (MPa)	Carga máxima (N)
1	719	14295
2	667	13098
3	789	14628
4	740	14295
5	745	13996

3.1.1.2 Resultado do ensaio de ruptura dos testemunhos de concreto

Teve como objetivo a determinação da resistência à compressão dos testemunhos de concreto. Os testemunhos foram retirados da viga VP-02 Eixo 01 (Figuras 13 e 14, retro apresentadas) e da viga VP-02 Eixo 02 (Figuras 15 a 17, retro apresentadas), em número de 14 (quatorze) (vide Figura 18, retro apresentada). Destes, 7 (sete) ficaram retidos para eventual realização de contraprova. Os resultados encontrados para os testemunhos extraídos da viga VP-02 Eixo 01 oscilaram entre 38,50 MPa e 48,50 MPa, com uma média de 44 Mpa. Já para os testemunhos extraídos da viga VP-02 Eixo 02, os resultados ficaram entre 45,10 MPa e 51,80 MPa, com uma média de 49,30 MPa. O quadro 6, a seguir apresentado, apresenta os resultados obtidos.

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Quadro 6 – Resultados do ensaio à compressão

	Testemunhos	Resistência	Média (NBR-7680, item 6.2)
VP-02 Eixo 01	T1	38,5	44,0
	T3	48,5	
	T5	45	
VP-02 Eixo 02	T7	49,7	49,3
	T9	50,6	
	T11	45,1	
	T13	51,8	

3.2 LAYOUTS POSSÍVEIS DOS RESERVATÓRIOS

O *layout* dos reservatórios, no momento do desabamento, se encontrava diverso daquele estabelecido originalmente e considerado no projeto estrutural da Fornecedora de Pré moldados. Segundo se pode apurar, a alteração de *layout* decorreu de exigência do Corpo de Bombeiros Voluntários (CBV), após vistoria, visando liberação de alvará, como anteriormente relatado. Analisando toda documentação obtida, foi possível elaborar quatro possíveis *layouts* para os reservatórios, conforme a seguir elencados. Para o *layout* 1 (Figura 38) foi considerado o contido no projeto inicial da empresa Projetista do SPI (com os dois reservatórios de 25.000 litros dispostos de maneira centralizadas em relação ao eixo 01-02 e levemente afastadas do centro, em relação ao eixo A-B). Para melhor entendimento, observar a Figura 38, a seguir apresentada. Para o *layout* 2 (Figura 38) foram considerados os mesmos dois reservatórios de 25.000 litros, porém um pouco deslocados em relação aos eixos 01-02 e A-B. O *layout* 3A (Figura 40) parte do *layout* 2 com acréscimo de um terceiro reservatório de 5.000 litros. O *layout* 3B (Figura 41) foi obtido a partir do *layout* 3A, apenas considerando a redução do volume armazenado nos dois reservatórios maiores (de 25.000 para 15.000 litros, em se considerando as marcas do nível d'água típico, observados nos destroços). As figuras 38 a 41, a seguir apresentadas, representam cada *layout* analisado.

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Figura 38 – *Layout 1* (projeto original da Projetista do SPI)

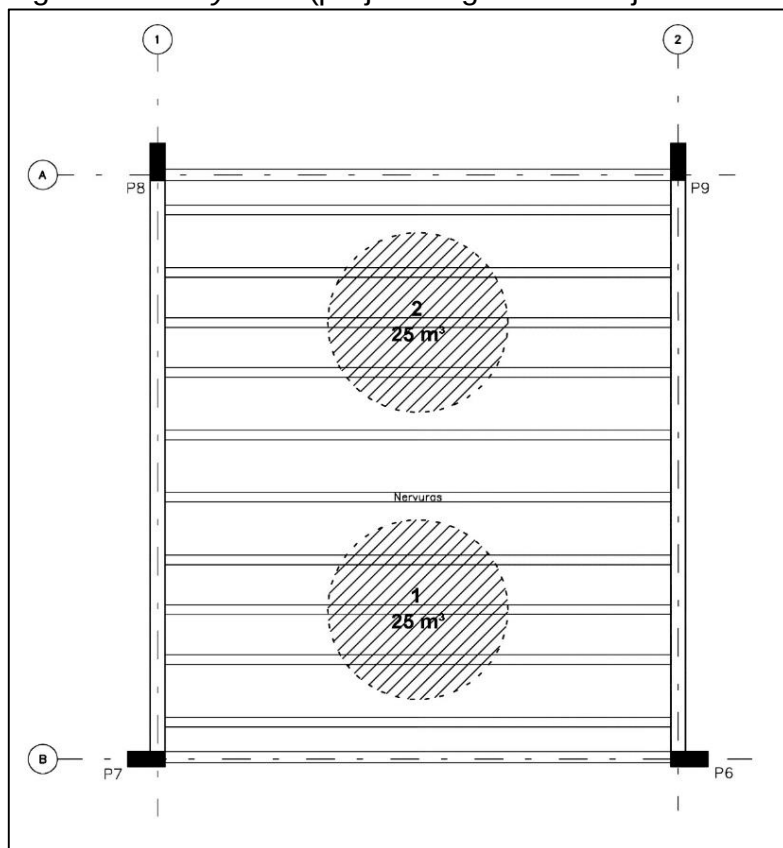
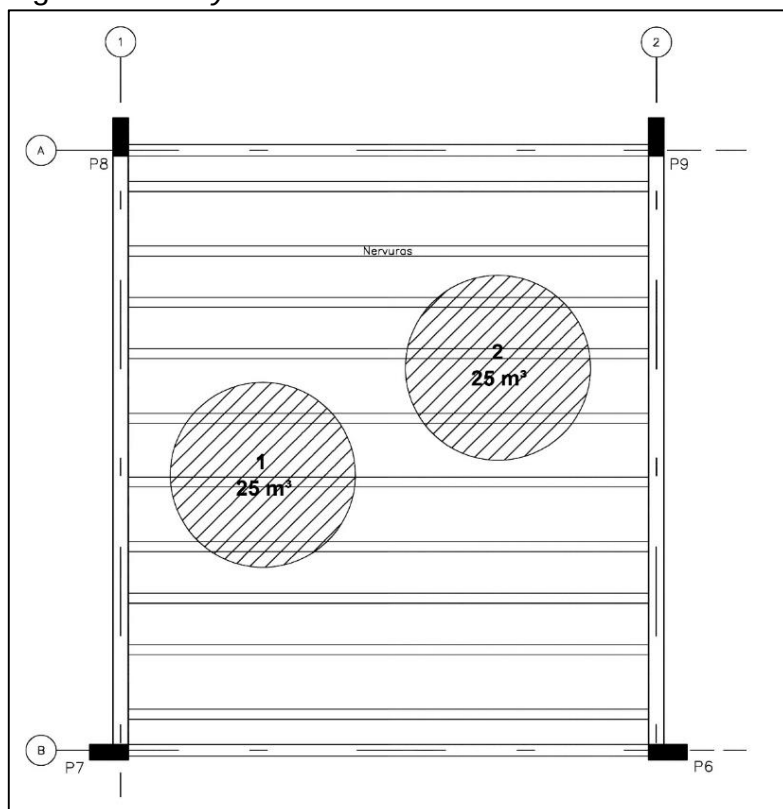


