

LAUDO TÉCNICO DE ENGENHARIA

Ruína da cobertura do hangar da Prati-Donaduzzi no Aeroporto Municipal Luiz Dal Canalle Filho, Toledo/PR, no vendaval de 29 de setembro de 2026

*Causa, dinâmica do colapso, aproveitamento da estrutura remanescente e diretrizes de
reconstrução*

Terceira emissão — versão final para assinatura digital do responsável técnico

Emitida em 15 de outubro de 2026; substitui integralmente as emissões de 12 de outubro de 2026. Incorpora o acervo complementar recebido em 14 e 15/10/2026, a análise da dinâmica do colapso com memória de cálculo (seções 9.10 a 9.16) e a comparação com casos semelhantes no Brasil e no exterior (seção 9.17).

Requerente: Prati, Donaduzzi & Cia Ltda. — CNPJ 73.856.593/0001-66

Imóvel: Hangar da Prati-Donaduzzi, Rodovia PR-182, s/n, km 5, Aeroporto de Toledo, Toledo/PR

Vistoria: 09/10/2026 **Emissão:** 15/10/2026

Código: PRATI-DONADUZZI-HANGAR-AEROPORTO · número da série LP atribuído no ato da
assinatura

Eng. Civil Luciano Andrey Schädler — CREA-PR 29.232/D

L.A. Schädler Engenharia · Schädler Tech

Carta de apresentação

À Prati, Donaduzzi & Cia Ltda.

A/C da gerência de engenharia e manutenção

Cascavel/PR, 15 de outubro de 2026.

Prezados,

Este documento responde às perguntas que a contratante formulou quando pediu a perícia, e às três que o responsável técnico acrescentou depois de examinar o acervo complementar: a ruína começou pelo portão? A ruptura do primeiro pilar junto ao portão influenciou? O arrancamento da cobertura se deu por deficiência da fixação da base das tesouras no topo dos pilares?

A resposta curta é esta. Nenhum registro nem estimativa disponível, inclusive a estimativa feita a partir dos vídeos das câmeras da própria pista, indica que o vento tenha passado do que as normas brasileiras mandam considerar; a velocidade no hangar não foi medida, e o laudo não a exclui categoricamente (seção 15.6). O que o acervo mostra é que a cobertura caiu porque as ligações que a prendiam aos pilares não tinham a capacidade que a norma exige, e porque a força do vento sobre o portão fechado chegou à estrutura da cobertura por um caminho que nenhum projeto fornecido previu.

A ruína começou, com a maior probabilidade, na fachada do portão: não pelas folhas, que estão íntegras, mas pelo vínculo entre o topo do portão e a estrutura metálica da cobertura. A ruptura da cabeça do primeiro pilar junto ao portão foi, com a maior probabilidade, o primeiro elo a ceder, e foi ela que transformou uma falha local em perda total. E a fixação da base das tesouras era tecnicamente deficiente: no projeto, de forma demonstrada; na execução, pelos indícios das peças, a confirmar por medição. As seções 9.10 a 9.17 demonstram isso com memória de cálculo e com casos semelhantes documentados no Brasil e no exterior.

A estrutura de concreto pré-moldado é, em sua maior parte, potencialmente aproveitável, condicionada a escoramento, inspeção e ensaios (seção 10). Há risco instalado no local, descrito na seção 8.9, com medidas de urgência que não dependem da leitura do restante do laudo nem de qualquer decisão comercial.

Esta é a terceira emissão. Ela substitui integralmente as anteriores e incorpora as fotografias, os vídeos e as informações recebidos em 14 e 15 de outubro de 2026.

Respeitosamente,

Eng. Civil Luciano Andrey Schädler

CREA-PR 29.232/D — luciano@vxtech.tech

Ficha técnica

Campo	Conteúdo
Natureza	Perícia de engenharia na construção civil, conforme a ABNT NBR 13752:2024
Modalidade	Laudo técnico contratado, extrajudicial
Situação do documento	Terceira emissão, versão final para assinatura digital do responsável técnico; substitui integralmente as emissões de 12/10/2026
Requerente	Prati, Donaduzzi & Cia Ltda. — CNPJ 73.856.593/0001-66
Imóvel	Hangar da Prati-Donaduzzi, Rodovia PR-182, s/n, km 5, parte do lote rural nº 37, Linha Bué-Caê, loteamento Aeroporto de Toledo, Toledo/PR
Coordenadas de referência	-24,686495 / -53,696224
Objeto	Causa da ruína da cobertura metálica no vendaval de 29/09/2026; conformidade do projeto e da execução quanto à ação do vento; aproveitamento da estrutura remanescente
Data do evento	Noite de 29 de setembro de 2026
Primeiros registros	Recebidos da contratante em 30 de setembro de 2026
Vistoria	Vistoria presencial realizada pelo Eng. Luciano Andrey Schädler em 09/10/2026.
Data de emissão	15 de outubro de 2026
Responsável técnico	Eng. Civil Luciano Andrey Schädler, CREA-PR 29.232/D — luciano@vxtech.tech
Proposta de origem	PT-2026-1008-PD, de 08/10/2026
Acervo	217 itens em cadeia de custódia: 106 figuras, das quais 89 fotografias originais, 14 quadros extraídos de cinco vídeos, 2 imagens de terceiros e 1 reprodução documental; 41 pranchas do projeto de estrutura metálica, lidas uma a uma; projetos arquitetônico, de pré-moldado, de piso, hidráulico, sondagem, alvará, protocolos, fontes meteorológicas, resumo da análise dos vídeos das câmeras da pista e relatos da gerência de engenharia da contratante
Ensaios	Nenhum ensaio destrutivo ou laboratorial foi contratado ou realizado
Conferência normativa	Edições das normas citadas conferidas em fonte oficial na data de emissão (seção 6.2)
Acervo complementar	Recebido em 14 e 15/10/2026: 35 fotografias, 1 imagem do período de obra, 3 vídeos, 2 imagens de terceiros, resumo da análise dos vídeos das câmeras da pista, relatos da gerência de engenharia, informações da contratante sobre o portão e do responsável pelo desmonte sobre as soldas, transmitidas ao subscritor, e projetos reencaminhados à contratante (pré-moldado da obra 281, calhas e condutores verticais, pranchas de estrutura metálica e lista de telhas)
Urgência	Risco instalado — ver seção 8.9
Número da série LP	atribuído pelo subscritor no ato da assinatura

Sumário

1. Introdução e objetivo
 2. Caracterização do imóvel
 3. Localização, implantação e contexto climático
 4. Histórico e anamnese
 5. Metodologia
 6. Fundamentação normativa
 7. Conceitos técnicos empregados
 8. Constatações
 9. Diagnóstico diferencial e nexos causal
 10. Diretrizes de recuperação e de reconstrução
 11. Memorial descritivo das intervenções
 12. Quantitativos referenciais
 13. Sequência executiva e cronograma físico referencial
 14. Segurança do trabalho
 15. Conclusões técnicas
 16. Encerramento
 17. Referências
 18. Glossário técnico
 19. Índice do acervo fotográfico e manifesto das figuras
- Anexo A — Memorial fotográfico
- Anexo B — Desenhos esquemáticos
- Anexo C — Qualificação do responsável técnico

Síntese executiva

O que foi pedido. Determinar se a ruína da cobertura do hangar decorreu de erro de dimensionamento ou de execução, ou de um vento acima do que as normas mandam considerar; e dizer o que da estrutura remanescente pode ser reaproveitado, e em que condições.

O que se constatou. A cobertura metálica foi integralmente perdida. O telhamento desapareceu, as tesouras foram deslocadas e parcialmente arriadas para dentro do hangar, barras de contraventamento ficaram dobradas e penduradas, e as ligações entre as tesouras e as cabeças dos pilares pré-moldados se romperam. Nas cabeças de pilar há fendilhamento vertical aberto, com armadura exposta em mais de um ponto. O fechamento em placas de concreto e a estrutura de pilares e vigas permaneceram de pé.

O que o exame das peças rompidas mostra. Nos apoios examinados restaram chapas rasgadas, arruelas em furos vazios, parafusos e porcas soltos sobre o concreto, e concreto fendilhado em torno de barras de ancoragem. Os vestígios são compatíveis com ruptura por tração localizada nas ligações, e não com uma estrutura vencida por esforço global nas barras.

O que o projeto previa. As 41 pranchas do projeto de estrutura metálica, lidas nesta emissão, locam em cada apoio uma chapa de 230 mm por 250 mm, de meia polegada, com seis chumbadores de meia polegada e 300 mm de comprimento, e não detalham a ligação da tesoura a essa chapa. Nenhuma prancha declara a velocidade do vento, os fatores ou os coeficientes de pressão adotados.

O que esta emissão acrescenta. Segundo a contratante, o portão estava fechado na noite do evento. O vento incidiu pela fachada do portão: as folhas caíram para dentro do hangar, uma delas sobre a asa de uma aeronave, e a cobertura foi lançada para trás, do lado oposto. Segundo a gerência de engenharia da contratante, o topo do portão estava travado por peça em cantoneira fixada à tesoura da cobertura. A cabeça do primeiro pilar junto ao portão sofreu a ruptura mais severa do acervo. Chapas remanescentes no topo dos pilares têm furos de contorno alongado, fixadores ausentes e borda dobrada. Os vídeos das câmeras da pista permitem estimar rajadas de 50 a 95 km/h no aeródromo, como estimativa visual e não como medição. O responsável pelo desmonte informou que as soldas da base das tesouras estavam íntegras: a separação se deu abaixo delas, na fixação da chapa ao pilar. O projeto de calhas loca condutores de 150 mm junto aos pilares de apoio, inclusive nos dois pilares do portão, sem previsão no projeto de pré-moldado.

CONCLUSÃO ANTECIPADA

(i) A velocidade característica de projeto para a cota da cobertura, pela ABNT NBR 6123:2023, é de **43,68 m/s**, ou **157,3 km/h**. Não há, no acervo nem nas fontes públicas consultadas, registro de rajada no local acima desse valor: a estação do Simepar em Toledo registrou **48,6 km/h**, a estação de Umuarama registrou 101,5 km/h e as rajadas acima de 100 km/h noticiadas pelo Governo do Paraná foram medidas em outras cidades. A velocidade efetivamente incidente no hangar não foi medida.

(ii) Portanto, **vento acima do valor normativo não foi demonstrado, nem pode ser categoricamente excluído**. O que está demonstrado é o modo de ruína: **ruptura por tração localizada nas ligações de apoio das tesouras**, com fendilhamento do concreto das cabeças de pilar em torno das barras de ancoragem.

(iii) A cobertura, pelo peso próprio, **se sustentava contra o vento até rajadas da ordem de 45 a 90 km/h**, conforme o coeficiente de pressão líquida considerado. Acima disso, tudo o que a mantinha no lugar era a ancoragem. A estabilidade da cobertura ao vento dependia inteiramente das ligações que se romperam.

(iv) A estrutura remanescente **deve ser tratada como instável até o escoramento e a remoção do material solto**. Pilares e painéis perderam o travamento que a cobertura dava no topo. As medidas de urgência estão na seção 8.9 e são imediatas, e a seção 8.10 explica por que, num aeródromo em operação, elas não podem ser tratadas como assunto interno da contratante.

(v) A estrutura de concreto pré-moldado é **potencialmente aproveitável em sua maior parte**, condicionada a escoramento, inspeção após a remoção dos destroços, levantamento de prumo, mapeamento de fissuras, pacometria e ensaios. As cabeças de pilar fendilhadas exigem recuperação estrutural antes de receberem qualquer nova cobertura. A ligação tesoura-pilar deve ser **inteiramente reconcebida**. No cenário preliminar de abertura dominante, a força de arrancamento por apoio é de **183,54 kN**, e a reação por metro de linha de apoio, que não depende do espaçamento das tesouras, é de **30,59 kN/m**; o valor de projeto da nova ancoragem será fixado no executivo, com os coeficientes de pressão tabelados.

(vi) A ruína começou, com a maior probabilidade, **na fachada do portão, no vínculo entre o topo do portão fechado e a estrutura metálica da cobertura**. Nas rajadas estimadas, a reação do topo do portão (27,7 kN no conjunto, a 95 km/h) alcança a capacidade nominal do contraventamento leve e da ancoragem dos apoios da fachada (seção 9.11). As folhas do portão estão íntegras: não foram elas que cederam por resistência própria (seção 9.12).

(vii) A ruptura da cabeça do **primeiro pilar junto ao portão** foi, com a maior probabilidade, o primeiro elo da cadeia a romper e abriu a fachada de barlavento: com o interior pressurizado, a força característica de arrancamento nos apoios triplicou, e as ligações romperam em sequência, da frente para o fundo (seção 9.13).

(viii) A **fixação da base das tesouras** era tecnicamente deficiente: no projeto, a ancoragem tinha capacidade nominal de 47 a 65 kN contra demanda de cálculo de 85 a 184 kN; na execução, há indícios fortes, a confirmar pela medição das peças: chapas de furos alongados sem arruela de chapa visível e com fixadores ausentes. A leitura alternativa, de que a cobertura subiu primeiro por sucção, não está excluída, mas exigiria ligação executada ainda mais fraca. Em qualquer das leituras, **a causa é a insuficiência das ligações e do caminho de forças, e não vento acima do normativo** (seções 9.12 e 9.14).

1. Introdução e objetivo

Na noite de terça-feira, 29 de setembro de 2026, uma linha de instabilidade associada à passagem de uma frente fria atravessou o oeste do Paraná e produziu ventos severos sobre o Aeroporto Municipal Luiz Dal Canalle Filho, em Toledo. O hangar da Prati-Donaduzzi perdeu a cobertura. A contratante comunicou o fato ao subscritor em 30 de setembro, encaminhou duas fotografias e um vídeo, e contratou a perícia pela proposta PT-2026-1008-PD, de 8 de outubro.

A vistoria presencial foi realizada pelo Eng. Luciano Andrey Schädler em 09/10/2026, com acesso ao interior do hangar, ao pátio e às partes altas do fechamento, e com exame direto das peças rompidas e das cabeças de pilar. Os registros fotográficos que compõem o Anexo A foram recebidos entre 30/09 e 15/10/2026 e não trazem metadado de data nem de autor; o laudo os identifica como registros recebidos e não os atribui individualmente à vistoria.

Na segunda emissão, as 41 pranchas do projeto de estrutura metálica, que na primeira haviam chegado apenas em formato DWG, foram convertidas e lidas uma a uma. O que elas mostram está nas seções 2, 9.9 e 10.5.

O objetivo deste laudo é responder, com o grau de certeza que as evidências permitem, a duas perguntas da contratante:

- 1. a ruína decorreu de erro de dimensionamento ou de execução das empresas responsáveis pela estrutura pré-moldada e pela estrutura metálica, ou de um vento acima do que as normas mandam considerar?
- 2. o que ficou de pé pode ser reaproveitado, e em que condições?

Nesta terceira emissão, o laudo responde também a três perguntas sobre a dinâmica do colapso, formuladas pelo subscritor depois de examinar o acervo complementar: se a ruína começou pelo portão, se a ruptura do primeiro pilar junto ao portão influiu, e se o arrancamento se deu por deficiência da fixação da base das tesouras (seções 9.10 a 9.16). E compara o caso com acidentes semelhantes documentados no Brasil e no exterior (seção 9.17).

A causa é descrita tecnicamente, e a etapa em que se originou é discutida na seção 9.8 no limite do que o acervo permite. Este laudo não formula juízo jurídico sobre responsabilidade civil, contratual ou penal, matéria que é do advogado da contratante e do juízo competente, se for o caso.

2. Caracterização do imóvel

O hangar é uma edificação industrial térrea, com mezanino, destinada ao abrigo e à manutenção de aeronave executiva. Foi construído como ampliação de hangar preexistente.

Elemento	Caracterização	Fonte
Uso	hangar de aeronave executiva, com bloco de escritórios e mezanino interno	projeto arquitetônico aprovado; exame no local
Tipo de construção	ampliação	projeto arquitetônico aprovado
Espécie construtiva	concreto pré-moldado	projeto arquitetônico aprovado
Área aprovada	612,50 m ²	Alvará de Licença para Construção nº 1216/2025 e carimbo de aprovação
Licenciamento	Alvará nº 1216/2025, processo nº 073-003293-2025, emitido em 29/12/2025	alvará
Obra anterior no local	a edificação substituiu hangar anterior, demolido	protocolo digital nº 24.976.362-4
Área da cobertura em projeção horizontal	575,00 m ²	planta de cobertura, 25,00 m × 23,00 m; prancha 34/41 do projeto de estrutura metálica

Elemento	Caracterização	Fonte
Estrutura vertical	pilares pré-moldados de concreto, seções 25×50 cm, 23×25 cm e 15×30 cm	projeto de pré-moldado, obra 281
Vigas	pré-moldadas, seções 15×30 cm, 15×40 cm e 15×50 cm	projeto de pré-moldado, obra 281
Fechamento	36 placas pré-moldadas de concreto, em duas faixas: a inferior pintada de branco e a superior, correspondente à platibanda, em concreto aparente	projeto de pré-moldado e exame no local
Fundação	estacas escavadas únicas de 60 cm de diâmetro, com blocos de coroamento	projeto de pré-moldado, obra 281
Concreto	fck 40 MPa em vigas e pilares; fck 25 MPa em fundações; relação água/cimento 0,60; cobrimento de 2 cm em pilares e vigas	notas gerais do projeto de pré-moldado
Cobertura	quatro tesouras treliçadas de duas águas (To1 a To4) e uma viga treliçada de fachada (VFO1), sobre os eixos A a E; terças superiores e inferiores, correntes rígidas e contraventamento	pranchas 03/41, 04/41 e 11/41 a 25/41 do projeto de estrutura metálica
Perfis principais	banzos das tesouras To2 a To4 e da viga VFO1 em 2 perfis UE 150×60×20 de 2,25 mm; diagonais e montantes em UE 100×50×17 de 2,00 mm; terças superiores em UE 150×60×20 de 2,00 mm; terças inferiores em UE 127×50×17 de 2,00 mm; tesoura de oitão To1 com banzos em U 150×50 de 2,00 mm	pranchas 14/41, 18/41, 22/41, 26/41 e 27/41
Apoio projetado das tesouras	chapa CH 01 de 230 mm × 250 mm, espessura 1/2", com 6 chumbadores de 1/2" e 300 mm de comprimento, 13 posições locadas sobre os pilares pré-moldados	prancha 01/41
Telhamento	telha trapezoidal TP-40 simples, espessura 0,50 mm, largura útil 980 mm, 48 peças de 11.900 mm; costura a cada 50 cm	lista de telhas e detalhe de fixação, pranchas 35/41 e 36/41
Declividade das águas	13 %	planta de cobertura do projeto arquitetônico
Cota do apoio da cobertura	+7,00 m	corte BB do projeto arquitetônico; corte 11 da prancha 11/41
Cota do topo da platibanda	+9,00 m	corte BB do projeto arquitetônico; corte 11 da prancha 11/41
Piso	piso industrial de concreto, projeto executivo próprio, revisão RO2 de 11/03/2026	projeto de piso de concreto
Subsolo	argila siltosa marrom-avermelhada em três camadas, de consistência média, rija e dura; sem lençol freático até 15,45 m	relatório de sondagem SPT nº 232/2025, de julho de 2025

O acervo contém a ficha técnica do Embraer EMB-500 Phenom 100, modelo indicado como o abrigado no hangar, com 12,82 m de comprimento, 12,3 m de envergadura e 4,35 m de altura. A ficha comprova as dimensões do modelo, não a presença nem a identidade de uma aeronave determinada no hangar na data do evento, que permanecem pendentes de matrícula, fotografia contextualizada ou declaração identificada da contratante. Documento da Embraer datado de 11 de novembro de 2025 registra que a operadora avaliava, àquela data, a aquisição de um Praetor 600, e por isso solicitou as especificações de piso e a classificação de pavimento.

A idade da edificação importa para o caso. O projeto arquitetônico é de novembro de 2025 e foi aprovado pela Prefeitura Municipal de Toledo em 29 de dezembro de 2025. O projeto de estrutura metálica tem emissão inicial datada de 27 de novembro de 2025 na prancha de locação dos chumbadores de fachada e de 2 de janeiro de 2026 nas demais quarenta pranchas. O cronograma da obra de pré-moldado prevê montagem entre 17 de novembro e 6 de fevereiro. O projeto de piso está na revisão RO2,

de 11 de março de 2026, que menciona compatibilização com a estrutura do portão, o que situa a conclusão da obra no primeiro semestre de 2026. **A cobertura que ruiu tinha, portanto, menos de um ano de uso.**

O que a idade documenta é a pouca compatibilidade do caso com degradação crônica: envelhecimento, perda de seção por corrosão acumulada e falta de manutenção periódica são processos que exigem tempo que a edificação não teve. O que a idade não documenta, e permanece não verificado, é a história de uso nesse período: a operação do portão, eventuais alterações, fixador removido ou intervenção posterior à montagem. Nada disso foi relatado pela contratante, e nada disso consta do acervo.

3. Localização, implantação e contexto climático

3.1 Implantação

O hangar situa-se no sítio aeroportuário do Aeroporto Municipal Luiz Dal Canalle Filho, às margens da Rodovia PR-182, em Toledo/PR. A planta de implantação do projeto aprovado mostra a pista de 1.670 m por 30 m, o pátio de aeronaves, o parque de abastecimento, a edificação dos bombeiros e uma fileira de hangares, entre os quais o da Prati-Donaduzzi.

A Fotografia 09 foi tomada do topo do fechamento e mostra o entorno: pista pavimentada, placa de sinalização de pista de táxi, gramado, cerca, e ao fundo campo aberto com remanescente de eucaliptos e edificações rurais esparsas.

Registre-se uma inconsistência de carimbo que não altera a identificação da obra: quarenta das 41 pranchas do projeto de estrutura metálica trazem "CASCAVEL - PR" no campo de endereço, e apenas a prancha 02/41 traz "TOLEDO - PR". O cliente e o número da obra, "PRATI-DONADUZZI - 25.028", são os mesmos em todas, e a planta de locação dos chumbadores reproduz a malha de pilares do projeto de pré-moldado deste hangar.

3.2 Categoria de rugosidade do terreno, para efeito de vento

Essa caracterização do entorno não é paisagismo: ela define o fator S2 da ABNT NBR 6123:2023, e portanto a velocidade característica do vento de projeto.

Um sítio aeroportuário é o exemplo que a própria norma usa para descrever a **Categoria II**, isto é, terreno aberto em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados. A Fotografia 09 confirma a descrição no local. Adotou-se, portanto, Categoria II.

Quanto à classe, a maior dimensão da superfície frontal da edificação é de 25,00 m, o que situa o caso na **Classe B**, definida pela norma para dimensões entre 20 m e 50 m.

Não há talude, morro ou vale a barlavento que justifique fator topográfico diferente da unidade. O sítio é um platô. Adotou-se S1 igual a 1,00.

3.3 O evento meteorológico de 29 de setembro de 2026

O que se segue vem de fontes públicas identificadas, e cada afirmação traz a sua, com a cidade em que a medição foi feita. Nenhum dado meteorológico deste laudo foi estimado pelo subscritor.

Dado	Valor	Onde foi medido ou apurado	Fonte
Data e hora	noite de terça-feira, 29/09/2026; maior volume de chuva entre 21h e 22h	Toledo	CNN Brasil
Fenômeno	linha de instabilidade associada à passagem de frente fria, com fortes rajadas de vento e queda de granizo	análise regional do Simepar	Simepar, por intermédio do Portal Nova Santa Rosa

Dado	Valor	Onde foi medido ou apurado	Fonte
Rajada na estação do Simepar em Toledo	48,6 km/h	Toledo, estação do Simepar; localização exata da estação não obtida	CNN Brasil, citando a Estação Meteorológica de Toledo do Simepar
Rajada na estação do Simepar em Umuarama	101,5 km/h	Umuarama, outra cidade do oeste do estado	O Paraná / Jornal de Fato, citando o Simepar
Rajadas na região	acima de 100 km/h em várias cidades	outras localidades do estado, não nomeadas na fonte	Agência Estadual de Notícias do Paraná
Vento no aeródromo (SBTD)	indisponível: os 22 boletins METAR de 28/09 a 01/10 trazem o campo de vento não codificado, e não há boletim após as 16h UTC de 29/09	aeródromo de Toledo, estação do próprio sítio	arquivo METAR do Iowa Environmental Mesonet
Chuva acumulada em Toledo em 24 h	48,2 mm	Toledo	CNN Brasil
Temperatura máxima em Toledo em 28/09	36,6 °C	Toledo	Agência Estadual de Notícias do Paraná
Hipótese de tornado	levantada e, após análise de radar e satélite, afastada	análise regional do Simepar	Simepar, por intermédio do Portal Nova Santa Rosa
Tornados confirmados no Paraná em setembro de 2026	dois: Francisco Alves (09/09) e Goioerê (11/09)	outras cidades	Agência Estadual de Notícias do Paraná
Setembro de 2026 no Paraná	maior volume de chuva já registrado em 14 estações do Simepar, no Leste, nos Campos Gerais, no Centro e no Norte do estado	outras regiões	Agência Estadual de Notícias do Paraná

Três pontos merecem destaque técnico.

O primeiro é a **temperatura de 36,6 °C registrada em Toledo no dia 28**, véspera do evento. Calor pré-frontal dessa ordem, seguido da chegada de uma frente fria, é a configuração clássica de alta energia disponível para convecção profunda. O evento do dia 29 não foi uma anomalia isolada: foi o desfecho de uma configuração sinótica que o órgão estadual vinha sinalizando, e que levou o Inmet a emitir aviso laranja para o estado.

O segundo é a **discrepância entre a rajada medida em Toledo e o dano observado**. Uma rajada de 48,6 km/h não explica, por si, os danos observados no aeródromo. A conclusão técnica é direta: **a estação do Simepar em Toledo não amostrou a rajada que atingiu o aeródromo**. Rajadas descendentes de origem convectiva são localizadas por natureza, e a densidade da rede de estações não garante que a célula passe sobre um anemômetro. O valor de 48,6 km/h serve ao laudo como piso documentado em Toledo, e não como a velocidade que atuou sobre o hangar.

O terceiro é que **o próprio aeródromo não produziu registro de vento utilizável**. O arquivo de boletins METAR da estação SBTD para o período de 28 de setembro a 1º de outubro traz, em todos os 22 boletins, o campo de vento não codificado, o que significa vento indisponível, e não vento calmo; e não há boletim algum depois das 16h UTC do dia 29, isto é, nada na tarde nem na noite do evento. Se o aeródromo mantinha anemômetro em operação naquela noite, e que obrigação havia de mantê-lo, são questões que este laudo não responde: o texto das instruções do Comando da Aeronáutica que regem as estações meteorológicas de superfície e a codificação dos boletins não foi obtido para transcrição, e a providência 10.5(i) a encaminha.

O Simepar analisou imagens dos danos em Toledo, Altamira do Paraná, Ivaiporã, Umuarama e Pirai do Sul, cruzou-as com dados de radar e de satélite, e concluiu que não há evidências de tornado. A ausência de tornado não ameniza o quadro: significa que os ventos foram **retilíneos**, de rajada descendente, que é precisamente a solicitação que a ABNT NBR 6123:2023 trata. Rajada descendente localizada é

também, em princípio, fenômeno capaz de superar localmente o vento de projeto; o afastamento do tornado não a exclui, e a seção 9.2 trata disso.

3.4 Extensão dos danos no aeródromo e na região

O evento não atingiu somente o hangar da contratante, e isso é relevante para caracterizar a severidade do evento no sítio. Não autoriza, por si, conclusão sobre a capacidade de cada edificação, que depende do seu próprio projeto e da sua própria execução.

No próprio aeródromo, segundo o levantamento da Prefeitura de Toledo divulgado no dia seguinte, a maior parte dos hangares foi atingida, alguns com destruição total, e apenas dois não apresentaram grandes danos. Estimativa inicial, que o próprio município apresentou como ainda sem confirmação, aponta entre 10 e 12 aeronaves atingidas. Estruturas metálicas dos hangares foram lançadas sobre a PR-182 e interditaram o tráfego nos dois sentidos, atingiram ao menos quatro veículos e feriram levemente uma pessoa. O terminal de passageiros sofreu alagamento.

As Fotografias 57 e 58, quadros extraídos de vídeo recebido em 11/10/2026, mostram um hangar vizinho de alvenaria de tijolo cerâmico com o telhamento integralmente removido, a estrutura de cobertura retorcida, e uma aeronave de pequeno porte destruída sob os destroços.

Na escala estadual, o relatório da Coordenadoria Estadual da Defesa Civil para as ocorrências de 27 a 30 de setembro, atualizado às 10h30 de 30 de setembro, consolida 28 municípios atingidos, 10.470 pessoas afetadas, 2.216 casas danificadas, 105 pessoas desalojadas e 6 desabrigadas, sem óbitos. Toledo não figura nesse relatório: os danos são cadastrados pelos próprios municípios, e o levantamento local ainda estava em curso. O balanço oficial do episódio, portanto, não computa nem os hangares do aeródromo nem os danos que se descrevem a seguir. Em Toledo houve destelhamento de propriedades rurais e granjas, dois aviários danificados em Novo Sobradinho, queda de postes e árvores, e interrupção de energia em Novo Sobradinho, Vila Nova e Novo Sarandi. Um barracão no Biopark teve a cobertura destruída.

Segundo o portal Toledonews, em matéria de 2 de outubro de 2026, as duas aeronaves da contratante que estavam no hangar passaram por inspeção e voltaram a operar. As Fotografias 70 e 71 mostram uma folha do portão caída sobre a asa de uma delas; a extensão de eventual dano às aeronaves não é objeto deste laudo.

3.5 El Niño e a questão do agravamento climático

A contratante perguntou expressamente se é verdade que o El Niño de 2026 está muito mais forte, e pediu que o laudo relacionasse isso à revisão das demais edificações do grupo.

A resposta é afirmativa, e a fonte é oficial. O boletim do Painel El Niño, publicado pelo Instituto Nacional de Meteorologia em 1º de outubro de 2026, atribui 95 % de probabilidade de o fenômeno seguir **muito forte** no trimestre outubro-novembro-dezembro de 2026. A previsão do Climate Prediction Center da NOAA aponta probabilidade da ordem de 98 % de condições de El Niño na categoria muito forte para o mesmo trimestre, com pico previsto para dezembro de 2026 e manutenção pelo menos até o primeiro trimestre de 2027. Na semana de 23 de setembro de 2026, a anomalia de temperatura da superfície do mar no Pacífico atingiu 3,1 °C acima do normal, o maior valor desde 1981.

Para a Região Sul, a previsão é de chuvas acima da faixa normal climatológica. Setembro de 2026 já havia sido o mês mais chuvoso da série histórica em 14 estações do Simepar.

O que isso significa em engenharia, e o que **não** significa, merece precisão.

Não significa que a ABNT NBR 6123:2023 esteja superada, nem autoriza majorar a velocidade básica do vento por conta própria. O mapa de isopletras da norma é estatístico e corresponde a um período de retorno de 50 anos; um ano de El Niño intenso não o revoga. Tampouco prova que rajada de determinada velocidade tenha atingido este hangar: contexto climático não substitui medição local.

Significa, sim, que a **frequência de eventos convectivos severos tende a ser maior** na Região Sul durante o período, e que uma edificação cuja segurança ao vento dependa de uma ancoragem marginal terá mais oportunidades de ser testada. É uma questão de exposição, não de resistência de cálculo.

Há ainda um ponto que a contratante levantou e que convém separar dos demais. A relação entre desmatamento, mudança de rugosidade regional e alteração de rotas e intensidades de vento é objeto de investigação científica em curso, e o subscritor não localizou, na data de emissão deste laudo, estudo quantitativo que permitisse traduzi-la em parâmetro de projeto para o oeste do Paraná. Não se faz, aqui, afirmação sobre esse nexos. Registre-se apenas que o artigo da Revista IBRACON Estruturas e Materiais que embasa a proposta de novo mapa de isopleias identifica o oeste do Paraná dentro da região de ocorrência de tempestades convectivas severas, com velocidades básicas medidas entre 47 e 49 m/s em várias estações, e propõe para essa região o valor de 48 m/s, acima dos 45 m/s do mapa hoje em vigor. A proposta ainda não é norma, e a seção 6.2 explica o estado da questão.

A **consequência prática para o grupo está na seção 10.6**, que é a resposta ao pedido de revisão das demais edificações.

3.6 O que os vídeos das câmeras da pista acrescentam

Duas câmeras de monitoramento da pista do aeródromo, identificadas como "Pista Direta" e "Pista Esquerda", registraram a passagem da tempestade. Os arquivos não puderam ser incorporados ao acervo deste laudo, por limitação de envio. Foram examinados com apoio de ferramenta de análise de imagem por inteligência artificial, e o resumo dessa análise integra o acervo (item D215). O que segue é esse resumo, no grau de certeza que ele próprio declara.

A própria análise registra que **não é possível calcular a velocidade do vento com precisão** a partir das imagens, porque faltam o tempo de exposição de cada quadro, a taxa real de quadros, a calibração da lente e referências métricas na pista, que seriam necessários à velocimetria por rastreamento de partículas. Em lugar do cálculo, ela oferece uma estimativa pelo aspecto dos fenômenos visíveis, segundo os critérios da escala de Beaufort.

Grandeza	Câmera "Pista Direta"	Câmera "Pista Esquerda"
Classificação estimada na escala de Beaufort	força 7 a 9 (vento forte a muito forte, vendaval)	força 8 a 9 (ventania, vendaval)
Vento sustentado estimado	não informado	65 a 80 km/h
Rajadas estimadas	50 a 85 km/h	80 a 95 km/h
Crítérios visuais	trajetória das gotas quase horizontal; gotículas arrastadas contra a cúpula da câmera; frente de rajada súbita antes da perda da iluminação	trajetórias das gotas com inclinação inferior a 15° a 20° sobre a horizontal; borramento d'água arrastado rente ao pavimento, visível sob iluminação lateral
Chegada da frente de rajada (tempo do vídeo)	de 01:21 a 01:40	de 01:21 a 01:46
Apagamento dos refletores (tempo do vídeo)	01:41	01:47
Direção aparente	do setor superior direito para o inferior esquerdo do enquadramento	do quadrante direito e do fundo, transversal ao primeiro plano
Após o apagamento	escuridão com descargas atmosféricas sucessivas	escuridão com descargas; depois, iluminação lateral mostra névoa e lâmina d'água arrastadas

Três observações delimitam o uso desses dados. **Primeira:** os tempos são do relógio interno de cada vídeo, e não horários; os dois vídeos mostram a mesma ordem de eventos, frente de rajada seguida de apagamento dos refletores; como os relógios não estão sincronizados, a diferença entre os tempos de um e de outro não mede defasagem. **Segunda:** a estimativa é visual, de baixa precisão, e as duas

câmeras dão faixas que se sobrepõem; o conjunto vai de 50 a 95 km/h em rajadas. **Terceira:** os vídeos mostram a pista, e não o hangar; o laudo não atribui o apagamento dos refletores a este hangar.

Com essas ressalvas, os vídeos são **o único indício colhido no próprio aeródromo**, e apontam na mesma direção dos demais registros: 48,6 km/h na estação do Simepar em Toledo, 101,5 km/h em Umuarama, e nenhum valor próximo dos 157,3 km/h de projeto. A rajada de 95 km/h, o limite superior da estimativa, corresponde a 36,5 % da pressão dinâmica de projeto. Matéria de 1º de outubro de 2026 do portal 98FM News, com informações do Simepar, registra que rajadas e microexplosões locais podem ter sido mais fortes do que o medido nas estações; a estimativa por vídeo não substitui medição e não exclui pico local maior no ponto exato do hangar.

A análise descreve o vento como transversal ao eixo da pista. A orientação das câmeras e a do hangar em relação à pista não foram fornecidas, e a direção do vento em relação à fachada do portão vem de outras evidências, independentes dos vídeos: a cobertura foi lançada para trás do hangar, do lado oposto ao portão, e as folhas do portão caíram para dentro (seção 9.10). As duas evidências situam o portão na face de barlavento.