Figura 39 – *Layout 2*



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Figura 40 –Layout 3A

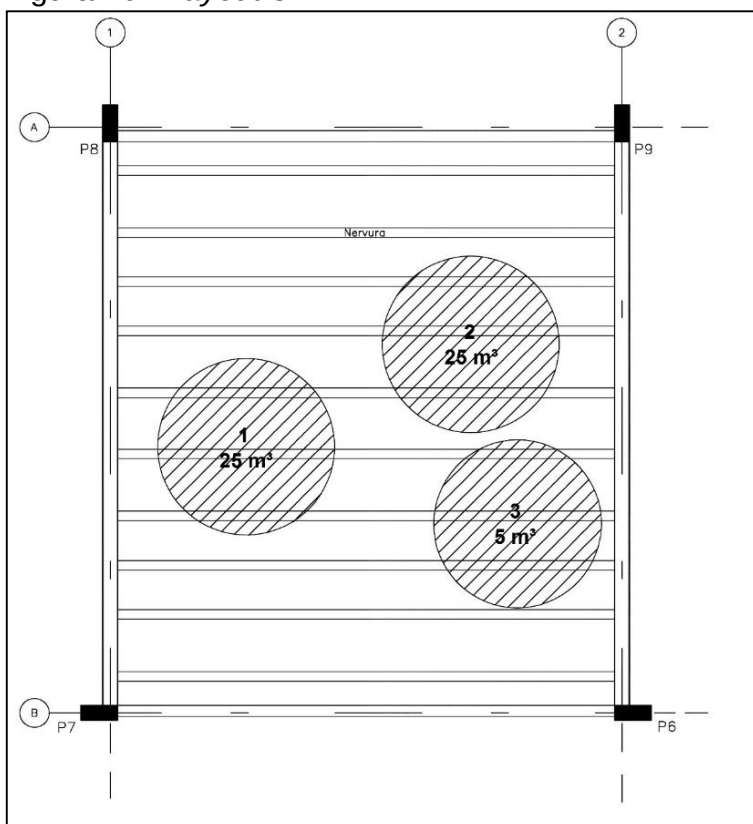
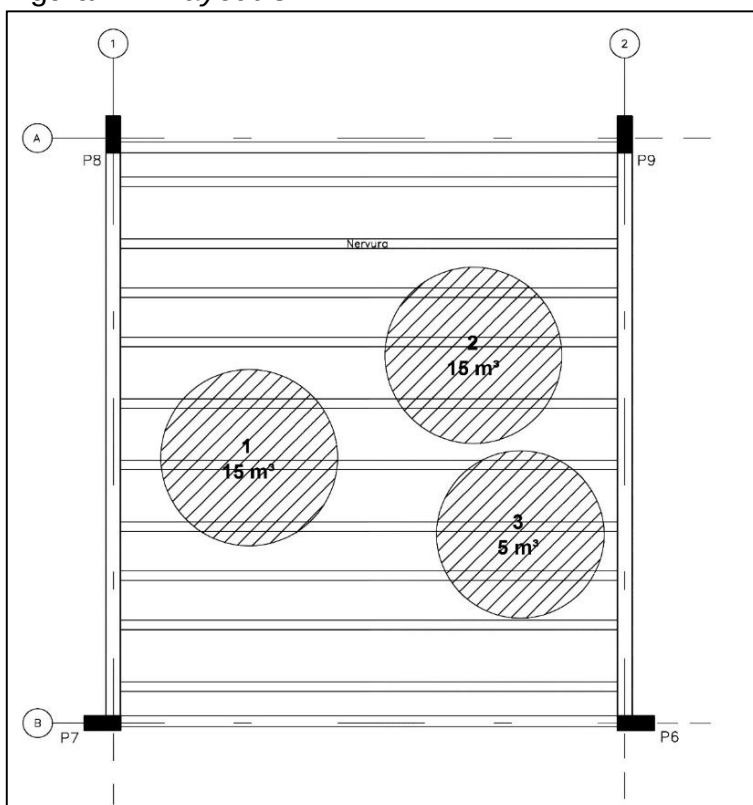


Figura 41 –Layout 3B



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

3.3 ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE ENTRE O PROJETO ESTRUTURAL E O CONSTATADO *IN LOCO*

Durante a prova pericial foi realizada a conferência das armaduras e das medidas da viga VP-02 Eixo 02, das lajes tipo PI e da capa de concreto executada sobre a laje, sendo comparadas com o contido nos projetos correspondentes.

3.3.1 Análise da viga VP-02 Eixo 02

A viga VP-02 Eixo 02 apresenta praticamente as mesmas medidas geométricas do projeto estrutural, medindo 7,66m de comprimento (no projeto consta 7,68m), 0,80m de altura (igual ao projeto) e 0,40m de largura (igual ao projeto). Já para as armaduras constam algumas divergências, quais sejam:

a) Para as armaduras do tirante, na região do dente Gerber, foram encontradas 6 Ø de 20,0mm (totalizando aproximadamente 18,85 cm²). No projeto consta 2 Ø 20,0mm mais 2 Ø 16,0mm (totalizando aproximadamente 9,69cm²);

b) Para as armaduras negativas foram encontradas 2 Ø 10,0mm ao longo da viga (totalizando 1,57cm²). No projeto consta diferença entre a região do dente Gerber, com 2 Ø 20,0mm, 2 Ø 16,0mm e 2 Ø 10,0mm (totalizando aproximadamente 11,87 cm²), e a região do meio do vão, com 2 Ø 10,0 mm (totalizando aproximadamente 1,57cm²);

c) Para as armaduras de suspensão, na região do apoio, foram encontradas 10 Ø 5,0mm espaçadas a cada 5cm (totalizando aproximadamente 3,92 cm²/m). No projeto consta 9 Ø 6,30mm espaçadas a cada 5cm (totalizando aproximadamente 6,24cm²/m);

d) Para as armaduras de flexão, na região do meio do vão, foram encontradas 4 Ø 16,0mm mais 2 Ø de 20,0mm na parte inferior (totalizando aproximadamente 14,32cm²). No projeto consta 2 Ø 16,0mm mais 3 Ø 20,0 mm na parte inferior (totalizando aproximadamente 13,45cm²);

e) Para as armaduras de cisalhamento, na região do meio do vão, foram encontradas Ø 5,0mm espaçadas a cada 15cm (totalizando aproximadamente 2,61cm²/m). No projeto consta Ø 6,30mm espaçadas a cada 15cm (totalizando aproximadamente 4,16cm²/m);

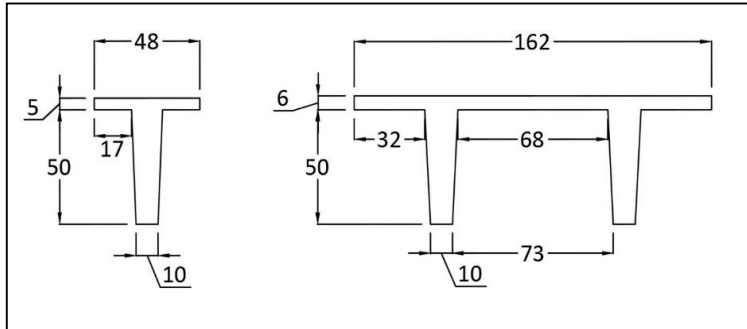
f) Outra divergência se encontra no comprimento da armadura do tirante, dado que durante a inspeção foi encontrado um comprimento total de 0,70 m, sendo que no projeto consta o comprimento de 1,20m, e ainda foi constatado a falta de gancho para melhorar a ancoragem, presente no projeto.

3.3.2 Análise das lajes tipo PI

As lajes do tipo PI apresentam as mesmas medidas do projeto estrutural, sendo estas apresentadas na Figura 42, a seguir.

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Figura 42 – Dimensões das lajes PI, simples e dupla



As armaduras encontradas na inspeção não possuem divergências com o projeto estrutural, que são:

a) Para armadura de flexão foram encontradas 2 Ø 16,0mm e 2 Ø 12,0mm (totalizando 6,28cm²);

b) Para a armadura de cisalhamento foram encontradas Ø 5,0mm a cada 15 cm (totalizando 2,62cm²/m). A capa de concreto, executada sobre as lajes PI para dar monoliticidade ao conjunto, foi projetada com 6 cm de espessura, concreto com $F_{CK} = 25$ MPa e com ferragens em malha de Ø 6,3mm cada 15cm. No dia da inspeção foram encontradas medidas muito próximas ao projeto, que podem ser conferidas nas Figuras 24 a 27, retro apresentadas.

3.4 ANÁLISE DAS FOTOS DISPONIBILIZADAS PELO IGP

No dia do acidente, o IGP esteve no local realizando a perícia e gerando um extenso relatório fotográfico, o qual foi gentilmente disponibilizado pelo Perito Criminal, sendo de grande auxílio para elucidação do caso em tela. As principais imagens foram selecionadas e estão a seguir elencadas.

Figura 43 – Destroços das lajes. Capa da laje do nível dos reservatórios deslocada e com marca dos reservatórios



Figura 44 – Capa da laje do nível dos reservatórios totalmente deslocada.



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Figura 45 –Laje do 1º pavimento com deslocamento da capa na parte adjacente à parede (elipse amarela)



Figura 46 –Capa das lajes com deslocamento na parte adjacente à parede (elipses amarelas)



Figura 47 – Viga VP-02 Eixo 01. Observar parte da nervura da laje PI deslocada e depositada sobre a viga (setas vermelhas) e o esmagamento da viga (setas amarelas)

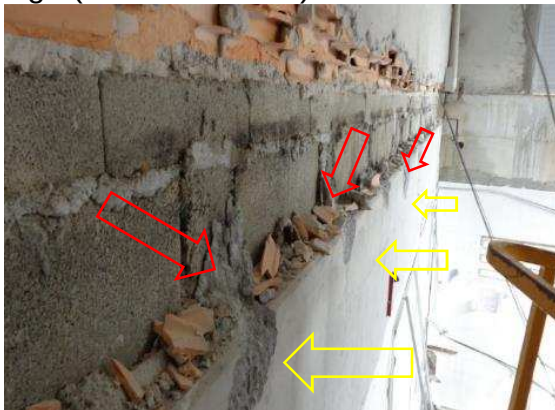


Figura 48 – Parede de fechamento do compartimento dos reservatórios rompida com destroços sobre a cobertura adjacente



Figura 49 – Viga VP-02 Eixo 02. Dente Gerber rompido em ângulo de aproximadamente 45º coincidindo com o fim da armadura do tirante

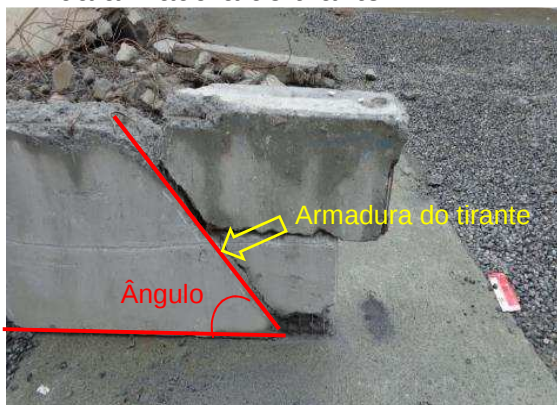


Figura 50 – Viga VP-02 Eixo 02. Detalhe da Figura anterior com armadura do tirante sem dobra, diferente do previsto no projeto estrutural



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

3.5 ANÁLISE DAS FOTOS DISPONIBILIZADAS PELA DEFESA CIVIL

A defesa civil também se fez presente no dia da ocorrência, prestando assistência e estabelecendo uma série de requisitos para restabelecimento das condições mínimas de utilização do Prédio 3. Em contato com o Gerente da Unidade de Proteção Civil foram obtidas as fotos do dia do desastre, sendo que as mais significativas para este trabalho estão apresentadas, a seguir.

Figura 51 – Laje com evidência da posição dos reservatórios (setas amarelas) bem como das canaletas coletoras de água (setas vermelhas)

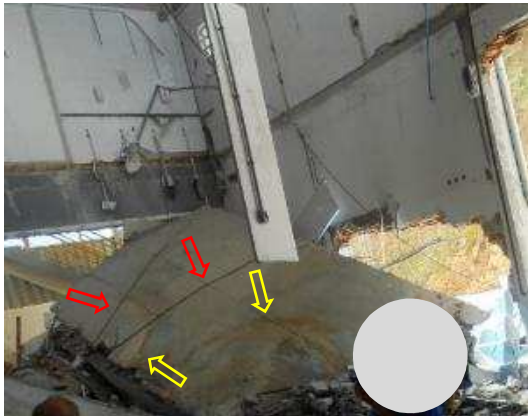


Figura 52 – Laje dos reservatórios, em sua porção mais preservada (entre linhas vermelhas).



3.6 ANÁLISE DAS FOTOS DISPONIBILIZADAS PELA Dona da Obra

A Dona da Obra disponibilizou fotos da área dos reservatórios quando da readequação realizada, a pedido do CBV. Disponibilizou, ainda, as imagens das câmeras do circuito interno, a partir das quais foi possível obter registros relacionados ao colapso da estrutura, no dia de sua ocorrência.

Figura 53 – Disposição das bombas elétricas do sistema Preventivo de Incêndio (datada de 12/03/2015)



Figura 54 – Reservatório de 5.000 litros adicionado posteriormente, próximo à parede (datada de 15/07/2015).