4. Histórico e anamnese

Data	Fato	Origem
Julho de 2025	Sondagem SPT para a ampliação do hangar, dois furos de 15,45 m, relatório 232/2025	relatório de sondagem
11 de novembro de 2025	Embraer emite disposição técnica sobre classificação de pavimento, a pedido da operadora	documento da Embraer
11 de novembro de 2025	Protocolo digital do projeto de prevenção contra incêndio junto ao Corpo de Bombeiros Militar do Paraná, nº 24.976.362-4	protocolo
14 de novembro de 2025	Projeto de pré-moldado da obra 281 aprovado para produção, revisão RVOO	carimbo do projeto
Novembro de 2025	Projeto arquitetônico, revisão 00	carimbo do projeto
17 de novembro de 2025 a 6 de fevereiro	Cronograma de fabricação e montagem do pré-moldado	cronograma da obra 281
27 de novembro de 2025	Emissão inicial da prancha 02/41 do projeto de estrutura metálica (locação dos chumbadores de fachada)	carimbo da prancha
19 de dezembro de 2025	Emissão inicial do projeto de piso de concreto	carimbo do projeto
29 de dezembro de 2025	Projeto arquitetônico aprovado pela Prefeitura Municipal de Toledo	carimbo de aprovação
29 de dezembro de 2025	Alvará de Licença para Construção nº 1216/2025, válido até 29/12/2027	alvará
2 de janeiro de 2026	Emissão inicial, revisão 00, das demais quarenta pranchas do projeto de estrutura metálica	carimbo das pranchas
2 de fevereiro de 2026	Solicitação de análise do projeto de prevenção contra incêndio ao CBMPR	protocolo
3 de fevereiro de 2026	Revisão 01 do projeto de piso	carimbo do projeto
4 de fevereiro de 2026	Emissão inicial do projeto de calhas e condutores verticais (Modular Estruturas), com condutores de 150 mm locados junto aos pilares de apoio; posterior à fabricação e à montagem dos pilares	carimbo do projeto
11 de março de 2026	Revisão 02 do projeto de piso, com compatibilização da estrutura do portão	carimbo do projeto
29 de setembro de 2026, à noite	Vendaval; perda da cobertura, com o portão fechado	fontes públicas, registros e informação da contratante

Data	Fato	Origem
30 de setembro de 2026, manhã	Folhas do portão encontradas dentro do hangar, uma delas sobre a asa de aeronave; cobertura lançada para trás do hangar, do lado oposto ao portão	informação da contratante; imagens de terceiros (Fotografias 70 e 71)
30 de setembro de 2026	Duas fotografias e um vídeo recebidos da contratante	acervo
8 de outubro de 2026	Proposta técnica e comercial PT-2026-1008-PD	acervo
09 de outubro de 2026	Vistoria presencial no hangar pelo Eng. Luciano Andrey Schädler	registro confirmado pelo responsável técnico
11 de outubro de 2026	Recebimento dos demais registros fotográficos e dos vídeos	acervo
12 de outubro de 2026	Primeira e segunda emissões, minutas; a segunda substituiu a primeira no mesmo dia	—
14 de outubro de 2026	Recebimento de três vídeos: um do período de obra e dois do desmonte da cobertura caída atrás do hangar	acervo
15 de outubro de 2026	Recebimento de 35 fotografias, de imagens de terceiros, do resumo da análise dos vídeos das câmeras da pista e dos relatos da gerência de engenharia da contratante	acervo
15 de outubro de 2026	Reencaminhamento à contratante dos projetos de pré-moldado (obra 281), de calhas e condutores verticais, das pranchas de estrutura metálica e da lista de telhas; informação do responsável pelo desmonte de que as soldas estavam íntegras	acervo; relato transmitido ao subscritor
15 de outubro de 2026	Terceira emissão, esta	—

Antes do evento, a contratante não relatou ocorrência de vazamento, deformação, ruído ou vibração na cobertura, nem intervenção de manutenção na estrutura metálica. Em 15/10/2026, a gerência de engenharia relatou que o topo do portão havia sido travado por peça em cantoneira fixada à tesoura da cobertura, para impedir a queda das folhas sobre a aeronave. A autoria, a data e a especificação dessa peça não foram informadas (providência 10.5(l)).

5. Metodologia

5.1 Etapas

O trabalho seguiu a ABNT NBR 13752:2024 e compreendeu:

1. recebimento e conferência de integridade do acervo documental e fotográfico, com registro em cadeia de custódia;
2. leitura dos projetos fornecidos: arquitetônico aprovado, de pré-moldado, de estrutura metálica (41 pranchas, convertidas do formato DWG para imagem e texto), de piso de concreto, hidráulico e de sondagem;
3. vistoria presencial no local pelo responsável técnico em 09/10/2026, com exame direto das peças rompidas e das cabeças de pilar;
4. caracterização do evento meteorológico por fontes públicas identificadas, com a localidade de cada medição;
5. verificação independente da ação do vento sobre a cobertura, pela ABNT NBR 6123:2023, e da solicitação de arrancamento nas ligações, pela ABNT NBR 8681:2025, em cenários preliminares declarados como tais;
6. confronto entre o apoio projetado, lido nas pranchas, e o apoio encontrado;
7. diagnóstico diferencial, com hipóteses alternativas testadas contra as evidências do caso;
8. classificação da estrutura remanescente quanto ao aproveitamento potencial;

9. formulação das diretrizes de recuperação e de reconstrução, e das condicionantes para o projeto executivo;
10. exame do acervo complementar recebido em 14 e 15/10/2026, das informações da contratante sobre o portão, transmitidas ao subscritor, e dos relatos da gerência de engenharia da contratante; memória de cálculo da dinâmica do colapso (seção 9.11); levantamento de casos semelhantes documentados no Brasil e no exterior (seção 9.17).

5.2 Critério de prova adotado

Três regras governaram a redação deste laudo, e vale declará-las porque elas explicam várias ausências deliberadas.

Primeira: nenhuma dimensão foi extraída de imagem. Pixel não é cota. Todas as cotas deste laudo vêm de projeto cotado. Onde a fotografia mostra um espaçamento regular de fixadores arrancados, o laudo registra a regularidade e não registra a distância, porque a distância não foi medida. Pela mesma razão, o diâmetro das barras que aparecem nas fotografias não é afirmado: o diâmetro que o laudo cita é o do projeto.

Segunda: relato é relato, e medida é medida. O que foi informado verbalmente está identificado como informação da contratante. Registro fotográfico sem metadado de data e de autor é identificado pela data em que foi recebido.

Terceira: o que faltou aparece como falta. Documento não entregue não impede o laudo; a lacuna é registrada no ponto exato em que incide, e a conclusão correspondente sai no grau de certeza que as evidências permitem.

5.3 Limitações

Estas limitações circunscrevem o alcance das conclusões, e cada uma delas está repetida junto da conclusão que afeta.

(a) O projeto de estrutura metálica foi lido, mas não é completo para o que o caso exige.

As 41 pranchas chegaram em formato DWG e foram convertidas em imagem e texto, uma a uma, com integridade conferida. Elas mostram: a locação dos chumbadores e o detalhe da chapa de ancoragem CH 01; as plantas de cobertura superior e inferior, com a posição das tesouras, terças, correntes e contraventamentos; os cortes com os níveis; a geometria e os perfis das tesouras TO1 a TO4 e da viga VFO1; os suportes de terça, presilhas e chapas de ligação entre meias tesouras; as terças com comprimentos e quantidades; o contraventamento e as correntes com comprimentos e quantidades; a planta de calhas e rufos; o detalhe de fixação das telhas; e a lista e a paginação das telhas. O que elas **não** mostram, e por isso continua não apurado: a ligação da tesoura à chapa de ancoragem, se soldada ou parafusada, e com que elementos; a classe do aço dos perfis, das chapas e dos chumbadores; a velocidade básica, os fatores e os coeficientes de pressão adotados em projeto, cujo campo de notas está vazio em todas as pranchas; a armadura da cabeça do pilar em torno dos chumbadores; a lista de materiais com pesos; e a estrutura do portão. Os quantitativos de chumbadores trazem uma divergência interna: o rótulo do detalhe diz 7 unidades e a planta loca 13 posições.

(b) Nenhuma memória de cálculo foi fornecida. Nem a do projetista da estrutura metálica, nem a do projetista do pré-moldado. Não é possível, portanto, dizer qual velocidade de vento, qual categoria de rugosidade e quais coeficientes de pressão foram efetivamente adotados em projeto. O laudo faz a verificação independente, que é o que a perícia pode fazer sem a memória alheia.

(c) Nenhuma ART foi fornecida. As anotações de responsabilidade técnica de projeto, fabricação e montagem não integram o acervo.

(d) Não houve ensaio nem medição das peças. Não foram contratados nem realizados pacometria, esclerometria, extração de testemunhos, ensaio de arrancamento ou qualquer ensaio laboratorial, e as peças rompidas não foram medidas nem catalogadas. A avaliação da capacidade

remanescente dos pilares é, por isso, **visual e qualitativa**, e a capacidade resistente da ligação executada **não foi determinada**. Parte das peças foi cortada a maçarico durante o desmonte (Fotografias 100 a 105), e só o exame das bordas distingue, em cada uma, o corte da ruptura.

(e) A velocidade do vento no hangar é desconhecida. O aeródromo não produziu registro de vento utilizável na noite do evento, e a estação do Simepar em Toledo não amostrou a rajada que atuou sobre o conjunto, pelas razões da seção 3.3. O laudo trabalha com o vento **de projeto** e com os valores **documentados**, cada um com a cidade em que foi medido, e não arbitra a velocidade que de fato soprou. Nesta emissão, a estimativa visual feita a partir dos vídeos das câmeras da pista (seção 3.6) situa as rajadas no aeródromo entre 50 e 95 km/h; é estimativa, e não medição.

(f) A situação do portão foi informada nesta emissão, e não registrada. Segundo a contratante, o portão estava fechado na noite do evento, e as folhas foram encontradas dentro do hangar na manhã seguinte. As imagens de terceiros das Fotografias 70 e 71 confirmam as folhas caídas para dentro. O instante em que cada folha saiu da guia, e a sua ordem em relação à ruptura dos apoios, não foram registrados por ninguém.

(g) Nenhuma telha ou fixador foi recuperado para exame. O telhamento não foi localizado no sítio.

(h) Os registros fotográficos não têm metadado. As fotografias recebidas em 11/10/2026 não trazem data de captura nem autor em metadado conferido, e por isso são identificadas pela data de recebimento. O vídeo de que saíram as Fotografias 01 a 03 mostra a cena anterior a qualquer remoção, e é isso que o laudo pode afirmar sobre ele. As fotografias e os vídeos recebidos em 14 e 15/10/2026 seguem a mesma regra, e as imagens de terceiros são identificadas pela fonte.

(i) Os vídeos das câmeras da pista não integram o acervo. O laudo trabalha com o resumo da análise desses vídeos, feita com apoio de ferramenta de inteligência artificial, e o trata como indício de baixa precisão, nunca como medida.

(j) A peça de travamento do topo do portão não foi examinada. A sua existência, a fixação à tesoura e a finalidade são relato da gerência de engenharia da contratante. Material, seção, fixadores, autoria e data de instalação não foram informados.

(k) As dimensões do vão e das folhas do portão não constam das pranchas. A memória de cálculo da seção 9.11 trabalha por metro de vão, com faixa declarada de altura, e com a largura do vão livre lida na planta de pilares do pré-moldado, à espera do projeto do portão.

(l) A capacidade das ancoragens foi estimada por formulação estrangeira, em ordem de grandeza. Não há norma brasileira específica para o dimensionamento de ancoragens no concreto. A seção 9.11 usa, como referência técnica, as expressões do capítulo 17 da norma ACI 318-19, do Instituto Americano do Concreto, com valores nominais, sem coeficientes de ponderação, e com a geometria do apoio lida nas pranchas. São verificações expeditas, que o projeto executivo substitui pelo modelo completo.

6. Fundamentação normativa

6.1 Normas aplicadas

Norma	Título	Emprego neste laudo
ABNT NBR 13752:2024	Perícias de engenharia na construção civil	método, forma e conteúdo do laudo
ABNT NBR 6123:2023	Forças devidas ao vento em edificações	velocidade básica, fatores S1, S2 e S3, pressão dinâmica, pressão externa, pressão interna e abertura dominante
ABNT NBR 8681:2025	Ações e segurança nas estruturas	combinações últimas, com ação permanente favorável

Norma	Título	Emprego neste laudo
ABNT NBR 8800:2024	Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações	tesouras, ligações e contraventamentos
ABNT NBR 14762:2010	Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio	terças, banzos, diagonais e montantes em chapa dobrada
ABNT NBR 9062:2017	Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado	pilares, consolos, ligações e ancoragens
ABNT NBR 6118:2023	Projeto de estruturas de concreto	elementos de concreto e capacidade remanescente
ABNT NBR 6484:2020	Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT	leitura do relatório de sondagem do acervo
NR-35	Trabalho em altura	condições de acesso na remoção de material e na reconstrução

6.2 Nota sobre a vigência

A conformidade de um projeto se verifica contra a edição da norma vigente na data em que ele foi elaborado. As edições abaixo foram conferidas em fonte oficial na data de emissão deste laudo.

ABNT NBR 6123:2023. A segunda edição foi publicada pela ABNT em 20 de dezembro de 2023 e substituiu a edição de 1988. O projeto deste hangar é de novembro de 2025 a janeiro de 2026, de modo que **a edição de 2023 é a aplicável, sem ambiguidade**. Fonte oficial: ABECE, publicação sobre a entrada em vigor da ABNT NBR 6123:2023 — <https://site.abece.com.br/em-vigor-a-nova-nbr-6123/> Essa edição acrescentou dois capítulos, sobre vibrações por desprendimento de vórtices e sobre ação do vento em pontes. **Ela não alterou o mapa de isopletas nem o fator S3.** Segundo a mesma fonte da ABECE, o grupo de trabalho responsável pela revisão prosseguiria com as reuniões para revisão do mapa de isopletas e do fator S3, a ser publicada futuramente como errata. O projeto de revisão foi desenvolvido pela Comissão de Estudo CE-002:122.016, sob coordenação do prof. Acir Mércio Loredou-Souza, com o prof. André Beck como secretário.

A consequência prática é que **a velocidade básica do vento aplicável a Toledo é a mesma do mapa de 1988**, e é por isso que este laudo adota V_0 igual a 45 m/s. Há proposta de atualização do mapa publicada na Revista IBRACON Estruturas e Materiais, volume 16, número 4, e16401, de 2023, pelos mesmos autores da comissão, que atribui 48 m/s à região de tempestades convectivas severas do sul do país. **Essa proposta não é norma na data de emissão deste laudo**, e o laudo não a aplica. A menção serve a dois propósitos: situar a ordem de grandeza da revisão em discussão e justificar a recomendação da seção 10.6.

ABNT NBR 8681:2025. Publicada em 29 de setembro de 2025, substituindo a edição de 2003. Fonte oficial: ABECE, publicação sobre a entrada em vigor da ABNT NBR 8681:2025 — <https://site.abece.com.br/em-vigor-a-nova-nbr-8681/>

ABNT NBR 8800:2024. Publicada em 2 de outubro de 2024, substituindo a edição de 2008. Fonte oficial: ABECE, publicação sobre a entrada em vigor da ABNT NBR 8800:2024 — <https://site.abece.com.br/em-vigor-a-nova-nbr-8800/>

ABNT NBR 6118:2023. Lançada em 28 de agosto de 2023. A ABNT publicou a Emenda 1, de 11 de março de 2026; a norma de 2023 em conjunto com essa emenda equivale à ABNT NBR 6118:2026. Fonte oficial: ABECE — <https://site.abece.com.br/nbr-6118-tem-emenda-publicada-pela-abnt/> Este laudo cita a edição de 2023 porque é a edição propriamente dita; onde a emenda incidir sobre a recuperação estrutural a ser projetada, ela deve ser observada no executivo.

ABNT NBR 13752:2024. Segunda edição, de outubro de 2024, que sucede a edição de 1996, a primeira da norma. Fonte oficial: IBAPE-MG, publicação de 23 de outubro de 2024 registrando a

entrada em vigor da nova edição naquela semana — <https://www.ibapemg.com.br/noticia/nova-edicao-da-abnt-nbr-13-7522024/>

ABNT NBR 9062:2017. Terceira edição, de 15 de março de 2017.

ABNT NBR 14762:2010. Segunda edição, válida a partir de 9 de agosto de 2010.

7. Conceitos técnicos empregados

Velocidade básica do vento (V_0). Velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez a cada 50 anos, medida a 10 m de altura em terreno aberto e plano. É o valor que o mapa de isopletras da ABNT NBR 6123:2023 atribui a cada ponto do território.

Velocidade característica (V_k). A velocidade básica corrigida pelos fatores topográfico (S_1), de rugosidade e dimensões (S_2) e estatístico (S_3): $V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$.

Pressão dinâmica (q). A pressão que a velocidade característica exerce: $q = 0,613 \cdot V_k^2$, com q em N/m^2 e V_k em m/s .

Coeficiente de pressão externa (C_{pe}). Fator que converte a pressão dinâmica na pressão que atua sobre cada zona da superfície externa. Em coberturas de baixa declividade, é negativo, isto é, de **sucção**: o vento que passa sobre a cobertura a puxa para cima, pelo mesmo princípio que sustenta uma asa. A norma o tabela por zona da cobertura, em função da declividade, da relação entre a altura e a dimensão em planta, e da direção do vento; as zonas de borda e de canto recebem valores mais severos do que o campo.

Coeficiente de pressão interna (C_{pi}). Fator análogo para a pressão no interior da edificação. Quando o fechamento é estanque, é pequeno e frequentemente negativo. Quando há **abertura dominante** na face de barlavento, o ar entra, o interior pressuriza, e o C_{pi} torna-se fortemente positivo.

Coeficiente de pressão líquida (C_{net}). Diferença entre a pressão externa e a interna sobre a cobertura, tomada aqui como um valor único de referência para a avaliação preliminar. O projeto executivo o substitui pela integração das pressões por zona.

Abertura dominante. Abertura cuja área é expressiva em relação às demais e que, voltada para o vento, governa a pressão interna. O portão de um hangar é o exemplo de livro.

Arrancamento. A solicitação resultante da combinação entre sucção externa e sobrepressão interna, deduzido o peso próprio. É uma força de **tração** que percorre a cobertura de cima para baixo, da telha até a fundação, e que precisa encontrar material capaz de resistir a tração em cada etapa desse caminho.

Fendilhamento. Fissuração de um elemento de concreto segundo planos paralelos à direção de uma força concentrada aplicada, provocada pelas tensões de tração transversais que essa força gera. É o modo de ruína típico de ancoragem insuficientemente confinada em cabeça de pilar.

Armadura de fretagem. Armadura transversal, em geral estribos ou espirais, disposta para absorver as tensões de tração transversais e impedir o fendilhamento.

Efeito de alavanca. Acréscimo de tração nos chumbadores de uma chapa flexível, provocado pelo apoio da borda da chapa no concreto quando ela se curva sob a força de arrancamento. Faz a tração real por elemento ser maior do que a divisão simples da força pelo número de elementos.

Mão francesa. Barra ou peça inclinada que liga o pilar à viga ou ao banzo da tesoura, enrijecendo o nó e transferindo parte do esforço para um segundo ponto de ancoragem. É também chamada de contraventamento de joelho.

Travamento superior do portão. Peça que impede o topo das folhas de um portão de correr de sair do plano. Recebe a metade superior da força do vento sobre as folhas e a transmite à estrutura em que estiver fixada.

Ruptura de borda. Ruptura do concreto entre um elemento de ancoragem e a face livre mais próxima, quando a ancoragem é puxada ou empurrada em direção a essa face. Destaca uma cunha de concreto e depende fortemente da distância à borda.

Ruptura progressiva das ligações. Sequência em que a perda de um apoio transfere a sua parcela de carga aos apoios vizinhos, que, já próximos do limite, rompem em seguida, um após o outro, como um fecho que se abre.

Escala de Beaufort. Escala empírica que classifica a intensidade do vento pelos efeitos visíveis que ele produz. Serve à estimativa visual, e não substitui medição.



8. Constatações

As fotografias estão reunidas em blocos temáticos no Anexo A, na ordem da narrativa da ruína, e não na ordem em que os arquivos chegaram. Cada uma traz legenda e análise técnica. O corpo aponta; o anexo mostra.

8.1 O quadro geral

Na manhã de 30 de setembro, a cobertura do hangar não existia mais como sistema. A Fotografia 01 mostra, de fora, o conjunto de terças e tesouras arriado sobre a parede, em curva, sem uma única telha. A Fotografia 02, tomada do pátio para dentro, mostra o bloco de escritórios de dois pavimentos íntegro, com os vidros no lugar, e acima dele o esqueleto metálico pendurado contra o céu aberto. O piso tinha lâmina d'água.

Na segunda emissão, o padrão final de danos foi lido como compatível com perda do telhamento antes do deslocamento da estrutura que o sustentava, e não com cedimento por flexão sob carga descendente, que deixaria as peças no plano original com flecha acentuada. A progressão do evento, porém, não foi registrada por ninguém, e a ordem temporal permanece hipótese causal, formulada na seção 9.7 e testável pelos meios listados na seção 10.5. Nesta terceira emissão, os vídeos do desmonte mostraram trechos da cobertura lançados para trás com telhas ainda presas (Fotografias 99 a 101): ao menos nesses trechos, a estrutura se foi com o telhamento. A seção 9.16 revisa a sequência.

Na vistoria de 09/10/2026, dez dias depois do evento, a estrutura metálica remanescente já havia sido parcialmente removida do interior, e as folhas do portão estavam empilhadas no pátio.

8.2 A envoltória de concreto resistiu

O fechamento em placas pré-moldadas e a estrutura de pilares e vigas permaneceram de pé, e isso é um dado de diagnóstico, não um detalhe.

As Fotografias 11, 12 e 14 mostram a platibanda em placa de concreto aparente íntegra ao longo de todo o perímetro visível, com o céu atrás, onde antes havia cobertura. As Fotografias 10 e 15 mostram o encontro entre a platibanda, o pilar e o fechamento pintado, sem desaprumo perceptível.

Uma envoltória de concreto que permanece íntegra enquanto a cobertura inteira é removida indica que **a solicitação que venceu o conjunto não foi global, e sim local, concentrada na interface entre a cobertura e o apoio**. O vento não derrubou a edificação: ele descolou a tampa.

Nas Fotografias 06, 07 e 08, o fechamento em telha trapezoidal da fachada mostra o padrão oposto e complementar: as telhas de parede permaneceram fixadas, mas os **arremates de borda**, isto é, rufos e cumeeiras de fachada, estão levantados, dobrados e em parte destacados. Arremate de borda é o primeiro elemento a partir sob sucção, porque é onde o escoamento se separa e onde os coeficientes de pressão local são mais severos. Esse padrão é compatível com sucção intensa na quina superior da edificação.

8.3 A ligação tesoura-pilar: onde o caminho da força se interrompeu

Este é o achado central do laudo, e está no Bloco C do Anexo A.

A Fotografia 16 mostra a extremidade de uma tesoura ainda alojada no nicho da placa de concreto, com os perfis **rasgados e amassados**, e as bordas da ruptura viradas para fora. A Fotografia 17 é a aproximação dessa ruptura: a parede do perfil se rompeu por **rasgamento da chapa fina**, com as fibras estiradas e a pintura esfoliada ao longo da borda rompida.

A Fotografia 19 é a que melhor explica o mecanismo. Nela se vê o nó de extremidade da tesoura sobre o consolo de concreto, e sobre a superfície do consolo há duas coisas que contam a história: uma **marca retangular de oxidação**, que é a pegada da chapa de base que ali esteve apoiada, e uma **arruela**

solta, assentada no concreto, em torno de um furo vazio. A arruela ficou; o que passava por dentro dela não ficou.

As Fotografias 20 e 21 mostram o topo de um pilar após a ruína: uma chapa metálica embutida, com produto de oxidação na face exposta, uma arruela ainda posicionada num furo sem parafuso, um fragmento de chapa rasgado e levantado, e uma cantoneira deformada caída ao lado. A Fotografia 18 mostra, sobre a superfície de concreto adjacente, **um parafuso com arruela e uma porca, soltos.** A Fotografia 23 mostra uma cantoneira de ligação no piso do hangar, longe de qualquer apoio.

A Fotografia 22 mostra uma chapa de ligação embutida no concreto, com produto de oxidação na face exposta, uma arruela e um fixador remanescente, cercada por concreto fraturado.

O que esse conjunto estabelece é o seguinte:

1. **a ruptura se deu nas ligações, e não nas barras da tesoura.** Os banzos e as diagonais que permaneceram estão retos, com a pintura íntegra fora das regiões de nó. Se a estrutura tivesse sido vencida por esforço global, haveria flambagem de diagonais e deformação plástica distribuída. Não há.
2. **os vestígios são compatíveis com ruptura por tração,** e não por cisalhamento ou compressão. Arruela deixada em furo vazio, porca solta e chapa rasgada com borda virada para fora são assinaturas de arrancamento.
3. **a ruptura se deu no elemento mais fraco da cadeia,** que foi ora a parede fina do perfil em torno do furo, ora o próprio ancoramento no concreto.

O que esse conjunto **não** estabelece: a capacidade resistente da ligação executada e a sua margem em relação à demanda. Elas dependem de medição das chapas, parafusos e chumbadores, identificação dos materiais e verificação de todos os modos de falha, conforme a limitação 5.3(d) e a providência 10.5(e). Inspeção visual documenta o modo de ruína; não mede resistência.

8.4 O fendilhamento das cabeças de pilar

O Bloco D do Anexo A documenta o segundo achado, que é consequência direta do primeiro.

A Fotografia 24 mostra uma barra roscada emergindo de concreto fraturado, com fissuras radiais partindo do ponto de emergência e um fragmento de cobrimento destacado. A Fotografia 25 mostra, numa cabeça de pilar, destacamento do cobrimento em cunha, com duas barras longitudinais e um estribo expostos.

A Fotografia 26 mostra uma **fenda vertical aberta**, com armadura visível no interior, e fissuração em mapa ao redor. A Fotografia 27 mostra uma cabeça de pilar **partida de alto a baixo**, com a fenda atravessando toda a altura visível, e o condutor pluvial passando pela abertura. A Fotografia 28 mostra o mesmo padrão em outro ponto, com fissuração em mapa e armadura exposta.

Esse é o quadro clássico de **fendilhamento por ancoragem**. Uma força de tração concentrada, introduzida no topo de um pilar por um chumbador ou barra, gera tensões de tração transversais ao seu redor. Se a armadura de fretagem não for suficiente para absorvê-las, o concreto se abre em planos paralelos à força, e o cone de arrancamento se destaca. É o que as fotografias mostram.

O projeto lido nesta emissão dá a esse achado uma geometria. A chapa CH 01 da prancha 01/41 tem 230 mm por 250 mm e os chumbadores a 30 mm das bordas da chapa; sobre um pilar de 25 cm por 50 cm, com a chapa centrada, a linha de chumbadores fica a **30 a 40 mm da face do pilar** na direção de 25 cm, para um trecho reto embutido de **187 mm**. A relação entre a distância à borda e o embutimento é da ordem de **0,21**. É exatamente a configuração em que a ruptura de uma ancoragem tracionada tende a ocorrer por fendilhamento e por borda no concreto, e não no aço. A centragem da chapa sobre a seção é premissa, porque a planta loca a chapa em escala 1:125 sem cotar a posição relativa; a armadura da cabeça do pilar não consta de nenhuma das pranchas fornecidas, nem do pré-moldado nem da metálica.

Importa registrar o que esse achado **não** permite concluir. As Fotografias 04 e 05, recebidas da contratante em 30/09/2026, já mostram fissura vertical na cabeça de um pilar logo abaixo do apoio da cobertura. Sem ensaio, não é possível afirmar que todas as fissuras de cabeça de pilar hoje visíveis nasceram no evento, nem excluir que alguma delas seja anterior. O que é possível afirmar, e basta ao diagnóstico, é que **o padrão geométrico das fissuras é o do fendilhamento por força de arrancamento**, e não o de retração, de recalque ou de flexão do pilar.

8.5 A linha de fixação arrancada no topo do fechamento

O Bloco E documenta um achado de leitura simples e consequência grande.

As Fotografias 30, 31 e 32 mostram, no topo das placas pintadas de branco, ao longo da junta com a placa de concreto aparente da platibanda, uma **linha regular de pontos de fixação arrancados**, cada um marcado por mancha de oxidação e por destacamento localizado da pintura e da argamassa. Os pontos se sucedem em passo regular ao longo de toda a extensão fotografada.

Essa linha é a pegada da fixação que prendia a calha, o rufo e o arremate de borda da cobertura ao fechamento. O projeto a prevê: o corte 11 da prancha 11/41 indica fixadores da marca Hardbolt, M10×75 no topo dos pilares, na cota +9,00, e a prancha 34/41 detalha a calha e o rufo ao longo das bordas. Ela não cedeu em um ponto: cedeu **ao longo de toda a linha**, o que caracteriza solicitação distribuída de arrancamento, e não impacto localizado.

Não se mede aqui o espaçamento entre fixadores, porque ele não foi medido em campo e não se extrai de fotografia.

A Fotografia 34, tomada do topo, mostra o remate rompido com um montante galvanizado exposto no interior de um painel, e a Fotografia 33 mostra o condutor pluvial e o seu suporte no topo do fechamento, ainda fixados.

8.6 O interior

O Bloco F mostra o interior do hangar. As Fotografias 35 e 36 mostram a viga e a placa de topo com cabos elétricos vermelhos pendentes e soltos, arremates metálicos rasgados pendurados, e o céu aberto acima. O bloco de escritórios, construído em painéis sobre estrutura metálica leve, está íntegro no seu corpo, com os caixilhos e vidros no lugar.

A Fotografia 37 mostra o piso interno com detritos, tubulação hidráulica aparente e acúmulo de material fino trazido pela água. A Fotografia 38 mostra a junta entre o concreto e uma peça metálica, com fragmentos.

8.7 O portão do hangar

O Bloco G documenta as folhas do portão como encontradas no pátio e no gramado na vistoria de 09/10/2026, depois de removidas do interior. Segundo a contratante, na manhã de 30/09 elas estavam dentro do hangar (seção 9.10).

A Fotografia 39 mostra uma folha completa caída sobre a grama, com o quadro metálico e o preenchimento em telha trapezoidal, e os ganchos de suspensão ainda no lugar na borda superior. As Fotografias 40, 41, 42, 43 e 45 mostram as demais folhas empilhadas no pátio, com as ferragens de rolamento, as calhas-guia deformadas e os perfis do quadro. A Fotografia 44 mostra a extremidade de um perfil tubular **rompida**, com oxidação na superfície de fratura.

As folhas não estão amassadas como ficariam se tivessem sido atingidas por algo pesado. Estão **desmontadas e empilhadas**, com os perfis separados nas junções e algumas extremidades rompidas por tração.

A estrutura do portão não consta das 41 pranchas do projeto de estrutura metálica; a prancha 05/41 mostra a fachada da rodovia com os pilares metálicos PO1 a PO3 e o vão do portão, sem detalhá-lo.

Este laudo **não estabelece** se o portão foi aberto antes do evento, se cedeu durante o evento, ou se foi desmontado depois dele pela própria equipe da contratante para liberar o acesso. Essa informação é da contratante e consta da seção 10.5 como providência. A seção 9.4 demonstra que **a conclusão do laudo não muda em nenhuma das três hipóteses**. Nesta terceira emissão, a contratante informou que o portão estava fechado e que as folhas foram encontradas dentro do hangar; o empilhamento no pátio é posterior (seção 9.10).

8.8 O bloco de escritórios e as instalações

O Bloco H documenta danos de menor monta, que o laudo registra pela integralidade e por servirem à contratação da recuperação, sem que nenhum deles participe da cadeia causal da ruína.

A Fotografia 46 mostra um nicho no topo de uma placa com um inserto metálico embutido e uma peça de madeira deteriorada ao lado, além de destacamento do acabamento. As Fotografias 47, 48, 53 e 54 mostram fissuras finas em juntas de painéis e em encontros de superfícies. As Fotografias 49, 50, 51 e 52 mostram cantos de painel rompidos com o montante galvanizado exposto e o conduíte corrugado descolado. As Fotografias 55 e 56 mostram o corrimão da escada interna e fissuras finas na superfície atrás dele.

8.9 Risco instalado e medidas de urgência

RISCO INSTALADO

O risco descrito neste item é atual e independe da leitura do restante do laudo.

A cobertura dava travamento no topo aos pilares e às placas de fechamento. Com a cobertura removida, **esse travamento deixou de existir**. Os pilares passaram a trabalhar como peças em balanço a partir da fundação, e as placas de fechamento perderam o seu apoio superior. A isso soma-se o fendilhamento documentado no Bloco D, que reduz a capacidade das cabeças de pilar justamente onde elas são solicitadas.

A consequência é que a estrutura remanescente está **menos segura hoje do que estava antes do evento**, e permanecerá assim até que seja escorada ou reconstruída. O período coincide com a previsão oficial de chuvas acima da normal climatológica para a Região Sul, descrita na seção 3.5.

Medidas de urgência, numeradas por ordem de precedência:

R-00.1 — Isolar. Interditar o hangar e uma faixa externa de largura pelo menos igual à altura das placas de fechamento, em todo o perímetro, com barreira física e sinalização. Proibir a permanência de pessoas sob a estrutura e o estacionamento de veículos ou aeronaves na faixa isolada.

R-00.2 — Escorar. Providenciar escoramento provisório dos pilares e das placas de fechamento, projetado por profissional habilitado, antes de qualquer trabalho dentro da faixa isolada. O escoramento deve considerar a ação do vento sobre a envoltória sem travamento de topo.

R-00.3 — Remover o material solto em altura. Retirar arremates, rufos, trechos de calha, cabos pendentes e peças metálicas penduradas, exclusivamente por equipe habilitada para trabalho em altura conforme a NR-35, com plataforma adequada. Peça metálica pendurada a sete metros de altura é projétil em rajada.

R-00.4 — Preservar a prova antes de remover. Antes de retirar qualquer peça rompida, fotografar a posição em que se encontra e guardar identificados os parafusos, chumbadores, chapas de ligação, trechos soldados, terças e telhas com os respectivos fixadores. Essas peças são a prova material do mecanismo da ruína, e também a única forma de determinar a capacidade da ligação executada e de verificar perda de seção. Sem elas, a discussão técnica com as empresas responsáveis perde a sua base.

As peças já empilhadas no pátio devem ser etiquetadas e armazenadas em local coberto e com acesso controlado.

R-00.5 — Desenergizar. Isolar os circuitos elétricos cujos condutores estão expostos e pendentes, documentados nas Fotografias 35 e 36.

R-00.6 — Proteger o que permaneceu. O bloco de escritórios está íntegro, descoberto e exposto à chuva. Providenciar cobertura provisória do bloco, de modo a não transferir carga de vento para a estrutura remanescente.

8.10 Agravante de contexto: o conjunto está num aeródromo em operação

O risco do item anterior não se esgota no perímetro do terreno, e é isso que distingue este caso de uma estrutura descoberta num pátio industrial fechado.

A implantação do projeto aprovado mostra o hangar na fileira de hangares do sítio aeroportuário, com a pista de 1.670 m por 30 m, o pátio de aeronaves, o parque de abastecimento e a edificação dos bombeiros no mesmo recinto. A Fotografia 09, tomada do topo do fechamento, mostra a pista e a sinalização de pista de táxi à frente da edificação, e a Fotografia 34 mostra a mesma relação pelo outro trecho do topo. O aeródromo segue operando, e a PR-182 margeia o sítio.

O que o próprio evento de 29 de setembro demonstrou é a consequência disso. Estruturas metálicas arrancadas dos hangares deste aeródromo alcançaram a PR-182, interditaram o tráfego nos dois sentidos, atingiram ao menos quatro veículos e feriram levemente uma pessoa, conforme a seção 3.4. Entre 10 e 12 aeronaves foram atingidas dentro dos hangares. Não se trata, portanto, de hipótese remota construída pelo laudo: é o que já aconteceu neste mesmo sítio, no mesmo episódio, com as peças deste mesmo tipo de edificação.

A estrutura remanescente deste hangar está hoje na condição descrita no item 8.9, com placas de concreto de até 9,00 m de altura sem travamento de topo e com peças metálicas e arremates ainda pendurados em altura. O destino de uma peça solta em rajada não é escolhido por quem a deixou lá.

Daí decorrem três consequências práticas, e elas mudam a urgência e a forma das medidas do item 8.9:

(a) a faixa de isolamento de R-00.1 não é assunto interno da contratante: ela precisa ser definida e sinalizada em articulação com a administração aeroportuária, porque pode alcançar área de movimentação de aeronaves e a margem da rodovia;

(b) a remoção do material solto em altura, de R-00.3, deixa de ser apenas medida de segurança do trabalho e passa a ser medida de segurança operacional do aeródromo, com a precedência que isso impõe;

(c) enquanto o escoramento de R-00.2 não estiver executado e liberado por escrito, o hangar não deve abrigar aeronave, nem deve haver aeronave estacionada na faixa isolada.

Registre-se ainda que o uso declarado do hangar é o abrigo de aeronave executiva, equipamento de alto valor, e a edificação existe para protegê-lo. Reconstruir a cobertura sem fechar a verificação ao arrancamento devolveria esse valor a um abrigo cuja segurança ao vento já se mostrou dependente de uma ligação que cedeu.