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Figura 55 – Imagens do circuito de câmeras. Momento anterior ao colapso



Figura 56 – Imagens do circuito de câmeras. Notar placa do forro, fixada na laje e se desprendendo, próximo à porta externa (círculo amarelo)



Figura 57 – Colapso em curso. Notar forro se desprendendo (círculo amarelo)



Figura 58 – Colapso em curso. Notar forro já em queda (círculo amarelo)



Figura 59 – Colapso em curso. Notar forro em queda (círculo amarelo)



Figura 60 – Colapso em curso. Notar forro desabando, na última imagem capturada (círculo amarelo)



COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

3.7 OUTRAS INFORMAÇÕES RELEVANTES OBTIDAS

Na tentativa de buscar informações úteis e para melhor esclarecer pontos dúbios que ainda remanesciam, foi procedida a oitiva de alguns agentes que participaram dos trabalhos, ora em análise. Com profissional encanador da Construtora foi possível confirmar de maneira inequívoca – a partir de projetos e de fotografias a ele apresentadas (vide Figuras 53 e 54 – que o *layout* inicial dos reservatórios nunca fora aquele do projeto original (*layout* 1) mas sim, o expresso no *layout* 2. Ainda, segundo aquele, tal fato se deu por conveniências de natureza executiva, pela maior facilidade na instalação das tubulações. Já com o Arquiteto da Fornecedora de Pré Moldados foi possível a obtenção de informações relativas ao processo de fabricação da estrutura pré-moldada em análise. Descreveu que não era adotado nenhum procedimento especial de cura dos elementos estruturais ou controle tecnológico do concreto. Informou que os consolos dos pilares costumavam ser confeccionados em etapa posterior, pós concretagem do fuste. Apresentou uma espécie de Ficha de Produção a partir da qual se pode aferir a data de fabricação das vigas e lajes, presentes na região sinistrada. Informou, ainda, não terem sido localizadas notas fiscais ou maiores informações sobre o concreto aplicado. Em suma, restou evidenciado que os procedimentos e o nível de controle de produção adotados pela Fornecedora de Pré moldados seriam bastante rudimentares.

3.8 RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL

Para correta determinação do(s) provável(is) mecanismo(s) de ruptura há que se partir de algumas premissas:

- a) O sinistro ocorreu somente cerca de 4 anos e 3 meses após a construção da edificação;
- b) O *layout* dos reservatórios, no momento do sinistro (*layouts* 3A ou 3B, não podendo ser precisamente determinado), era diverso daquele considerado no projeto da Projetista do SPI (*layout* 1) e, por consequência, diverso do adotado no projeto estrutural elaborado pela Fornecedora de Pré moldados;
- c) A queda da laje dos reservatórios se deu após a ruína da VP-02 Eixo 02, notadamente com a ruptura frágil (brusca) de seu dente Gerber, junto ao Pilar 9. Ato contínuo, houve, então, forte impacto do reservatório (2) contra a parede de alvenaria presente sobre aquela viga, fato comprovado pelo lançamento dos destroços da dita parede sobre o telhado, e evidenciado, ainda, pelas marcas de arraste do fundo do reservatório, na capa da laje (como observado nas Figuras 43 a 48, retro apresentadas);
- d) Ainda que exista registro, junto ao CBV, da aprovação de um novo Projeto Preventivo contendo 3 reservatórios de grande porte (2 de 20.000 litros + 1 de 25.000 litros), elaborado pela Empresa de Regularização, tem-se que tal configuração nunca fora implantada. Esta assertiva encontra amparo no depoimento do Colaborador (Dona da Obra), no Inquérito Policial realizado, bem como na impossibilidade desta implantação sem a modificação do traçado das tubulações, as quais se encontravam na mesma posição de instalação, quando do sinistro, como confirmado pelo instalador hidráulico do sistema original, a serviço da Construtora. Sendo assim, tal *layout*, porquanto nunca implantado, não será sequer considerado nas análises e verificações;
- e) Foi relatada a observação de alguns eventos anteriores que podem guardar relação com a ruína que se anunciava. Segundo a Dona da Obra, foi

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

observado o surgimento de uma espécie de “fresta” entre a laje e a alvenaria, presentes sobre a VP-02 Eixo 01, bem como o surgimento de “poeira” no cômodo situado no nível inferior. Aquela “fresta”, embora seguidamente preenchida com argamassa, acabava por reabrir, de tempos em tempos;

f) Observadas marcas de ruptura nas quinas superiores das VP-02, mais evidentes no Eixo 01, notadamente na região do apoio das nervuras da laje PI;

g) A VP-02 Eixo 01 permaneceu íntegra e em serviço, mesmo após o sinistro.

3.8.1 Síntese da retro análise da estrutura, considerando os vários layouts enumerados

A retro análise da estrutura foi realizada sob duas abordagens distintas:

a) Conformidade: visou checar o atendimento e adequação da estrutura às normas técnicas aplicáveis, considerando o uso dos coeficientes de segurança prescritos. Verificou o atendimento do conforto, segurança, durabilidade e comportamento adequado, por parte da estrutura;

b) Resistência: visou checar a aptidão da estrutura para resistir aos esforços de serviço, considerando as resistências reais dos materiais e as cargas reais atuantes, sem uso de coeficientes de segurança. Verificou se a estrutura apresentou risco de ruína. Em suma, embora a conformidade (atendimento às Normas Técnicas) seja condição compulsória, a ruína de uma estrutura representa evento extremamente raro e grave, somente explicável se abordado pelo aspecto da resistência. Após realizadas todas as verificações pertinentes – considerando as várias situações de *layout*, a variação da resistência do concreto e a suposta perda de aderência da capa de concreto da laje - apresenta-se, a seguir, os quadros-resumo, sintetizando as conclusões obtidas. Cumpre esclarecer que, para o concreto, as resistências do projeto da Fornecedora de Pré moldados foram consideradas somente na análise do *layout* 1 e do *layout* 2, sendo que para os demais *layouts* foi considerada somente as resistências reais, obtidas nos ensaios – levando-se em conta o ganho de resistência, com o transcurso de cerca de 5 anos, contados da concretagem até o colapso - , exceção à resistência da capa de concreto, para a qual foi sempre utilizada a resistência de projeto, de sorte que os destroços não permitiram realização de ensaio de caracterização.

Quadro 7 – Capa de concreto da laje - Momento Fletor ($F_{ck} = 25 \text{ MPa}$)

	Segundo Norma Técnica	Cargas reais, resistências reais e coeficientes = 1
<i>Layout</i> 1	NÃO	SIM
<i>Layout</i> 2	NÃO	NÃO
<i>Layout</i> 3A	NÃO	NÃO
<i>Layout</i> 3B	NÃO	SIM

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Quadro 8 – Capa de concreto da laje - Força Cortante ($F_{ck} = 25 \text{ MPa}$)

	Segundo Norma Técnica	Cargas reais, resistências reais e coeficientes = 1
Layout 1	SIM	–
Layout 2	NÃO	SIM
Layout 3A	NÃO	SIM
Layout 3B	SIM	–

Quadro 9 – Lajes pré-moldadas - Momento Fletor

	S/ capa e $F_{ck} = 30 \text{ MPa}$		S/ capa e $F_{ck} = 45 \text{ MPa}$		C/ capa e $F_{ck} = 25 \text{ MPa}$	
	Segundo Norma	Cargas reais, resistências reais e coeficientes = 1	Segundo Norma	Cargas reais, resistências reais e coeficientes = 1	Segundo Norma	Cargas reais, resistências reais e coeficientes = 1
Layout 1	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM
Layout 2	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM
Layout 3A	N A	N A	NÃO	SIM	NÃO	SIM
Layout 3B	N A	N A	SIM	–	NÃO	–

Quadro 10 – Lajes pré-moldadas - Força Cortante

	S/ capa e $F_{ck} = 30 \text{ MPa}$				S/ capa e $F_{ck} = 45 \text{ MPa}$	
	Segundo Norma		Cargas reais, resistências reais e coeficientes = 1		Segundo Norma	
	Verificação VRd2	Verificação VRd3	Verificação VRd2	Verificação VRd3	Verificação VRd2	Verificação VRd3
Layout 1	SIM	SIM	–	–	SIM	SIM
Layout 2	SIM	NÃO	–	SIM	SIM	SIM
Layout 3A	N A	N A	N A	N A	SIM	SIM
Layout 3B	N A	N A	N A	N A	SIM	SIM

Quadro 11 – Lajes pré-moldadas - tensões de apoio das nervuras (continua)

Tensões de apoio (Laje/Viga)		
Layout 1		
Força cortante máxima: 7,48 tf		Verificação
Segundo Norma	8,06	NÃO
P/ coeficientes 1,0	5,75	NÃO
Layout 2		
Força cortante máxima: 8,63 tf		Verificação

COBREAP XXI – Goiânia-GO – 09 a 12 de novembro de 2021

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Quadro 11 – Lajes pré-moldadas - tensões de apoio das nervuras (conclusão)

Segundo Norma	9,29	NÃO
P/ coeficientes 1,0	6,64	NÃO
<i>Layout 3^a</i>		
Força cortante máxima: 8,69 tf		Verificação
Segundo Norma	9,36	NÃO
P/ coeficientes 1,0	6,69	NÃO
<i>Layout 3B</i>		
Força cortante máxima: 5,79 tf		Verificação
Segundo Norma	6,24	NÃO
P/ coeficientes 1,0	4,45	NÃO
Obs.: A tensão de apoio máxima admissível adotada foi de 1MPa.		

Quadro 12 – Lajes pré-moldadas - Dentes Gerber das nervuras (Fck = 30 MPa)

Layouts possíveis	Verificação VRd2	Verificação do Tirante	Verificação do comprimento de ancoragem	Verificação da armadura de suspensão
<i>Layout 1</i>	SIM	SIM	SIM	SIM
<i>Layout 2</i>	SIM	SIM	NÃO	NÃO
<i>Layout 3A</i>	N A	N A	N A	N A
<i>Layout 3B</i>	N A	N A	N A	N A

Quadro 13 – Lajes pré-moldadas - Dentes Gerber das nervuras (Fck = 45 MPa)

Layouts possíveis	Verificação VRd2	Verificação do Tirante	Verificação do comprimento de ancoragem	Verificação da armadura de suspensão
<i>Layout 1</i>	SIM	SIM	SIM	SIM
<i>Layout 2</i>	SIM	SIM	SIM	NÃO
<i>Layout 3A</i>	SIM	SIM	SIM	NÃO
<i>Layout 3B</i>	SIM	SIM	SIM	SIM

Quadro 14 – Viga VP-02 Eixo 02 - Força Cortante (Fck = 30 MPa)

Layouts possíveis	Segundo Norma		Cargas reais, resistências reais e coeficientes = 1	
	Verificação VRd2	Verificação VRd3	Verificação VRd2	Verificação VRd3
<i>Layout 1</i>	SIM	NÃO	–	SIM
<i>Layout 2</i>	SIM	NÃO	–	SIM
<i>Layout 3A</i>	N A	N A	N A	N A
<i>Layout 3B</i>	N A	N A	N A	N A

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

Quadro 15 – VP-02 Eixo 02 - Força Cortante (Fck = 49 MPa)

	Segundo Norma		Cargas reais, resistências reais e coeficientes = 1	
	Verificação VRd2	Verificação VRd3	Verificação VRd2	Verificação VRd3
Layout 1	SIM	NÃO	–	SIM
Layout 2	SIM	NÃO	–	SIM
Layout 3A	SIM	NÃO	–	SIM
Layout 3B	SIM	NÃO	–	SIM

Quadro 16 – VP-02 Eixo 02 - Momento Fletor (Fck = 30 MPa)

	Segundo Norma	Cargas reais, resistências reais e coeficientes=1
Layout 1	NÃO	NÃO
Layout 2	NÃO	NÃO
Layout 3A	N A	N A
Layout 3B	N A	N A

Quadro 17 – VP-02 Eixo 02 - Momento Fletor (Fck = 49 MPa)

	Segundo Norma	Cargas reais, resistências reais e coeficientes= 1
Layout 1	NÃO	NÃO
Layout 2	NÃO	NÃO
Layout 3A	NÃO	NÃO
Layout 3B	NÃO	NÃO

Quadro 18 – Viga VP-02 Eixo 02 - Tensões de apoio nos consolos

Tensões de apoio (Viga/Consolo)		
Layout 1		
Força cortante máxima: 25,80 tf		Verificação
Norma Técnica	9,51	NÃO
P/ coeficientes 1,0	6,79	NÃO
Layout 2		
Força cortante máxima: 26,80 tf		Verificação
Norma Técnica	9,87	NÃO
P/ coeficientes 1,0	7,05	NÃO
Layout 3 ^a		
Força cortante máxima: 27,90 tf		Verificação
Norma Técnica	10,28	NÃO
P/ coeficientes 1,0	7,34	NÃO
Layout 3B		
Força cortante máxima: 22,10 tf		Verificação
Norma Técnica	8,14	NÃO
P/ coeficientes 1,0	5,82	NÃO

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

OBS.: A tensão de apoio máxima admissível adotada foi de 1,5 MPa.

Quadro 19 – Reações de apoio (valores característicos)

	Pilar P6 (tf)	Pilar P7 (tf)	Pilar P8 (tf)	Pilar P9 (tf)
Layout 1	25,90	25,90	25,80	25,80
Layout 2	24,20	24,80	26,50	26,80
Layout 3A	26,30	26,40	27,30	27,90
Layout 3B	21,80	21,60	21,70	22,10

Quadro 20 – Laje - Deformações elásticas máximas

Layout	Deformação elástica máxima (cm)
1	1,83
2	2,81
3A	2,93
3B	2,14

A deformação máxima das lajes, por norma, incluindo a deformação lenta, corresponde a $l/250 = 2,80$ cm. A deformação lenta depende de uma série de fatores, sendo complexa sua determinação teórica, mas pode elevar a deformação elástica em até 2,5 vezes. Usualmente, nas estruturas pré-moldadas, os componentes estruturais são produzidos já com contra flechas, de modo a mitigar os efeitos da deformação elástica, o que não foi possível aferir com precisão, no caso concreto, em face do colapso e dos danos havidos na estrutura.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização de todas as etapas que compuseram os trabalhos periciais – que se estenderam por um longo período, iniciado em 20/06/2017, em face de vários incidentes processuais e da necessidade de busca de informações complementares – a perícia chegou a termo e pode estabelecer as seguintes e mais relevantes conclusões.