8.11 O acervo complementar desta emissão

Os Blocos J a O do Anexo A reúnem 47 figuras recebidas em 14 e 15/10/2026. O que elas acrescentam às constatações é o seguinte.

O período de obra (Bloco J). A faixa da cobertura junto ao vão do portão era estrutura aparente, sem forro, e era a única peça acima do vão em que o topo das folhas poderia se travar (Fotografias 60 e 61). O contraventamento da cobertura era de barras esbeltas (Fotografia 63). Na borda das paredes laterais, as ondas da telha estavam abertas no momento dos registros (Fotografias 65 a 67).

O portão (Bloco K). As folhas caíram para dentro do hangar, uma delas sobre a asa de uma aeronave (Fotografias 70 e 71). Estão íntegras, com o quadro reto (Fotografia 76). O que se rompeu foram os vínculos: pinos-guia dobrados (Fotografias 77 a 79) e a chapa das folhas rasgada ao longo da linha de parafusos da travessa superior (Fotografias 72 a 75).

O primeiro pilar junto ao portão e as demais cabeças (Bloco L). A cabeça do primeiro pilar junto ao portão sofreu a ruptura mais severa do acervo: fenda vertical larga (Fotografia 84) e cunha de concreto destacada do canto, com barras expostas e curvadas (Fotografias 85 a 87). Uma fissura nasce na fixação do batente do portão ao pré-moldado (Fotografia 88). Outras cabeças mostram fendilhamento ao longo das barras (Fotografias 91 a 93), e uma delas tem o condutor pluvial embutido no concreto, com a fenda aberta junto a ele (Fotografia 94).

A base das tesouras (Bloco M). Chapas remanescentes no topo dos pilares mostram furos de contorno alongado, fixadores ausentes, nenhuma arruela de chapa visível e borda dobrada para cima: a das Fotografias 96 e 97 tem quatro furos e um só fixador; a da Fotografia 98, dois furos e dois fixadores. A função de cada peça deve ser confirmada no exame.

A cobertura lançada para trás (Bloco N). A estrutura foi parar no terreno atrás do hangar, do lado oposto ao portão, com as tesouras na posição relativa que tinham na cobertura e com trechos de telha ainda presos (Fotografias 99 a 105). Os suportes de terço e os nós visíveis das tesouras estão inteiros, sem solda rompida, o que é coerente com a informação do responsável pelo desmonte (Fotografias 99 e 102). A cobertura voou como corpo: o que cedeu primeiro, nesses trechos, foi a ancoragem, e não a fixação das telhas.

9. Diagnóstico diferencial e nexó causal

A seção existe porque a pergunta da contratante admite mais de uma resposta plausível à primeira vista, e porque a resposta correta orienta a discussão técnica com as empresas envolvidas. Cada hipótese abaixo foi formulada, confrontada com as evidências do caso, e mantida ou afastada **com a evidência nomeada**, e a seção diz, em cada passo, o que está demonstrado e o que permanece não determinado.

9.1 A ação do vento de projeto

A verificação independente seguiu a ABNT NBR 6123:2023. Os parâmetros e a cadeia de cálculo estão no registro de cálculo do caso e são reproduzíveis. A coluna de origem nomeia a tabela ou o item da norma de que cada parâmetro foi lido; a numeração das cláusulas da edição de 2023 deve ser transcrita no memorial do projeto executivo, porque o texto da norma não integra o acervo deste trabalho.

Parâmetro	Valor adotado	Origem
Velocidade básica V_0	45,00 m/s	mapa de isopletas da ABNT NBR 6123:2023, para a posição do aeródromo; o mapa não foi alterado pela edição de 2023 (seção 6.2)
Fator topográfico S_1	1,00	item do fator S_1 da ABNT NBR 6123:2023, terreno plano ou fracamente acidentado; sítio em platô
Categoria de rugosidade	II	tabela das categorias de rugosidade da ABNT NBR 6123:2023: terreno aberto em nível, com poucos obstáculos isolados, de que a norma cita aeródromos como exemplo
Classe	B	definição das classes da ABNT NBR 6123:2023: maior dimensão de 25,00 m, entre 20 m e 50 m
Parâmetros de S_2	$b = 1,00$; $Fr = 0,98$; $p = 0,09$	tabela dos parâmetros meteorológicos b , p e Fr da ABNT NBR 6123:2023, Categoria II, Classe B
Cota de referência z	9,00 m	topo da platibanda, corte BB do projeto arquitetônico e corte 11 da prancha 11/41
Fator S_2 resultante	0,9708	expressão do fator S_2 da ABNT NBR 6123:2023: $S_2 = b \cdot Fr \cdot (z/10)^p$
Fator estatístico S_3	1,00	tabela do fator S_3 da ABNT NBR 6123:2023, Grupo 2, edificação para indústria com alto fator de ocupação
Velocidade característica V_k	43,68 m/s, ou 157,3 km/h	$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$
Pressão dinâmica q	1,170 kN/m²	expressão da pressão dinâmica da ABNT NBR 6123:2023: $q = 0,613 \cdot V_k^2$

A geometria que entra nas tabelas de pressão externa é a seguinte: cobertura de duas águas com declividade de 13 %, isto é, 7,4°; dimensões em planta de 25,00 m por 23,00 m; cota de apoio da cobertura +7,00 m, o que dá relação h/b de 0,280 na direção transversal. As 41 pranchas do projeto não declaram nenhum desses parâmetros, nem V_0 , S_1 , S_2 , S_3 , C_{pe} ou C_{pi} : o campo de notas está vazio em todas, e a memória de cálculo não foi fornecida.

Sensibilidade ao fator estatístico. O laudo adota $S_3 = 1,00$, do Grupo 2 da norma, pelo uso industrial com alto fator de ocupação e pelo valor do conteúdo abrigado. Se o hangar for enquadrado no Grupo 3, com $S_3 = 0,95$, a velocidade característica passa a 41,50 m/s, ou 149,4 km/h, e a pressão dinâmica a 1,056 kN/m²; as forças de cálculo por apoio da seção 9.4 passam a cerca de 76 kN, na edificação estanque, e 164 kN, com abertura dominante. Nenhuma conclusão do laudo se altera, porque todas continuam acima da capacidade nominal estimada da ancoragem projetada (seção 9.11, MC-5).

9.2 O confronto que a contratante pediu, e o seu limite

Esta é a comparação que a contratante pediu, e ela cabe em quatro linhas, cada uma com a cidade em que a medição foi feita.

Vento	Velocidade	Pressão dinâmica	Fração do projeto	Onde foi medido
De projeto, pela ABNT NBR 6123:2023	157,3 km/h	1,170 kN/m ²	100 %	cota da cobertura, por cálculo
Rajada medida em outra localidade da região, não no aeródromo (comparação de referência)	acima de 100 km/h	0,473 kN/m ²	40,4 % da pressão	outras cidades do estado; Umuarama, 101,5 km/h
Registrado na estação do Simepar em Toledo	48,6 km/h	0,112 kN/m ²	9,6 % da pressão (30,9 % da velocidade)	Toledo, estação do Simepar
No próprio aeródromo	não registrado	—	—	SBTD: vento não codificado em todos os boletins do período; nenhum boletim na noite do evento

A pressão dinâmica cresce com o quadrado da velocidade, e é por isso que uma rajada com 63,6 % da velocidade de projeto produz apenas 40,4 % da pressão de projeto. O percentual é comparação de referência: diz quanto uma rajada de 100 km/h representa da solicitação de projeto, e não que essa rajada tenha atuado sobre o hangar.

O que está demonstrado, e o que não está. Não há, no acervo nem nas fontes públicas consultadas, registro de rajada no local acima do vento de projeto de 157,3 km/h. Para que a ruína se explicasse por vento extraordinário, a rajada no hangar teria de ter superado esse valor, isto é, 3,24 vezes a registrada na estação de Toledo e 1,57 vez o piso medido em outras cidades. A velocidade efetivamente incidente no hangar, porém, não foi medida por ninguém: o aeródromo não produziu registro, e a estação de Toledo não amostrou a célula. De modo que **vento acima do valor normativo não foi demonstrado, nem pode ser categoricamente excluído**. O Simepar afastou a hipótese de tornado por radar e satélite; rajada descendente localizada, que é o próprio fenômeno que a seção 3.3 descreve, pode em princípio superar localmente o vento de projeto, e o afastamento do tornado não a exclui.

O que a seção 9.3 mostra a seguir não depende da velocidade local, e é por isso a constatação mais robusta do laudo.

9.3 A cobertura não se segurava pelo peso próprio

Esta constatação é independente de qualquer coeficiente de pressão tabelado e de qualquer medição de vento, e por isso é a mais robusta do laudo.

O peso próprio da cobertura é de **0,192 kN/m²**, composto por 0,042 kN/m² da telha trapezoidal de 0,50 mm e 0,150 kN/m² atribuídos a terças, tesouras e contraventamento. Esse segundo valor é premissa adotada pelo subscritor, e as pranchas lidas nesta emissão permitem cercá-la. Elas não trazem lista de materiais com pesos, mas quantificam, com perfil e comprimento, os banzos das tesouras e da viga, as terças superiores e inferiores, as correntes rígidas e o contraventamento. Esse inventário parcial soma 6.234 kg, ou **0,106 kN/m²** de cobertura em projeção, e corresponde a 70,9 % do valor adotado. Ficam fora dele, porque as pranchas não os totalizam, as diagonais e os montantes das tesouras e da viga, os suportes de terça e de corrente, as presilhas, as chapas de ligação, os parafusos e os chumbadores. O valor adotado de 0,150 kN/m² permanece, portanto, como premissa, e foi deliberadamente tomado **baixo**, porque no arrancamento o peso próprio é ação favorável e um valor baixo é o conservador.

A sensibilidade do resultado a essa premissa é pequena: se o peso próprio da estrutura fechasse em 0,120 kN/m², vinte por cento abaixo do adotado, a força de arrancamento por apoio do cenário de abertura dominante subiria 1,1 %. O peso próprio não decide o caso; a sucção decide.

A rajada em que a sucção iguala esse peso próprio, para uma faixa de coeficientes de pressão líquida, é a seguinte:

Coeficiente de pressão líquida	Rajada que levanta a cobertura inteira	Rajada que levanta a telha sozinha
0,5	90,2 km/h	42,3 km/h
1,0	63,8 km/h	29,9 km/h
1,5	52,1 km/h	24,4 km/h
2,0	45,1 km/h	21,2 km/h

O Desenho 5 do Anexo B apresenta esses valores graficamente, contra a rajada de projeto e contra as rajadas registradas.

Leia-se a tabela com atenção, porque ela define o caso. **Acima de rajadas da ordem de 45 a 90 km/h, dependendo do coeficiente, a única coisa que mantinha a cobertura no lugar era a ancoragem.** A telha isolada, em qualquer das hipóteses, perde o peso próprio **abaixo** da rajada que a estação do Simepar registrou em Toledo naquela noite.

Isso não é um defeito desta obra em particular: é a condição de qualquer cobertura metálica leve, e é precisamente a razão de a ABNT NBR 6123:2023 exigir a verificação ao arrancamento. O que o caso mostra é que a ruptura ocorreu justamente nas ligações de que essa estabilidade dependia.

9.4 A abertura dominante, e por que ela não muda a conclusão

O portão do hangar é uma abertura dominante em potencial. Quando a face de barlavento tem abertura dominante, o interior pressuriza e a sobrepressão interna soma-se à sucção externa sobre a cobertura.

O laudo verificou as duas situações como **cenários preliminares**, com coeficientes de pressão líquida adotados pelo subscritor como referência desta avaliação e declarados como tal: 0,80 para a edificação estanque e 1,60 para a abertura dominante. Esses valores não são demanda normativa demonstrada. A ABNT NBR 6123:2023 tabela o coeficiente de pressão externa por zona da cobertura de duas águas, em função da declividade de 7,4°, da relação h/b de 0,280, da direção do vento e da posição da zona, com valores mais severos nas bordas e nos cantos; e dá o coeficiente de pressão interna pelo item da pressão interna, em função da condição de abertura. A derivação por zona, integrando as pressões em vez de aplicar um coeficiente único a toda a cobertura, é condicionante do projeto executivo, e a leitura das pranchas fixou a geometria, o espaçamento e as zonas para que ela seja feita.

Cenário preliminar	Sucção característica	Arrancamento de cálculo	Força por apoio de tesoura
Edificação estanque, portão íntegro e fechado	0,936 kN/m ²	1,137 kN/m ²	85,28 kN
Com abertura dominante, portão aberto ou perdido	1,872 kN/m ²	2,447 kN/m ²	183,54 kN

A abertura dominante **multiplica a força de arrancamento no apoio por 2,15**, ou seja, a eleva a 215,2 % do valor correspondente à edificação estanque.

Daí se extrai o ponto que torna a conclusão robusta: **mesmo no cenário menos severo**, isto é, portão íntegro e fechado, edificação estanque, a ancoragem de cada apoio precisava resistir a uma tração de cálculo da ordem de 85 kN. Se a ligação executada tinha ou não essa capacidade não foi determinado,

pelas razões da limitação 5.3(d); o que está documentado é que ela se rompeu por tração localizada, sob um vento para o qual nenhum registro indica valor acima do de projeto.

Por isso a seção 8.7 pôde deixar em aberto a situação do portão sem prejuízo da conclusão: **os dois cenários levam ao mesmo diagnóstico**, e diferem apenas na magnitude. Nesta terceira emissão, a situação foi informada: o portão estava fechado e cedeu durante o evento. As seções 9.10 a 9.16 tratam do papel que isso teve na dinâmica do colapso.

9.5 A solicitação que a ancoragem precisava resistir

Adotando o cenário de abertura dominante, que é o que a geometria de um hangar torna provável e que a proposta de perícia já havia sinalizado, a solicitação de arrancamento é a seguinte. O eixo de reação está no Desenho 3 do Anexo B: cada linha de apoio recebe a metade da cobertura, da cumeeira ao beiral, e cada apoio de tesoura recebe dessa meia água a faixa correspondente ao espaçamento das tesouras.

Grandeza	Valor	Como se obtém
Projeção de cada água	12,50 m	planta de cobertura
Espaçamento das tesouras To2 a To4	6,00 m	prancha 01/41, eixos B-C e C-D; coincide com a malha de pré-moldado; a prancha 03/41 cota 5.990 mm nos mesmos vãos
Área tributária por apoio	75,00 m²	12,50 m × 6,00 m
Arrancamento líquido de cálculo sobre a cobertura	2,447 kN/m ²	cenário preliminar de abertura dominante
Arrancamento por metro de linha de apoio	30,59 kN/m	2,447 kN/m ² × 12,50 m
Força de arrancamento de cálculo por apoio de tesoura	183,54 kN	2,447 kN/m ² × 75,00 m ²

A combinação última seguiu a ABNT NBR 8681:2025, pelo item das combinações últimas normais, com o vento como ação variável principal e coeficiente 1,4, e o peso próprio como ação permanente **favorável**, com coeficiente 0,9.

Tração média por elemento de ancoragem (valor de referência, não demanda individual de projeto):

Elementos de ancoragem por apoio	Abertura dominante	Edificação estanque
2	91,77 kN	42,64 kN
4	45,88 kN	21,32 kN
6, que é o número projetado (prancha 01/41)	30,59 kN	14,21 kN

A divisão da força total pelo número de elementos **não representa a solicitação de projeto por chumbador**. Ela não considera a rigidez da chapa de base, a excentricidade da reação em relação ao grupo, o efeito de alavanca, a distribuição não uniforme entre elementos, a interação entre tração e cisalhamento, o efeito de grupo, as distâncias de borda e o comprimento de embutimento. Cada um desses fatores eleva a solicitação real de alguns elementos acima da média, e é por isso que o critério 3 da intervenção T-03 exige do executivo o modelo da chapa e do grupo, e não esta tabela.

Com essa reserva, o caso projetado dá uma ordem de grandeza útil. Seis chumbadores de meia polegada têm 126,7 mm² de seção nominal cada um. A tração média de 30,59 kN do cenário de abertura dominante representa uma tensão média de **241,5 MPa** nessa seção, e a de 14,21 kN do cenário estanque, **112,2 MPa**, antes de qualquer majoração por alavanca ou excentricidade e sem desconto de rosca. A classe do aço dos chumbadores não consta das pranchas, de modo que o laudo não compara essa tensão com um limite de escoamento. O que registra é que, no cenário de abertura dominante, a tração média já é da ordem de grandeza das tensões em que aços de baixo carbono costumam escoar, e

que a ruptura observada não se deu no aço dos chumbadores, e sim na parede fina dos perfis e no concreto em torno das barras, que é o que a geometria da seção 8.4 faz esperar.

Duas observações sobre o alcance destes números.

O **arrancamento por metro de linha de apoio, de 30,59 kN/m, não depende do espaçamento das tesouras** e é, por isso, o valor mais robusto desta seção. A força por apoio depende do espaçamento, e o espaçamento aqui adotado, de 6,00 m, é o das pranchas 01/41 e 03/41 para as tesouras To2, To3 e To4; para a tesoura de oitão To1 e para a viga VFO1, cujos vãos adjacentes são de 4,365 m e 6,085 m, a força por apoio é proporcionalmente menor ou maior.

Os coeficientes de pressão líquida de 1,60 e 0,80 são **cenário preliminar adotado pelo subscritor**. A ordem de grandeza da solicitação não se altera com o refinamento; o dimensionamento final exige os valores tabelados por zona.

9.6 Hipóteses alternativas testadas

Hipótese	O que se esperaria observar se fosse a causa	O que o caso mostra	Resultado
H1. Vento acima do previsto em norma, contra o qual não havia o que fazer	rajada no local superior a 157,3 km/h; danos compatíveis com tornado; estruturas vizinhas de concreto também comprometidas; registro meteorológico de evento extremo no sítio	nenhum registro de vento no aeródromo; 48,6 km/h na estação de Toledo; rajadas acima de 100 km/h medidas em outras cidades; Simepar afastou tornado após análise de radar e satélite; a envoltória de concreto do próprio hangar permaneceu íntegra; a rajada local não foi medida	Não demonstrada: nenhum registro sustenta rajada local acima de 157,3 km/h, e a rajada local não foi medida
H2. Subdimensionamento das barras da tesoura	flambagem de diagonais, deformação plástica distribuída, banzos empenados, ruptura afastada dos nós	barras remanescentes retas, pintura íntegra fora dos nós, ruptura concentrada nas ligações de extremidade	Afastada
H3. Ruptura por tração localizada nas ligações de apoio, com fendilhamento do concreto em torno das barras de ancoragem	ruptura nas ligações de apoio por tração; arruelas em furos vazios; parafusos e porcas soltos; chapa fina rasgada em torno dos furos; fendilhamento do concreto nas cabeças de pilar	exatamente isso, documentado nas Fotografias 16 a 28; geometria projetada com chumbadores a 30 a 40 mm da face do pilar	Mantida como modo de ruína documentado
H4. Falha de fixação das telhas às terças	telhas rasgadas junto aos furos de fixador, fixadores permanecendo nas terças, estrutura metálica permanecendo no lugar	o telhamento desapareceu e a estrutura metálica foi deslocada; a perda não se limitou à interface telha-terça	Afastada como causa única; a sequência revisada da seção 9.16 situa o início na fachada do portão
H5. Vício de material, aço fora de especificação	ruptura frágil com superfície cristalina; fratura sem deformação prévia; eventual ruptura simultânea em pontos não solicitados	as rupturas apresentam estiramento e virada de borda, compatíveis com ruptura dúctil por tração localizada; não há indício visual de fragilidade	Afastada, com a ressalva de que nenhum ensaio metalográfico foi contratado
H6. Pressurização interna por abertura dominante	sobreprensão interna somando-se à sucção; agravamento da solicitação de arrancamento; ruína iniciada pelo portão	segundo a contratante, o portão estava fechado e cedeu durante o evento; as folhas caíram para dentro e a cobertura foi lançada para trás, o que põe o portão a barlavento (seção 9.10); a memória de cálculo mostra que, sem a abertura da fachada, a ancoragem projetada não romperia nas rajadas estimadas (MC-6)	Mantida como etapa da sequência mais provável (seção 9.16)

Hipótese	O que se esperaria observar se fosse a causa	O que o caso mostra	Resultado
H7. Degradação por envelhecimento, corrosão acumulada ou falta de manutenção	perda de seção generalizada; ruptura em pontos de corrosão avançada; histórico de manutenção ausente em edificação antiga	a edificação tem menos de um ano de uso, segundo os carimbos de projeto, o alvará e o cronograma, o que torna pouco compatível a degradação crônica; há oxidação visível nas superfícies de fratura, cuja idade e contribuição não podem ser determinadas por inspeção visual; a verificação de perda de seção depende do exame das peças preservadas	Pouco compatível com a idade da edificação; perda de seção não verificada
H8. Impacto de objeto arremessado ou de peça de edificação vizinha	dano localizado com marca de impacto; deformação por esmagamento num ponto; ligações remanescentes íntegras nos demais apoios	ruptura distribuída ao longo de toda a linha de fixação do topo do fechamento; ausência de marca de impacto concentrada; o padrão é de solicitação distribuída	Afastada
H9. Recalque de fundação ou deficiência do solo	desaprumo de pilares, fissuração inclinada em placas, trincas em piso com padrão de recalque diferencial	subsolo em argila siltosa rija a dura, sem lençol freático até 15,45 m; estacas de 60 cm; envoltória sem desaprumo perceptível; fissuração observada é vertical na cabeça do pilar, padrão de fendilhamento e não de recalque	Afastada
H10. Ruína iniciada pela reação do portão fechado, transmitida à estrutura da cobertura pelo travamento do topo	reação horizontal do topo do portão chegando à cobertura sem projeto; contraventamento e ancoragem da fachada no limite; ruptura mais severa no apoio junto ao portão; folhas íntegras, caídas para dentro; chapa das folhas rasgada no topo por arrasto	exatamente isso: Fotografias 70 a 88; relato do travamento fixado à tesoura; memória de cálculo MC-2 a MC-4	Mantida como sequência mais provável (seção 9.12)
H11. Cobertura soerguida primeiro por sucção, com o portão cedendo em consequência	ruptura dos apoios por tração antes de qualquer abertura; telhamento arrancado primeiro; portão íntegro arrastado pela cobertura	a ancoragem projetada exigiria rajadas de 148 a 167 km/h para romper só por sucção (MC-6); a hipótese só fecha se a ligação executada tivesse capacidade inferior a cerca de um terço da projetada, o que as chapas do Bloco M não excluem	Não excluída; menos provável; leva à mesma causa (seção 9.12)
H12. Ruptura do primeiro pilar junto ao portão como causa independente	fuste rompido, desaprumado ou fissurado por flexão; ruína do pilar sem relação com o apoio da cobertura	o fuste está de pé; a ruptura está na cabeça, na região dos chumbadores, com o padrão de ruptura de borda e de fendilhamento	Afastada como causa independente; mantida como primeiro elo rompido (seção 9.13)

9.7 Nexo causal

Esta seção é mantida como na emissão anterior, para rastreabilidade. A seção 9.16 revisa a sequência à luz do acervo complementar, e prevalece onde as duas divergirem.

Estabelecido o quadro, a sequência provável da ruína é a seguinte. Ela é hipótese causal construída a partir do padrão final de danos; a progressão do evento não foi registrada, e a seção 10.5 lista o que poderia testá-la.

1. a frente fria atravessa o oeste do Paraná e produz rajadas descendentes severas sobre o aeródromo, no fim da noite de 29 de setembro;

2. a sucção externa sobre a cobertura de baixa declividade cresce rapidamente, e os coeficientes de pressão local na quina e no beiral, que são os mais severos, atuam primeiro sobre os arremates de borda;
3. os arremates e rufos de borda cedem, como documentam as Fotografias 07, 08, 12 e 13, expondo a extremidade do telhamento ao escoamento;
4. com a borda exposta, as telhas da primeira fiada são levantadas e partem; a perda se propaga, porque cada telha removida expõe a seguinte;
5. **se** o portão não constituía fechamento no momento do evento, por ter sido aberto, por ter cedido ou por qualquer outra razão, o interior pressuriza e a sobrepressão interna soma-se à sucção externa, elevando a solicitação de arrancamento a 215,2 % do valor correspondente à edificação estanque; o laudo não estabelece qual condição existia;
6. a solicitação de arrancamento percorre o caminho das forças e chega às ligações de apoio das tesouras, que são o elo mais fraco da cadeia;
7. as ligações se rompem por tração: a chapa fina dos perfis rasga em torno dos furos e as barras de ancoragem fendilham o concreto das cabeças de pilar, destacando o cone de arrancamento;
8. desancorada, a cobertura é deslocada como corpo, arrastando terças e contraventamentos, e se arria sobre o fechamento e para dentro do hangar;
9. a envoltória de concreto permanece de pé após a perda da cobertura, ainda que privada do travamento de topo, e essa perda reduz a sua estabilidade lateral a partir de então, como descreve a seção 8.9.

O nexó causal é, portanto, o seguinte: a ruína da cobertura decorreu de **ruptura por tração localizada nas ligações de apoio das tesouras, na interface entre a estrutura metálica e a estrutura de concreto pré-moldado**, com fendilhamento do concreto em torno das barras de ancoragem, sob um vento severo para o qual **nenhum registro indica valor acima do vento que a ABNT NBR 6123:2023 obriga a considerar para Toledo**, e com a cobertura dependendo inteiramente dessa ancoragem acima de rajadas modestas. A participação do portão é cenário condicional, não estabelecido, e a conclusão não depende dele.

9.8 Atribuição técnica da causa à etapa de origem

A causa é descrita tecnicamente, sem juízo jurídico sobre responsabilidade.

A interface que falhou é a **fronteira entre dois contratos**: a estrutura de concreto pré-moldado e a estrutura metálica. As pranchas lidas nesta emissão mostram onde essa fronteira foi desenhada: a chapa de ancoragem CH 01 e os seus seis chumbadores estão especificados na prancha 01/41 do projeto de estrutura metálica, embutidos no topo de um pilar que é peça do projeto de pré-moldado, e as pranchas do pré-moldado fornecidas não mostram esse inserto nem a armadura em torno dele. É precisamente nessa fronteira que a ancoragem da cobertura costuma ficar sem dono, cada projetista supondo que o outro a resolveu.

Com os elementos disponíveis, a atribuição possível é esta:

Etapa	Situação	Base
Concepção e compatibilização da interface	Hipótese de origem, não demonstrada. O acervo não permite distinguir se a insuficiência decorreu de concepção, compatibilização, fabricação, montagem ou desvio entre projeto e executado. A geometria projetada do apoio, com chumbadores a 30 a 40 mm da face do pilar e sem armadura de fretagem desenhada em nenhuma prancha, é compatível com o modo de ruína observado	pranchas 01/41 e 11/41 a 25/41; exame das peças rompidas, Bloco C; seções 8.4 e 9.9

Etapa	Situação	Base
Projeto de estrutura metálica	Parcialmente verificável. As 41 pranchas foram lidas e fixam geometria, perfis, terças, contraventamento, telhas e o apoio CH 01; não detalham a ligação da tesoura à chapa, não declaram parâmetros de vento e não vieram com memória de cálculo	limitação 5.3(a) e 5.3(b); seção 9.9
Projeto de pré-moldado	Parcialmente verificável. As notas gerais, as seções de pilares e vigas e a fundação são legíveis e consistentes; o inserto de ancoragem da cobertura e a armadura de fretagem das cabeças de pilar não constam das pranchas fornecidas. O projeto, da 77 Pilares (obra 281, revisão RVOO de 14/11/2025), não prevê furo nem tubo nas cabeças de pilar, embora o projeto de calhas loque condutores de 150 mm junto aos pilares de apoio	pranchas de montagem da obra 281
Fabricação e montagem	Não verificável sem a prova material. O confronto quantitativo entre o executado e o projetado depende da medição e da catalogação dos elementos de ligação	limitação 5.3(d); providência 10.5(e)
Uso e manutenção	Pouco compatível. Edificação com menos de um ano de uso, sem histórico relatado de intervenção na cobertura; operação do portão e eventuais alterações não verificadas	seções 2 e 4
Portão: projeto, fabricação e instalação	Verificável em parte. As folhas estão íntegras; cederam os vínculos: guias inferiores e travamento do topo. A estrutura do portão não consta das 41 pranchas, e não há memória de cálculo do portão ao vento nem declaração das reações que ele transmite à estrutura	seções 8.7 e 9.12; Fotografias 70 a 83
Travamento do topo do portão fixado à tesoura	Origem não documentada. Segundo a gerência de engenharia da contratante, a peça foi colocada para impedir a queda das folhas sobre a aeronave. Quem a especificou, quem a instalou, quando, e se o efeito dela sobre a cobertura foi verificado são informações necessárias para a atribuição	relato de 15/10/2026; providência 10.5(l)

Quem consta como responsável técnico nos projetos. As 41 pranchas do projeto de estrutura metálica trazem, no carimbo, a empresa Modular Estruturas, o engenheiro civil Paulo Daradda, CREA-PR 122.797/D, como responsável técnico, e Mara Cristina Alves como projetista e responsável pela produção. Segundo a contratante, a estrutura pré-moldada foi fabricada e montada pela empresa 77 Pilares, a estrutura metálica foi fabricada e montada pela Modular Estruturas, e o portão foi fabricado e instalado pela Metalúrgica Real. As ARTs de cada etapa não integram o acervo, e sem elas não é possível afirmar quem assumiu a responsabilidade técnica pela verificação ao vento, pela compatibilização da ancoragem da cobertura e pela transmissão das reações do portão à estrutura.

O registro é feito aqui porque é fato do acervo e porque a contratante precisa dele para conduzir a discussão com as empresas. Não se extrai dele, neste laudo, nenhuma conclusão sobre responsabilidade.

Esta atribuição é condicional e assim deve ser lida. Ela se completa quando a contratante fornecer as memórias de cálculo, as ARTs e os contratos, e quando as peças rompidas forem medidas e catalogadas. A seção 10.5 lista essas providências. O laudo será complementado sem ônus, nos termos da proposta PT-2026-1008-PD, quando esses elementos chegarem.

9.9 O apoio projetado e o apoio encontrado

A leitura das 41 pranchas permite, nesta emissão, confrontar o que o projeto previa com o que a vistoria encontrou. A tabela abaixo faz esse confronto linha a linha, com a prancha de origem e a fotografia correspondente. Onde a leitura da prancha não é conclusiva, ou onde a fotografia não permite quantificar, a tabela diz isso.

Elemento	Projetado (prancha)	Encontrado (fotografia)	Confronto
Chapa de ancoragem no pilar	chapa CH 01, 230 mm × 250 mm, espessura 1/2", embutida no topo do pilar pré-moldado 25×50 (prancha 01/41, detalhe 1:10)	chapa metálica embutida no topo do pilar, com marca retangular de apoio, arruela em furo vazio e fragmento rasgado (Fotografias 19, 20, 21 e 22)	compatível em tipo: chapa embutida com furos. Dimensões não conferidas: não se medem em fotografia
Chumbadores da chapa	6 por chapa, Ø 1/2", C = 300 mm, 187 mm retos sob a chapa e dobra de 100 mm; 30 mm das bordas da chapa (prancha 01/41)	barras roscadas emergindo de concreto fraturado (Fotografia 24); arruelas em furos vazios (Fotografias 19 e 20)	tipo compatível (barra rosca embutida). Quantidade, diâmetro e embutimento executados não determinados: exigem a catalogação das peças, providência 10.5(e)
Posições de ancoragem	13 posições locadas na planta: 5 no eixo A e 2 em cada eixo B, C, D e E; rótulo do detalhe diz "7 unidades" (prancha 01/41)	apoios examinados nos eixos extremos, com os vestígios do Bloco C	a divergência interna da prancha (7 contra 13) é do projeto; o número de apoios executados não foi contado em campo
Ligação da tesoura à chapa	não detalhada em nenhuma das 41 pranchas: não há chapa de base da tesoura, solda nem parafusos especificados para o apoio	parafuso com arruela e porca soltos (Fotografia 18); arruela em furo vazio na chapa (Fotografia 19); perfil de parede fina rasgado em torno do furo (Fotografias 16 e 17); cantoneira de ligação deformada (Fotografias 20 e 23)	o executado indica ligação parafusada , com o parafuso atravessando a parede fina do perfil; o projeto não diz como a ligação deveria ser. A ruptura se deu nesse elemento não detalhado
Base da tesoura	altura de 500 mm na extremidade, banzos em 2 perfis UE 150×60×20 de 2,25 mm (pranchas 18/41 e 20/41)	extremidade de tesoura rasgada ainda alojada no nicho da placa (Fotografia 16)	compatível em geometria geral; seção dos perfis não conferida em campo
Armadura da cabeça do pilar em torno dos chumbadores	não consta de nenhuma prancha fornecida, nem do pré-moldado nem da metálica	fendilhamento vertical, armadura longitudinal e estribo expostos, cobrimento destacado em cunha (Fotografias 24 a 28)	o padrão observado é o de ancoragem insuficientemente confinada; a armadura executada só se determina por pacométrie, providência 10.5(d)
Placas de fechamento	36 placas PL01 a PL36 (projeto de pré-moldado); chumbadores de fachada PL37 a PL74 (prancha 02/41)	placas íntegras no corpo, com a linha de fixação arrancada na borda superior (Fotografias 10 a 15 e 30 a 32)	compatível; dano concentrado na interface com a cobertura
Insertos e fixação do topo	fixadores da marca Hardbolt, M10×75 no topo dos pilares, cota +9,00 (prancha 11/41); calha e rufo ao longo das bordas (prancha 34/41)	linha de pontos de fixação arrancados em passo regular (Fotografias 30 a 32); inserto embutido no topo de placa (Fotografia 46)	compatível em tipo; passo e diâmetro não medidos
Contraventamento	ferro mecânico 5/16", Co1 e Co2, em X nos vãos extremos A-B e D-E, com barra rosca 5/16" (pranchas 03/41 e 32/41); correntes rígidas em cantoneira L 1.3/4"×1/8"	barra de contraventamento dobrada em V, pendurada (Fotografia 03)	compatível com barra esbelta solicitada transversalmente após perder uma extremidade
Telhas e fixadores	TP-40 simples 0,50 mm, 48 peças de 11.900 mm, costura a cada 50 cm, fixação nas cristas (pranchas 35/41 e 36/41)	nenhuma telha localizada no sítio	não confrontável; providência 10.5(g)
Parâmetros de vento do projeto	não declarados: campo de notas vazio em todas as pranchas; sem memória de cálculo	—	não confrontável; providência 10.5(b)

O que a tabela mostra, em uma frase: **o projeto especificou a chapa e os chumbadores embutidos no pilar e deixou sem detalhe a ligação da tesoura a essa chapa, e foi nessa ligação, e no concreto em torno dos chumbadores, que a ruptura ocorreu.** Se o executado seguiu o projeto nos elementos que ele especifica, e se a ligação não detalhada foi resolvida em obra de modo adequado, são perguntas que só a catalogação e a medição das peças respondem.

9.10 O que esta emissão acrescenta ao exame da dinâmica do colapso

O responsável técnico formulou três perguntas depois de examinar o acervo complementar: a ruína teria começado pelo portão? A ruptura do primeiro pilar junto ao portão teria influído? O arrancamento da estrutura se deu por deficiência da fixação da base da tesoura no topo do pilar? A gerência de engenharia da contratante acrescentou duas leituras, que o laudo examina com o mesmo rigor. Os dados novos, cada um com a sua origem e o seu grau de certeza, são os seguintes.

Dado	Origem	Situação
O portão estava fechado na noite do evento	informação da contratante, transmitida ao subscritor em 15/10/2026	informado
Na manhã de 30/09 as folhas do portão estavam dentro do hangar; uma delas sobre a asa de uma aeronave	informação da contratante; imagens de terceiros (Fotografias 70 e 71)	informado e confirmado por imagem
A estrutura da cobertura foi lançada para trás do hangar, do lado oposto ao portão	informação da contratante; vídeos do desmonte (Fotografias 99 a 105)	informado e confirmado por imagem
O topo do portão estava travado por peça em cantoneira fixada à tesoura da cobertura, colocada para impedir a queda das folhas sobre a aeronave	relato da gerência de engenharia da contratante (Fernando, gerente de engenharia, transmitindo observação de Fábio, da mesma equipe), 15/10/2026	relatado; peça não examinada
As folhas do portão estão íntegras ("o portão está intacto")	relato da gerência de engenharia; Fotografias 70, 71 e 76	confirmado por imagem
Em evento semelhante no Centro de Distribuição do grupo, câmeras teriam registrado a elevação do telhado antes da ruptura de uma porta	relato da gerência de engenharia	relatado; registro não examinado
A cabeça do primeiro pilar junto ao portão sofreu a ruptura mais severa do acervo	vistoria; identificação feita pelo subscritor; Fotografias 84 a 87	constatado
Chapas remanescentes no topo dos pilares com furos de contorno alongado, fixadores ausentes e borda dobrada: a das Fotografias 96 e 97 com quatro furos e um fixador; a da 98 com dois furos e dois fixadores	Fotografias 96 a 98	constatado; função de cada peça a confirmar
Rajadas de 50 a 95 km/h no aeródromo	resumo da análise dos vídeos das câmeras da pista (seção 3.6)	estimativa visual, não medição
As soldas da base das tesouras estavam íntegras; não houve dano nas soldas	informação do responsável pelo desmonte da estrutura, transmitida ao subscritor em 15/10/2026	relatado; peças não examinadas
O vão do portão, entre os pilares P19 e P20, tem 24,09 m livres, e esses pilares têm seção 25 × 50 cm	projeto de pré-moldado da 77 Pilares, obra 281, prancha 01/03, alocação de pilares	documental
Os condutores pluviais APO1 a APO8, de 150 mm, estão locados junto aos pilares de apoio das tesouras, inclusive nos dois pilares do vão do portão	projeto de calhas e condutores verticais da Modular Estruturas, emissão inicial de 04/02/2026	documental

Dois desses dados fixam a direção do vento em relação à fachada do portão, e não dependem um do outro. As folhas caíram **para dentro**: foram empurradas pela pressão do vento na face externa, e não puxadas por sucção. A cobertura foi lançada **para trás**, no sentido do escoamento. O portão estava,

portanto, na **face de barlavento**, que é a face em que a pressão do vento é positiva e em que uma abertura pressuriza o interior.