4.1 PRELIMINARES

O objeto da perícia constou da análise técnica pormenorizada do evento ocorrido, sendo este um colapso estrutural progressivo, com ruína/ desabamento parcial da estrutura que compunha o compartimento dos reservatórios de água do chamado Prédio 3 - uma edificação de aproximadamente 1.006,50 m², cuja construção fora concluída nos idos de 2011. O colapso progressivo é definido com um fenômeno que se inicia a partir de um evento muitíssimo menor (dito “gatilho”) que deflagra mecanismo de ruína que culmina por gerar um evento de grandes proporções. Daí ser também chamado de colapso desproporcional. A ruína ocorreu na data de 18/01/2016 (uma segunda-feira), por volta das 07h08min, durante o intervalo da troca de turnos e após o transcurso de 4 anos e 3 meses da ocupação da edificação. Produziu duas vítimas fatais além de trazer danos materiais de grande monta, os quais motivaram interdição total com a transferência das atividades ali desenvolvidas para outras áreas da fábrica. Nestes trabalhos periciais, tem-se que a Prova Pericial em campo somente se iniciou na data de 12/09/2018 – após 2 anos e 8 meses do sinistro – já com a cena completamente descaracterizada, em face,

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

sobretudo, das atividades relativas ao socorro das vítimas. Contudo, houve a preservação, por parte da Dona da Obra, de grande parte dos destroços, os quais foram mantidos no pátio dos fundos do Prédio 3, como consta de Ata Notarial, produzida à época. A descaracterização da cena representou dificuldade importante e adicional a estes trabalhos periciais. Visando superar este entrave, foram procedidas inúmeras diligências junto aos diversos entes envolvidos com o sinistro – sobretudo as partes no processo: Defesa Civil, Bombeiros e IGP – visando obter informações relevantes e fidedignas relacionadas.

4.2 CONCLUSÕES

4.2.1 Quanto à eventual ocorrência de eventos externos que pudessem guardar relação com o sinistro

Não foi identificada a ocorrência de nenhum evento externo – impactos, explosões, incêndios, vibrações, fenômenos climáticos, etc. – que possam ter contribuído para o sinistro ocorrido. Também não foi identificado desvio de utilização, através de alterações construtivas e/ou imposição de sobrecargas adicionais e decorrentes de alteração de finalidade, que pudessem ter contribuído para a ocorrência do sinistro.

4.2.2 Quanto à reconstituição da cena do sinistro

A partir das evidências contidas no extenso arquivo fotográfico disponibilizado pelo IGP, devidamente conjugado com as informações obtidas durante a prova pericial em campo e com a oitiva de pessoas envolvidas, tornou-se possível estabelecer as seguintes e principais premissas:

4.2.2.1 O layout dos reservatórios

No momento do sinistro, no local existiam 3 reservatórios, sendo 2 de 25.000 litros, cada – funcionando de modo interligado, para garantia de atendimento à RTI (reserva técnica de incêndio) –, e outro menor, de 5.000 litros, com funcionamento independente e destinado ao consumo da edificação. As marcas impressas na laje e correspondentes aos seus fundos, os destroços analisados e os depoimentos coletados convergem para sustentar tal assertiva. Das partes da Dona da obra e da Empresa de Regularização foi admitida a alteração do *layout* original, contudo e tão somente, em face da inclusão do terceiro reservatório de 5.000 litros, para atendimento à exigência dos bombeiros. Os demais reservatórios teriam sido aproveitados e mantidos em suas posições, apenas adotando nível d'água inferior, conforme previsto em projeto aprovado.

4.2.2.2 A modificação do posicionamento dos reservatórios, em relação ao *layout* original, que serviu de base para o projeto da Empresa de Pré Moldados

É fato que o *layout* sofreu alterações significativas, até mesmo pela inclusão de um terceiro reservatório com capacidade de 5.000 litros, como, aliás, admitido pela Dona da obra e Empresa de Regularização. Contudo, da oitiva do profissional que procedeu a instalação dos reservatórios, para a Construtora, foi obtida informação de que os reservatórios nunca foram implantados conforme o *layout* original (*layout* 1, elaborado pela Projetista do SPI). Houve adaptação em seus posicionamentos, visando aproximá-los das paredes laterais e simplificar o acesso das tubulações de

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

alimentação, mas foram mantidos os dois reservatórios de 25.000 litros cada (*layout* 2). Corrobora esta informação a reconstituição do traçado das tubulações realizada a partir dos destroços, quando confrontada com fotografias dos reservatórios ainda em operação, as quais foram disponibilizadas.

A seguir se reproduz os layouts citados, para melhor entendimento.

4.2.2.3 A situação observada a partir das fotografias do IGP e da DEFESA CIVIL, geradas na data do sinistro:

As fotografias do IGP e da DEFESA CIVIL trouxeram algumas informações bastante relevantes, quais sejam:

a) Indicam que da ruptura da laje que sustentava os reservatórios restaram duas partes, havendo apenas uma linha de ruptura longitudinal em sua porção central (região correspondente aos reservatórios), mantendo-se relativamente íntegros os demais painéis (vide figuras 51 e 52, retro apresentadas);

b) A alvenaria existente sobre a VP-02 Eixo 02 foi projetada sobre o telhado próximo, em face do forte impacto do reservatório 2 (figura 48, retro apresentada). Tal fato demonstra que o reservatório sofreu deslocamento brusco, como evidenciam as marcas deixadas por seu fundo (figura 43, retro apresentada);

c) A VP-02 Eixo 02 sofreu ruptura de um de seus dentes Gerber (figura 9, retro apresentada) além de quadro fissuratório intenso, o que sugere a ocorrência de torção (figuras 10 e 11, retro apresentadas);

d) O capeamento da laje se mostrou com aderência deficiente, em face de seu destacamento pronunciado e praticamente generalizado, inclusive sem danos expressivos aos estribos prolongados a partir das nervuras (figuras 43 a 48, retro apresentadas);

e) Evidenciado que algumas nervuras da laje sofreram ruptura do concreto na região do apoio sobre viga VP-02 Eixo 01, notadamente nas regiões coincidentes com a presença do reservatório 1 e onde também se observou o lascamento do concreto e o “amassamento” da armadura superior daquela viga (figuras 4 a 7, retro apresentadas).

4.2.3 Quanto às informações coletadas durante a prova pericial em campo

Durante a prova pericial em campo foram empreendidas diversas ações, sendo as mais relevantes:

a) Coleta de amostras do concreto e do aço proveniente das vigas VP-02 (eixos 01 e 02), para a posterior realização de ensaios de caracterização, visando estabelecer a resistência efetiva dos materiais;

b) Inspeção detalhada da região do sinistro, compreendendo: VP-02 do eixo 02 (com coleta de medidas e quebra parcial para verificação das armaduras presentes), VP-02 eixo 01 (com coleta de medidas e verificação das armaduras presentes), consolos e alvenarias remanescentes;

c) Inspeção detalhada da região vizinha ao sinistro, compreendendo: lajes (checagem de níveis, danos visuais e testes de percussão para verificar aderência do capeamento), vigas que sustentam as lajes (presença de fissuras e quebra para caracterização de armaduras) e pilares (verificação visual de prumo, etc.);

d) Análise minuciosa dos destroços remanescentes.