As duas leituras da gerência de engenharia são estas. A primeira: a pressão do vento sobre o portão fechado teria empurrado, pelo travamento do topo, a estrutura metálica, que "talvez não suportou"; a estrutura teria sido empurrada, levantado um pouco, "embocou o vento e foi"; o portão seria "o menos vilão". A segunda: o telhado teria subido primeiro, por sucção, e o portão "só tomou", como teria ocorrido no Centro de Distribuição. A seção 9.11 dá a cada uma a ordem de grandeza que as forças permitem; a seção 9.12 as confronta.

9.11 Memória de cálculo da dinâmica do colapso

A memória abaixo é **verificação expedita, de ordem de grandeza**, nos termos da limitação 5.3(l). Ela não substitui o projeto executivo e não pretende determinar a capacidade das peças executadas, que só a medição das peças preservadas permite determinar. O que ela faz é responder, com números reproduzíveis, a uma pergunta precisa: nas rajadas que os registros e as estimativas permitem admitir, quais elos da cadeia atingem a sua capacidade, e em que ordem. Os valores são característicos, sem coeficientes de ponderação, e as capacidades são nominais, para que a comparação seja homogênea. O registro de cálculo do caso reproduz cada número.

Premissas.

Grandeza	Valor adotado	Origem
Pressão dinâmica	$q = 0,613 \cdot V^2$, q em N/m^2 e V em m/s	ABNT NBR 6123:2023
Coeficiente de pressão externa na fachada de barlavento	+0,7	Tabela 4 da edição de 1988, paredes, $h/b \leq 1/2$, $1 \leq a/b \leq 3/2$; o valor da edição de 2023 deve ser conferido no executivo
Coeficiente de pressão interna, edificação estanque, antes de qualquer abertura	-0,2	item 6.2.6 da edição de 1988, o valor mais nocivo para a parede
Coeficiente líquido sobre o portão fechado	$0,9 = 0,7 - (-0,2)$	composição dos dois anteriores
Coeficientes líquidos sobre a cobertura	0,8 (estanque) e 1,6 (abertura dominante a barlavento)	cenários preliminares da seção 9.4; a abertura dominante a barlavento leva o coeficiente interno a até +0,8 (item 6.2.5, alínea c, da edição de 1988)
Peso próprio da cobertura	0,192 kN/m^2	seção 9.3
Altura do portão (H)	6,0 m, com sensibilidade para 5,0 e 7,0 m	[A CONFIRMAR] no projeto do portão; inferior à cota de apoio +7,00 m
Largura do vão do portão (L)	24,0 m	vão livre de 24,09 m entre os pilares P19 e P20, prancha 01/03 do projeto de pré-moldado; a largura efetiva das folhas deve ser confirmada no projeto do portão
Repartição da carga do portão	metade na guia inferior, metade no travamento do topo	folha apoiada no topo e na base
Velocidade de projeto na altura do portão	153,7 km/h ($S_2 = 0,9490$ a 7 m); $q = 1,118$ kN/m^2	mesma cadeia da seção 9.1, com $z = 7,00$ m
Áreas tributárias	apoio da VF01: $6,085/2 \times 12,50 = 38,0$ m^2 ; apoio da To4: 75,0 m^2	pranchas 01/41 e 03/41; seção 9.5
Contraventamento da cobertura	barra redonda 5/16": $\varnothing 7,94$ mm; área bruta 49,5 mm^2 ; área resistente na rosca 33,8 mm^2 ; aço admitido com $f_y = 250$ MPa e $f_u = 400$ MPa	pranchas 03/41 e 32/41; classe do aço não declarada

Grandeza	Valor adotado	Origem
Ancoragem projetada	6 chumbadores Ø 1/2", 187 mm retos e gancho de 100 mm, a 35 mm da face (média de 30 a 40 mm), pilar 25 × 50 cm, concreto fck 40 MPa	prancha 01/41; notas do projeto de pré-moldado; seção 8.4
Resistência de ancoragens	expressões do capítulo 17 da norma ACI 318-19, valores nominais, concreto fissurado salvo indicação	referência técnica estrangeira, na falta de norma brasileira específica (5.3(l))
Chapa das folhas do portão	espessura 0,50 mm; fu = 360 MPa; parafuso a cada 0,245 m; arruela de 14 mm; faixa de 3,0 m apoiada na travessa superior	valores usuais para chapa trapezoidal e parafuso autobrocante; [A CONFIRMAR] no projeto do portão

MC-1 — Pressão dinâmica nas rajadas registradas, estimadas e de projeto

Registro	Rajada (km/h)	q (kN/m²)	Fração da pressão de projeto
Estação do Simepar em Toledo	48,6	0,112	9,6 %
Estimativa por vídeo, limite inferior da câmera "Pista Esquerda"	80,0	0,303	25,9 %
Estimativa por vídeo, limite superior	95,0	0,427	36,5 %
Estação do Simepar em Umuarama, outra cidade	101,5	0,487	41,7 %
Vento de projeto a 7 m	153,7	1,118	95,6 %
Vento de projeto a 9 m (seção 9.1)	157,3	1,170	100,0 %

MC-2 — Força do vento sobre o portão fechado e reação no travamento do topo

Pressão líquida sobre o portão: $p = 0,9 \cdot q$. Carga por metro de vão que chega ao topo: $w = p \cdot H / 2$. Força total no topo: $W = w \cdot L$. Reação em cada extremidade da estrutura da fachada, admitida a força distribuída ao longo do vão: $R = W / 2$.

Rajada (km/h)	p (kN/m²)	w no topo (kN/m)	W total no topo (kN)	R por extremidade (kN)
80,0	0,272	0,82	19,6	9,8
95,0	0,384	1,15	27,7	13,8
101,5	0,439	1,32	31,6	15,8
153,7	1,006	3,02	72,4	36,2

Sensibilidade à altura do portão, na rajada de 95 km/h: para $H = 5,0$ m, $W = 23,1$ kN e $R = 11,5$ kN; para $H = 7,0$ m, $W = 32,3$ kN e $R = 16,1$ kN. Por metro de vão, que não depende da largura, a carga no topo é de 1,15 kN/m a 95 km/h e de 3,02 kN/m no vento de projeto.

Esta força entra na estrutura metálica da cobertura, horizontalmente, pelo travamento do topo fixado à tesoura. **Nenhuma das 41 pranchas a considera:** não há portão, não há travamento, não há reação de portão nos apoios nem no contraventamento.

MC-3 — O contraventamento da cobertura diante da reação do portão

Uma força horizontal perpendicular à fachada, distribuída ao longo da estrutura de fachada, só chega aos apoios laterais por flexão da treliça no plano fraco, o que ela não suporta, ou pelo contraventamento no plano da cobertura, que as pranchas especificam em barras redondas de 5/16" nos vãos extremos. A diagonal do primeiro painel recebe a reação R da extremidade. Em qualquer geometria, $N \geq R$, porque o seno do ângulo não passa de 1; com quatro painéis de 6,25 m ao longo dos 25,00 m e a profundidade

de 6,085 m do vão D-E, sen $\theta = 0,70$ e $N = R / 0,70$. Capacidade nominal da barra: o menor entre $49,5 \times 250 = 12,4 \text{ kN}$ e $33,8 \times 400 = 13,5 \text{ kN}$, isto é, **12,4 kN**.

Rajada (km/h)	R (kN)	N na diagonal (kN)	N / capacidade
80,0	9,8	9,8 a 14,1	0,79 a 1,14
95,0	13,8	13,8 a 19,8	1,12 a 1,60
101,5	15,8	15,8 a 22,6	1,28 a 1,83
153,7	36,2	36,2 a 51,9	2,93 a 4,20

Leitura: o contraventamento leve **atinge a sua capacidade nominal na faixa de 80 a 95 km/h** e, no vento de projeto, seria solicitado a 2,9 a 4,2 vezes a sua capacidade, **em qualquer geometria**. Barra de 5/16" é barra de estabilização; não foi concebida para levar aos apoios a reação de um portão de grande vão. Escoda a diagonal, a estrutura da fachada se desloca para dentro, que é o "empurrar a estrutura" descrito pela gerência de engenharia.

MC-4 — A ancoragem dos apoios da fachada empurrada em direção à borda

Se a reação horizontal chega aos apoios da estrutura da fachada e atua em direção à face mais próxima dos chumbadores, a 35 mm, o elo crítico é a ruptura de borda do concreto. Resistência básica por chumbador, pelo capítulo 17 da ACI 318-19, em unidades inglesas e convertida: o menor entre $7 \cdot (l_e/d_a)^{0,2} \cdot \sqrt{d_a} \cdot \sqrt{f_c} \cdot c^{1,5}$ e $9 \cdot \sqrt{f_c} \cdot c^{1,5}$, com $l_e = 8 \cdot d_a$, $d_a = 1/2"$, $f_c = 40 \text{ MPa}$ e $c = 35 \text{ mm}$, isto é, **4,1 kN**. Para o grupo de chumbadores, a área projetada da ruptura é de 2,4 a 2,8 vezes a de um chumbador isolado, e a resistência do grupo fica entre **9,8 e 11,6 kN** no concreto fissurado, ou entre 13,7 e 16,2 kN no não fissurado.

Rajada (km/h)	R por apoio (kN)	R / resistência (fissurado)	R / resistência (não fissurado)
80,0	9,8	0,85 a 1,00	0,61 a 0,72
95,0	13,8	1,20 a 1,41	0,86 a 1,01
101,5	15,8	1,37 a 1,61	0,98 a 1,15
153,7	36,2	3,14 a 3,70	2,24 a 2,64

Leitura: na faixa de 80 a 101,5 km/h, a reação do portão leva a ancoragem dos apoios da fachada **ao limite da ruptura de borda**, e no vento de projeto a excede de 2,2 a 3,7 vezes. A ruptura de borda destaca uma cunha de concreto do canto da cabeça do pilar, que é exatamente o que mostram as Fotografias 85 a 87, no primeiro pilar junto ao portão.

MC-5 — A tração de arrancamento nos apoios, antes e depois da abertura da fachada

Força característica de arrancamento por apoio: $F = (C_{net} \cdot q - 0,192) \cdot A$. A coluna da redistribuição admite, num modelo simplificado de terças contínuas, que a perda de um apoio vizinho eleva a área tributária do apoio seguinte de 6,00 para 9,00 m de faixa, isto é, em 50 %.

Rajada (km/h)	Apoio da VF01, estanque (kN)	Apoio da To4, estanque (kN)	Apoio da To4, abertura dominante (kN)	Idem, com redistribuição (kN)
80,0	1,9	3,8	21,9	32,9
95,0	5,7	11,2	36,8	55,2
101,5	7,5	14,8	44,1	66,1

Capacidade nominal da ancoragem projetada à tração, pelo capítulo 17 da ACI 318-19: aço dos seis chumbadores, 219,7 kN; arrancamento dos chumbadores com gancho, $6 \times 26,1 = 156,8 \text{ kN}$; **cone de concreto do grupo, na cabeça de 25 x 50 cm e a 35 mm da face, de 47,4 a 65,1 kN**, por duas

vias de cálculo: a área projetada limitada à seção do pilar, e o embutimento efetivo reduzido a 107 mm pela proximidade das bordas. Governa o concreto.

Dois resultados decorrem disso. O primeiro: **a ancoragem projetada não atendia à demanda normativa** mesmo antes de qualquer desvio de execução, porque 47,4 a 65,1 kN nominais correspondem a 56 % a 76 % da força de cálculo de 85,28 kN da edificação estanque e a 26 % a 35 % da de 183,54 kN com abertura dominante (seção 9.4). O segundo: **nas rajadas estimadas, só a sucção não rompe a ancoragem projetada**; com a fachada aberta e a redistribuição, sim. A abertura da fachada eleva a força característica de arrancamento a 95 km/h em 3,3 vezes, enquanto a seção 9.4 indica 2,15 vezes para as forças de cálculo: a diferença vem do peso próprio, que se desconta da sucção e pesa proporcionalmente mais quando o vento é menor.

MC-6 — A rajada necessária para romper a ancoragem projetada

Invertendo a expressão de MC-5: $q = (N / A + 0,192) / C_{net}$, e $V = \sqrt{(q / 0,613)}$.

Capacidade adotada (kN)	Só sucção, estanque (km/h)	Fachada aberta (km/h)	Fachada aberta e redistribuição (km/h)
47,4	147,5	104,3	90,0
65,1	167,4	118,4	100,9

Leitura: para romper a ancoragem projetada **só por sucção**, com a edificação estanque, seriam necessárias rajadas de **147,5 a 167,4 km/h**, da ordem do próprio vento de projeto e acima de qualquer registro. Com a fachada aberta e a redistribuição da carga do apoio perdido, bastam rajadas de **90,0 a 100,9 km/h**, que é o limite superior da faixa estimada pelos vídeos e a rajada medida em Umuarama. A cadeia descrita exige, portanto, rajadas na metade superior da faixa estimada, ou pouco acima dela; na metade inferior, nenhum elo atinge a sua capacidade. Por isso a abertura da fachada do portão é peça necessária da sequência, a menos que a ligação executada fosse ainda mais fraca do que a projetada.

MC-7 — A chapa do topo das folhas do portão

Carga por parafuso na linha superior: pressão líquida sobre a chapa × faixa de 3,0 m × espaçamento de 0,245 m. Resistência ao rasgamento da chapa sob a arruela, pela expressão usual para chapas finas, $1,5 \cdot t \cdot d_w \cdot f_u = 1,5 \times 0,50 \times 14 \times 360 = 3,78 \text{ kN}$ por parafuso.

Rajada (km/h)	p (kN/m²)	Carga na linha superior (kN/m)	Carga por parafuso (kN)	Resistência / carga
80,0	0,272	0,82	0,20	18,9
95,0	0,384	1,15	0,28	13,4
101,5	0,439	1,32	0,32	11,7
153,7	1,006	3,02	0,74	5,1

Leitura: a pressão do vento sobre a chapa solicita cada parafuso com **menos de um quinto** da força necessária para rasgá-la, mesmo no vento de projeto, e com menos de um décimo nas rajadas estimadas. O rasgamento contínuo ao longo da linha de parafusos (Fotografias 72 a 75) não vem da pressão estática do vento: vem de um deslocamento imposto entre a chapa e o quadro. A verificação é estática. A fadiga de chapa fina em torno de parafusos sob rajadas repetidas, documentada em ciclones de longa duração, exige número de ciclos que uma frente de rajada de dezenas de segundos dificilmente impõe; não foi quantificada.

9.12 A ruína começou pelo portão?

Começou, com a maior probabilidade, na fachada do portão, mas não pelas folhas do portão. Começou no vínculo entre o topo do portão fechado e a estrutura metálica da cobertura.

O raciocínio se apoia em cinco pontos, todos do acervo.

1. o vento incidiu pela fachada do portão, que, segundo a contratante, estava fechado: as folhas caíram para dentro e a cobertura foi lançada para trás (seção 9.10). O portão fechado era a maior superfície da face de barlavento;
2. uma folha de portão de correr leva metade da força do vento à guia inferior e metade ao topo. Segundo a gerência de engenharia da contratante, o topo estava travado por peça fixada à tesoura da cobertura. A metade superior da força, de 19,6 a 31,6 kN no conjunto nas rajadas de 80 a 101,5 km/h, e de 72,4 kN no vento de projeto, entrou horizontalmente na estrutura da cobertura (MC-2);
3. essa força não consta de nenhum projeto fornecido, e os elos que a recebem atingem a capacidade justamente na faixa de rajadas estimada: o contraventamento de 5/16" entre 80 e 95 km/h (MC-3) e a ancoragem dos apoios da fachada, por ruptura de borda, entre 80 e 101,5 km/h (MC-4). No vento de projeto, ambos seriam excedidos de 2,2 a 4,2 vezes;
4. a ruptura mais severa do acervo está na cabeça do primeiro pilar junto ao portão, com a cunha destacada do canto que a ruptura de borda produz (Fotografias 84 a 87, seção 9.13), e uma fissura nasce na fixação do batente do portão ao pré-moldado (Fotografia 88);
5. a ancoragem projetada, nas rajadas estimadas, só rompe por tração depois que a fachada de barlavento se abre e o interior pressuriza (MC-5 e MC-6). A abertura da fachada é, portanto, peça necessária da sequência, e o vínculo do portão é o que a explica sem exigir vento acima do registrado.

Essa leitura exige rajadas no hangar da ordem de 80 a 100 km/h, isto é, na metade superior da faixa estimada pelos vídeos ou pouco acima dela, e no intervalo das rajadas medidas na região. Com rajadas da ordem de 50 km/h, nenhum dos elos atinge a sua capacidade.

Isso é, em termos de cálculo, a primeira leitura da gerência de engenharia: o portão fechado, empurrado pelo vento, empurrou pelo travamento do topo a estrutura metálica, que se deslocou, levantou na fachada e deixou o vento entrar. A memória de cálculo dá a essa descrição uma ordem de grandeza compatível com os ventos estimados.