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

4.2.4 Quanto à retro análise estrutural da região do sinistro

O sinistro ocorrido representou um evento repentino que ocasionou o colapso progressivo parcial da edificação, tendo ocorrido cerca de 4 anos e 3 meses, após a ocupação do Prédio 3. Para explicar o fenômeno, a partir da análise técnica minuciosa de todas as informações obtidas, foi procedida a retro análise estrutural da região de ocorrência do sinistro. Inicialmente foi efetuada verificação quanto às várias situações hipotéticas de carga a que a região em análise possa ter ficado exposta, representada pelos vários *layouts* analisados, conforme exposto no item 3.2 As verificações foram realizadas do ponto de vista de sua conformidade (à luz do que preceituam as normas técnicas, com uso de todos os coeficientes de segurança prescritos) bem como de sua resistência (trabalhando com cargas reais, resistências reais e coeficientes normativos iguais a 1, de modo a verificar o risco de ruína). Para melhor entendimento vide item 3.8.1, retro apresentado, que apresenta os quadros com os resumos das verificações estruturais.

4.2.5 Quanto ao provável mecanismo de ruptura que explica o sinistro ocorrido

Ao que restou evidenciado, o colapso progressivo parcial da estrutura teve por início (dito, “gatilho”) a ruptura/ deslocamento brusco de nervuras da laje (provavelmente vl6), em seu apoio sobre a VP–02, eixo 01. Tal evento promoveu a desestabilização da laje, com ruptura de sua capa de concreto e com redistribuição de esforços de grande magnitude – inclusive esforço horizontal e de torção -, vindo a sobrecarregar a VP–02, eixo 02, a qual colapsou a partir da ruptura de seu dente Gerber (junto ao pilar 09). Após o colapso da VP–02, eixo 02, a laje dos reservatórios perdeu completamente seu apoio, vindo a se projetar sobre a laje imediatamente inferior, gerando grande impacto e também sua ruptura, bem como da viga VP–01, a qual servia de apoio para as lajes de entorno, que colapsaram a seguir e de maneira sequencial. Logo e diferentemente do concluído em todos os documentos técnicos até então produzidos, a ruptura do dente Gerber (no pilar 09) não teria sido causa, mas sim consequência, uma vez que todo o processo se teria originado a partir das nervuras da laje dos reservatórios. Outrossim, a análise das reações sobre os apoios (nos pilares 06, 07, 08 e 09, vide Quadro 20, retro apresentado), indica valores muito semelhantes entre todos elas, para qualquer dos *layouts* analisados, permitindo inferir que a ruptura frágil de um único dente Gerber decorreu de sobrecarga elevada e instantânea, advinda de processo de redistribuição de cargas/ esforços.

Tal assertiva encontra sustentação nas seguintes evidências:

a) Da análise das câmeras do circuito interno da Dona da obra, foram obtidas imagens que denotam a queda do forro aplicado sob a laje dos reservatórios, nas proximidades da VP–02, eixo 01, momentos antes da ruína (vide figuras 55 a 60, retro apresentadas);

b) Do relatado pela Dona da obra vem que teriam sido observadas algumas anormalidades no local, muito anteriormente ao sinistro, tais como o surgimento de uma “fresta” no encontro da laje dos reservatórios com as alvenarias (sobre VP–02, eixo 01) bem como a percepção de uma espécie de “poeira” persistente e recorrente, gerada no ambiente imediatamente inferior aos reservatórios. Tal fato denota que a estrutura forneceu alguns avisos, ainda que de forma sutil;

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

c) Ainda que toda a estrutura estivesse não-conforme, porquanto bastante subdimensionada, da retro análise estrutural restou evidenciado que a maior criticidade quanto ao risco de ruína residia nas tensões de apoio, que estariam extremamente elevadas, contrariando, em muito, as recomendações normativas (em cerca de 5 a 8 vezes a máxima recomendada. Para maiores informações vide Quadros 12 e 19, retro apresentados). Outrossim, tensões de apoio muito elevadas promovem deterioração progressiva do concreto da região, certamente agravada pela grande magnitude das deformações estruturais, as quais geram distorções angulares que incrementam ainda mais as tensões de apoio. Tal mecanismo evolutivo explicaria o fato da ruína ter ocorrido após o transcurso de cerca de 4 anos e 3 meses da ocupação do prédio;

d) Corroborando, ainda, esta linha de raciocínio, o fato da VP-02, eixo 01 manter-se ainda íntegra e em condições plenas de serviço, embora em face de todo o ocorrido e ainda que guardando as mesmas características físicas (dimensões, armaduras e resistência do concreto, aliás, esta última um pouco inferior, até) e mesmo que submetida por tanto tempo a cargas praticamente idênticas à da VP-02 do eixo 02, que foi à ruína;

e) Pertinente comentar, por fim, que as estruturas pré-moldadas são particularmente suscetíveis ao colapso progressivo, em face da ausência de redundância, pela descontinuidade de seus elementos estruturais. Em sendo assim, inexistem caminhos alternativos para redistribuição de cargas e a falha de um único elemento pode efetivamente levar grande parte da estrutura à ruína.

4.2.6 Quanto à efetiva participação dos envolvidos no sinistro ocorrido

Em face do exposto, resta dizer o que se segue em relação às empresas envolvidas:

4.2.6.1 Projetista do SPI

A Projetista do SPI não possui qualquer relação com o sinistro ocorrido, tendo em vista que sua atuação se resumiu à elaboração do projeto preventivo de incêndio original do Prédio 3. Ainda que seu layout tenha sido o que serviu de base para os trabalhos da Fornecedora de Pré Moldados (*layout* 1), restou evidenciado que este nunca fora sequer implantado bem como que houve contratação posterior da Empresa de Regularização, que promoveu adequações diversas.

4.2.6.2 Fornecedora de Pré Moldados

A Fornecedora de Pré Moldados possui forte ligação com o sinistro ocorrido. É fato notório a não-conformidade, ou seja, o descumprimento das prescrições contidas nas normas técnicas de referência, notadamente no tocante ao sub dimensionamento flagrante da estrutura, sobretudo das armaduras. Também a questão das tensões de apoio extremamente elevadas não recebeu qualquer atenção. Por fim, restou evidenciado o nível rudimentar de controle de seu processo produtivo, onde sequer os elementos produzidos guardavam coincidência com o estabelecido em seus próprios projetos. Mesmo nas verificações relativas à resistência (quando adotadas as resistências efetivas e as cargas reais de utilização, sem uso dos coeficientes de segurança) verifica-se sub dimensionamento grave dos elementos estruturais envolvidos – com destaque especial para as elevadíssimas tensões de apoio, seja nas nervuras da laje ou nos consolos – ainda que tivesse sido implantado o layout

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

originalmente previsto e que serviu de base para seus projetos (*layout* 1, figura 38, retro apresentada).

4.2.6.3 Construtora

A Construtora, em tese, possui alguma participação no sinistro ocorrido. Primeiro, pelo fato de ter implantado o *layout* 2, sem qualquer consulta à Fornecedora de Pré Moldados, o que impôs esforços adicionais aos elementos estruturais (sobretudo elevação de tensões de apoio nas nervuras e na capa da laje). Registre-se, também, que este *layout* 2 foi o de maior prevalência, vigorando por cerca de 4 anos e 3 meses. Segundo, por ter executado a capa da laje, a qual se mostrou deficiente em termos de aderência, o que contribuiu para fragilizar ainda mais a estrutura, já bastante deficiente. Por fim e considerando relato da Dona da obra, sua presença no local foi solicitada por diversas vezes, visando orientar os procedimentos para preenchimento da chamada “fresta”, recorrente na região do encontro da laje dos reservatórios com a alvenaria presente sobre a VP-02 eixo 01, embora a Construtora não confirme tais visitas. O surgimento desta “fresta”, somado à presença constante de uma espécie de “poeira”, no ambiente imediatamente inferior aos reservatórios sugeria, ainda que de maneira sutil, a necessidade de uma inspeção/ análise mais pormenorizada da estrutura, o que não foi realizado.

4.2.6.4 Empresa de Regularização

A Empresa de Regularização, em tese, não possui participação no ocorrido. Ainda que seus registros de responsabilidade técnica indiquem ser a empresa responsável por alterações de layout, de fato e do contrato celebrado com a Dona da obra, se extrai que seu labor se restringiu a procedimentos burocráticos, visando a regularização das edificações junto aos órgãos competentes. Neste particular, convém registrar que seu projeto aprovado em 2013 contemplava 3 reservatórios de grande porte, tendo sido elaborada a partir de uma descrição verbal equivocada, da parte da Dona da obra, de sorte que não foi possível seu acesso ao local para constatação pessoal. Por todas as evidências denotarem, de fato, que este *layout* nunca fora implantado, ele sequer foi objeto de análise, durante o processo de retro análise estrutural, realizado neste laudo. Ainda, e segundo alegado pela Empresa de Regularização, teria apenas realizado o “*as built*” (ou seja, “como construído”), para efeitos de regularização das obras. Corrobora esta hipótese o fato de não se ter observado alteração do traçado original das tubulações do sistema de incêndio, quando comparado com o que se apurou na reconstituição, a partir dos destroços, com as fotografias disponibilizadas e com o depoimento do instalador hidráulico do sistema, em sua versão original, a serviço da Construtora. Para maiores detalhes, vide figuras 53 e 54, retro apresentadas. Por fim, é conveniente que se assinale que a última versão de seu projeto, aprovado junto ao Corpo de Bombeiros em 03/2015, determinava 3 reservatórios (sendo 2 de 20.000 litros e 1 de 5.000 litros), o que representaria até um decréscimo de carga e geraria esforços inferiores, quando comparados com os promovidos a partir do layout implantado pela Construtora (*layout* 2).

4.2.6.5 Dona da obra

A Dona da obra pode, em tese, ter contribuído para a ocorrência do sinistro. É fato inconteste que lhe cabia garantir que os reservatórios se mantivessem a, no

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

máximo, 20.000 litros, como previsto pela Empresa de Regularização (embora sua capacidade fosse de 25.000 litros, cada). Segundo apurado, este procedimento seria manual, sem qualquer processo de automação, inexistindo, inclusive, adaptação de dispositivo extravasor para que limitasse o nível máximo d'água pretendido (em 20.000 litros). Sendo assim, havia possibilidade de falha humana, durante a operação de reenchimento, com os reservatórios operando a volume pleno (25.000 litros), o que geraria sobrecarga e imporia esforços adicionais, contribuindo para o ocorrido.

4.2.7 Quanto aos fatores relacionados ao sinistro ocorrido

Necessário esclarecer que a ruína de uma estrutura é um evento raro e que normalmente decorre do alinhamento desfavorável de uma série de fatores. Dentre estes vários fatores, há que se distinguir os chamados **determinantes** daqueles ditos **acessórios**. Determinantes seriam aqueles que mesmo sozinhos seriam capazes de gerar a ruína, tal qual se observou. Já os acessórios seriam aqueles fatores que, embora colaborando para o ocorrido, isoladamente não teriam como gerar a ruína da estrutura em análise, supondo a ausência dos determinantes. Sendo assim, e no caso concreto, ter-se-ia como determinante o flagrante sub dimensionamento da estrutura, que não só apresentava armaduras muito aquém das necessárias bem como fora mal concebida em face das tensões de apoio absolutamente excessivas e das deformações pronunciadas. Em suma, a estrutura tal como projetada, fabricada e montada se apresentava sem qualquer margem de segurança, à beira da ruína iminente. Como fatores acessórios caberia registrar a adoção do layout 2 ou, eventualmente, do layout 3A, os quais imporiam à uma estrutura já extremamente fragilizada algum nível adicional de esforços. Finalizando, registre-se que se a estrutura tivesse sido concebida em conformidade (ou seja, em respeito às normas técnicas aplicáveis), certamente não teria ocorrido a ruína, ainda que implementadas as alterações de layout verificadas.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, José Milton de. Estruturas de concreto: modelos de previsão da fluência e da retração do concreto. Rio Grande: Dunas, 2002, Número 4.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5671. Participação dos intervenientes em serviços e obras de engenharia e arquitetura. Rio de Janeiro, RJ, 1990. 10p;
- _____. NBR 6118. Projeto e estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2007. 221p;
- _____. NBR 6120. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, RJ, 1980. 5p;
- _____. NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, RJ, 1988. 66p;
- _____. NBR 7480. Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro, RJ, 2007. 13p;
- _____. NBR 8681. Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2003. 18p;
- _____. NBR 9050. Acessibilidade à edificações, mobiliários, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, RJ, 2004. 97p;
- _____. NBR 9050. Acessibilidade à edificações, mobiliários, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, RJ, 2015. 148p;

COLAPSO PROGRESSIVO EM GALPÃO INDUSTRIAL, APÓS MAIS DE 4 ANOS DA CONCLUSÃO: INSPEÇÃO, ENSAIOS E RETRO ANÁLISE ESTRUTURAL PARA DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS E APURAÇÃO DE RESPONSABILIDADES.

_____. NBR 9062. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, RJ, 2006. 15p;

_____. NBR 12.655. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2006. 18p;

_____. NBR 13752. Perícias de engenharia na construção civil. Rio de Janeiro, RJ, 1996. 8p;

_____. NBR 14.931. Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2004. 53p;

KUPERMAN, Selmo Chapira. Considerações sobre fluência de concretos. Revista Techné. Ed.125. São Paulo: PINI. Ago/2007.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto – estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2008.

NEVILLE, Adam M. Propriedades do concreto. 2ª edição. São Paulo: Pine, 1997.