As folhas do portão não foram o elo que cedeu. Estão íntegras, com o quadro reto (Fotografias 70, 71 e 76). Não foram vencidas por flexão; saíram das guias, com os pinos dobrados, quando o topo perdeu o travamento, e foram empurradas para dentro, uma delas sobre a asa de uma aeronave. Nesse sentido, a observação de que "o menos vilão é o portão" está tecnicamente correta quanto às folhas. Não está quanto ao sistema: o portão fechado foi a superfície que coletou o vento da fachada, e o vínculo do seu topo foi o caminho por onde essa força chegou, sem projeto, à cobertura. A falha não está na folha; está na interface entre o portão e a estrutura.

A segunda leitura, de que o telhado subiu primeiro por sucção e o portão "só tomou", não está excluída. A memória de cálculo mostra o que ela exige: com a ancoragem projetada, só a sucção romperia os apoios com rajadas de 147,5 a 167,4 km/h (MC-6), acima de todos os registros. Para que a cobertura subisse primeiro nas rajadas estimadas, a ligação executada teria de ter capacidade inferior a cerca de 15 kN por apoio, isto é, a um terço ou menos do cone de concreto projetado. As chapas do Bloco M, com furos alongados e um fixador em quatro, não permitem descartar isso. Se foi assim, a causa é a mesma, deslocada um elo: a ligação executada da tesoura à chapa.

A literatura registra as duas sequências. Na pesquisa de Charlton (1997), sobre estruturas de aço de grande vão sob ventos extremos, a porta de grande vão foi o primeiro ponto de falha em mais da metade dos casos de dano; no mesmo trabalho, um hangar em Charleston, no furacão Hugo de 1989, perdeu a cobertura com as portas íntegras. O evento do Centro de Distribuição relatado pela gerência de engenharia pertence ao segundo padrão, em outra edificação, e o seu registro não foi examinado (providência 10.5(o)).

Conclusão desta seção. Sequência mais provável: início na fachada do portão, pela reação do portão fechado transmitida à cobertura pelo travamento do topo, com ruptura da ancoragem dos apoios da fachada e abertura da face de barlavento. Sequência possível, não excluída: início por sucção na cobertura, se a ligação executada tinha capacidade inferior a cerca de um terço da projetada. **Nas duas, a causa é a mesma: ligações e caminho de forças sem a capacidade que a norma exige, sob vento abaixo do normativo.** O que as distingue é a ordem dos elos, e não a responsabilidade técnica pela insuficiência.

9.13 A ruptura do primeiro pilar junto ao portão

Influiu, e de forma decisiva, mas não como causa independente. O pilar não ruiu por si: o fuste está de pé e aprumado. O que se rompeu foi a cabeça, na região dos chumbadores da cobertura, e por isso a ruptura é parte da falha da ancoragem, e não um evento à parte.

A cabeça desse pilar mostra os dois modos de ruptura que a memória de cálculo indica. A fenda vertical larga da Fotografia 84 é o fendilhamento por tração introduzida no topo. A cunha destacada do canto, com as barras expostas e curvadas para fora, das Fotografias 85 a 87, é a ruptura de borda que a reação horizontal do portão produz quando empurra a ancoragem em direção à face (MC-4). A junta aberta entre o pilar e a placa vizinha, na Fotografia 84, e a fissura que nasce na fixação do batente, na Fotografia 88, mostram que o pré-moldado junto ao portão recebeu esforço do portão também pelas laterais.

O papel desse pilar na sequência é, com a maior probabilidade, o de **primeiro elo rompido**. Rompida a sua cabeça, a estrutura da fachada perdeu o apoio naquele ponto e se deslocou; o topo do portão, travado nela, foi arrastado, e as folhas saíram das guias; a fachada de barlavento abriu-se. Com a abertura, o coeficiente de pressão interna passa de $-0,2$ para até $+0,8$, e a força de arrancamento no apoio da tesoura vizinha, a 95 km/h, vai de 11,2 para 36,8 kN, 3,3 vezes o valor (MC-5). Somada à parcela do apoio perdido, chega a 55,2 kN, acima do limite inferior da capacidade nominal estimada da ancoragem projetada (47,4 kN); o limite superior (65,1 kN) é alcançado com rajadas da ordem de 101 km/h (MC-6). A partir daí, cada apoio que cede sobrecarrega o seguinte: é a ruptura progressiva das ligações, da frente para o fundo.

Uma ressalva de verificação, que pesa contra a ancoragem. O projeto de calhas e condutores verticais da Modular Estruturas loca os condutores AP01 a AP08, de 150 mm de diâmetro, junto aos pilares de apoio das tesouras, e entre eles os dois pilares do vão do portão, P19 e P20, nos eixos E-1 e E-5. Em ao menos uma cabeça de pilar o condutor atravessa o concreto, com a fenda aberta ao longo dele (Fotografias 27 e 94). Um tubo de 150 mm numa seção de 25 cm deixa cerca de 5 cm de concreto de cada lado, justamente onde os chumbadores introduzem a tração. O projeto de pré-moldado (pranchas 01/03 e 02/03 da obra 281) não mostra furo nem tubo embutido em pilar algum. Se o primeiro pilar junto ao portão tem o condutor embutido, a sua cabeça resistia ainda menos do que o considerado em MC-4 e MC-5. A existência do tubo em cada cabeça se verifica na inspeção após o escoramento (providência 10.5(d)); a falta de compatibilização entre o projeto de calhas e o de pré-moldado já está documentada.

9.14 A fixação da base das tesouras no topo dos pilares

Tecnicamente, sim. A deficiência da concepção está demonstrada; a da execução tem indícios fortes, que a medição das peças deve confirmar. E o arrancamento da cobertura se deu por essa fixação.

Na concepção. (a) As 41 pranchas especificam a chapa embutida CH 01 e os seis chumbadores, mas não detalham como a tesoura se liga a essa chapa: nem chapa de base, nem solda, nem parafusos (seção 9.9). (b) Os chumbadores ficam a 30 a 40 mm da face do pilar, sem armadura de fretagem desenhada em nenhuma prancha, e a capacidade nominal do conjunto, governada pelo concreto, é de 47,4 a 65,1 kN, contra força de cálculo de 85,28 kN na edificação estanque e de 183,54 kN com abertura dominante (MC-5). (c) Em ao menos uma cabeça, o condutor pluvial está embutido justamente na região em que a

tração é introduzida (Fotografias 27 e 94), e nenhuma prancha verifica a cabeça com esse vazio. (d) Nenhum projeto forneceu considerou a reação do portão nos apoios da fachada (seção 9.12).

Na execução, os indícios. (e) Das chapas remanescentes fotografadas no topo dos pilares, a das Fotografias 96 e 97 tem quatro furos e um só fixador, e a da Fotografia 98, dois furos e dois fixadores, e não os seis chumbadores embutidos sob a chapa CH 01. A função de cada peça, se chapa de base da tesoura, chapa de apoio ou cantoneira de fixação, deve ser confirmada no exame. (f) Os furos têm contorno alongado. Se são furos oblongos de fabricação, a ABNT NBR 8800 exige arruela sobre furo alongado em chapa externa, e arruela de chapa ou barra contínua de pelo menos 8 mm sobre furo muito alongado (Tabela 13 da edição de 2008; a edição de 2024 reenumerou as tabelas de furos); se o alongamento resulta da própria ruptura, por ovalização, ele é marca de esforço concentrado nos fixadores. Em qualquer dos casos, não se vê arruela de chapa nas peças fotografadas. (g) Há arruelas em furos vazios e parafusos soltos sobre o concreto (Fotografias 18 a 22, 96 e 97). (h) As chapas dobraram para cima, o que indica espessura e rigidez insuficientes para a tração que receberam, com efeito de alavanca sobre os fixadores.

O que muda com a informação de que as soldas estavam íntegras. O responsável pelo desmonte informou que não houve dano nas soldas. O vídeo do desmonte é coerente com isso: os suportes de terça e os nós visíveis das tesouras estão inteiros, sem cordão rompido (Fotografias 99 e 102). Se a base da tesoura estava soldada à chapa da cabeça do pilar e a solda não rompeu, a separação ocorreu **abaixo da solda**: na fixação da chapa ao pilar, isto é, nos chumbadores, nos fixadores aparafusados e no concreto em volta deles. É exatamente o que mostram as peças que ficaram nos pilares: concreto fendilhado e destacado em torno das barras (Fotografias 24 a 28, 84 a 87 e 91 a 95), arruelas em furos vazios (Fotografias 19 e 20), parafuso solto sobre o concreto (Fotografia 18) e chapas com fixadores ausentes (Fotografias 96 a 98).

Por isso a hipótese de **insuficiência de solda na chapa da cabeça do pilar** não é sustentada pelo acervo: nenhuma imagem mostra cordão rompido, e o relato do desmonte a contraria. Uma solda pequena não foi o elo que cedeu. Já a hipótese de **pouca amarração da extremidade da tesoura ao pilar é sustentada** por três evidências independentes: o projeto não detalha a ligação; as peças remanescentes mostram poucos fixadores, furos alongados sem arruela de chapa e chapas que dobraram; e mesmo a ancoragem projetada, íntegra e bem executada, tinha capacidade nominal inferior à demanda normativa (MC-5). A ressalva é que parte das peças foi cortada a maçarico no desmonte, e só o exame das bordas distingue o corte da ruptura.

Desconformidades entre projeto e execução indicadas pelas imagens. (1) O projeto prevê, em cada apoio, a chapa CH 01 com seis chumbadores embutidos sob ela, sem fixador aparente; se as chapas fotografadas no topo dos pilares pertencem ao apoio das tesouras, os seus furos, porcas e arruelas indicam solução executada diferente da desenhada, ou complementada em obra, sem projeto fornecido (Fotografias 96 a 98). (2) Os furos têm contorno alongado e não se vê arruela de chapa, que a ABNT NBR 8800 exige sobre furo alongado de fabricação em chapa externa. (3) Há condutor pluvial, de 150 mm segundo o projeto de calhas, atravessando cabeça de pilar, sem previsão no projeto de pré-moldado (Fotografias 27 e 94). (4) Segundo a contratante, o topo do portão estava travado por peça fixada à tesoura, sem projeto fornecido (seção 9.12). **Não verificáveis pelas imagens:** espessura das chapas, comprimento e garganta das soldas, diâmetro, quantidade e embutimento dos chumbadores, e classe dos aços. Esses dados exigem a medição das peças guardadas (providência 10.5(e)).

Quanto à palavra **imperícia**: ela é qualificação jurídica de conduta, e escapa ao laudo. O que o laudo afirma, no plano técnico, é que a ligação, tal como projetada, **não constituía caminho de forças capaz de resistir ao arrancamento que a ABNT NBR 6123:2023 manda considerar**; que, tal como executada, pelos indícios descritos, presumivelmente resistia ainda menos, o que a medição das peças confirmará; que a ruptura ocorreu exatamente nela, e que ocorreu sob vento abaixo do de projeto. A distribuição dessa deficiência entre projeto, compatibilização, fabricação e montagem segue a seção 9.8 e depende das memórias de cálculo, das ARTs e da medição das peças.

9.15 O painel do topo do portão

A chapa trapezoidal das folhas do portão rasgou-se ao longo da linha de parafusos da travessa superior, com os parafusos ainda no lugar (Fotografias 72 a 75). A memória MC-7 mostra que a pressão do vento sobre a chapa, mesmo no vento de projeto, solicita cada parafuso com menos de um quinto da força que a rasga. **O rasgamento não decorre, portanto, da pressão estática do vento sobre o portão;** a fadiga sob rajadas repetidas não foi quantificada, mas exige mais ciclos do que uma frente de rajada de dezenas de segundos costuma impor. Ele exige um deslocamento imposto entre a chapa e o quadro: o topo da folha arrastado pela estrutura a que estava travado, ou o impacto na queda. A primeira hipótese é a que explica rasgamento contínuo ao longo de toda a linha de fixação; o impacto produziria dano localizado.

Teve impacto no início do colapso? **Não como gatilho, mas como marca e como acelerador.** Como marca, porque mostra que a estrutura a que o topo do portão estava travado se moveu enquanto as folhas ainda estavam no vão, o que é a ordem descrita na seção 9.12. Como acelerador, porque, aberto o topo das folhas, a fachada de barlavento ganha abertura junto à cobertura. Aberturas de 1 % a 5 % da área da parede de barlavento bastam para produzir flutuações extremas de pressão interna, segundo a avaliação do furacão Elena feita pelo Conselho Nacional de Pesquisa dos Estados Unidos (1991). A pressurização que se segue é a que, pela memória MC-5, triplica a força de arrancamento nos apoios.

9.16 Sequência mais provável da ruína, revisada

Esta sequência substitui a da seção 9.7. Ela continua sendo hipótese causal, porque a progressão no hangar não foi registrada; mas agora se apoia na direção do vento, na posição das folhas, no destino da cobertura, no relato do travamento e na memória de cálculo. O Desenho 7 do Anexo B a apresenta graficamente.

1. a linha de instabilidade atinge o aeródromo com rajadas descendentes; o vento incide pela fachada do portão, com rajadas que, para a sequência descrita, precisam estar na metade superior da faixa estimada de 50 a 95 km/h, ou pouco acima dela (seção 3.6 e MC-6);
2. o portão fechado recebe a pressão do vento; metade da força vai à guia inferior e metade ao travamento do topo, fixado à tesoura, segundo a contratante (MC-2);
3. a reação do topo entra horizontalmente na estrutura da cobertura, que não foi projetada para ela; o contraventamento leve escoa e a ancoragem dos apoios da fachada chega ao limite da ruptura de borda (MC-3 e MC-4);
4. a cabeça do primeiro pilar junto ao portão rompe-se, com cunha de borda e fendilhamento; a estrutura da fachada perde o apoio, desloca-se para dentro e levanta (seção 9.13);
5. o topo do portão é arrastado: a chapa das folhas rasga-se na linha de parafusos, as folhas saem das guias, com os pinos dobrados, e são empurradas para dentro, uma delas sobre a asa de uma aeronave (seção 9.15);
6. a fachada de barlavento abre-se; o vento entra e pressuriza o interior, e a força de arrancamento nos apoios da cobertura triplica (MC-5);
7. os apoios vizinhos recebem a parcela do apoio perdido e ultrapassam a capacidade da ancoragem; as ligações rompem-se em sequência, da frente para o fundo, pelo elo mais fraco de cada uma: fixadores da chapa da base da tesoura, chapa fina dos perfis, ou cone de concreto da cabeça do pilar (seções 8.3, 8.4 e 9.14);
8. desancorada, a cobertura é soerguida em bloco, com trechos de telha ainda presos, e lançada para trás, por cima do fechamento, até o terreno; parte da estrutura fica arriada sobre a parede do fundo e o bloco de escritórios (Fotografias 01, 02, 71 e 99 a 105);
9. a envoltória de concreto permanece de pé, sem travamento de topo (seção 8.9).

A sequência alternativa, de soerguimento da cobertura por sucção antes da saída do portão, troca a ordem dos passos 2 a 6 e exige ligação executada com capacidade inferior a cerca de um terço da projetada (seção 9.12). Os passos 7 a 9 são comuns às duas.

9.17 Casos semelhantes no Brasil e no exterior

A contratante pediu que o laudo comparasse o caso com acidentes semelhantes e com perícias brasileiras e estrangeiras. Os casos abaixo foram selecionados porque documentam ao menos um elo da cadeia diagnosticada aqui: portão ou porta de grande vão cedendo, pressurização interna, ruptura das ligações da cobertura por tração, ou perda da cobertura sob vento abaixo do de projeto. As citações de fontes estrangeiras estão em tradução livre do subscritor; os títulos originais e os endereços estão na seção 17.

Caso	O que se documentou	O que tem em comum com Toledo
Furacão Elena, costa do Golfo, EUA, 1985 — avaliação do Conselho Nacional de Pesquisa dos EUA (1991)	falhas de portas de grande vão levaram a falhas progressivas de coberturas e paredes, comuns demais mesmo em construções novas; aberturas de 1 % a 5 % da parede de barlavento bastam para flutuações extremas de pressão interna; chumbadores de pilares romperam por tração; rompida a ligação entre a treliça e a parede, "a cobertura simplesmente se enrolou para trás"	porta → pressão interna → cobertura; ruptura por tração na ligação de apoio; cobertura lançada no sentido do vento
Estruturas de aço de grande vão sob ventos extremos — Charlton, Texas Tech University (1997)	em mais da metade dos casos de dano, a porta de grande vão foi o primeiro ponto de falha; as portas cederam por pressão positiva do vento incidindo perpendicularmente; um hangar em Charleston (furacão Hugo, 1989) perdeu a cobertura com as portas íntegras	as duas sequências examinadas na seção 9.12, documentadas no mesmo estudo
Temporada de furacões de 2004, EUA — relatório FEMA 490 (2005)	a falha de uma porta externa pode aumentar a pressão interna e levar a danos de parede, cobertura e estrutura; portas grandes falharam com mais frequência; edifícios metálicos projetados no mínimo normativo tiveram, com frequência, mau desempenho	mecanismo da pressurização; vulnerabilidade dos edifícios metálicos leves
Furacão Katrina, EUA, 2005 — relatório FEMA 548 (2006)	edifícios metálicos usados como armazéns e hangares; a maioria das falhas ocorreu nas ligações, entre telhas e terças ou entre terças e pórticos, e não nas peças	a ruptura nas ligações, e não nas barras (seção 8.3)
Furacão Fran, Wilmington, EUA, 1996 — Marshall, estudo para o comitê da escala Saffir-Simpson (2009)	um hangar do aeroporto de Wilmington sofreu dano estrutural significativo quando o portão grande cedeu, com rajada de 3 s de cerca de 138 km/h medida no aeroporto; no furacão Hugo, ancoragem deficiente entre tesouras e topo das paredes	portão de hangar como origem; ancoragem deficiente no topo das paredes
Furacão Harvey, Rockport, EUA, 2017 — Early e outros (2018)	num hangar destruído, as portas estiveram entre os primeiros componentes a ceder, o que aumentou muito a pressão interna; os autores advertem que o projetista deve ter cautela ao classificar um hangar como fechado	portão como primeiro elo; classificação do hangar quanto à permeabilidade
Ciclone Larry, Innisfail, Austrália, 2006 — relatório TR51 da Universidade James Cook	a falha de uma porta geralmente resultou em abertura dominante e pressão interna alta, e muitas edificações tiveram dano significativo mesmo com ventos estimados abaixo do vento de projeto da região	ruína abaixo do vento de projeto, iniciada pela porta
Furacão Michael, Panama City, EUA, 2018 — investigações forenses publicadas pela ASCE (2022)	23 edificações de grande volume e baixa altura falharam em condições abaixo das de projeto; o caminho de cargas pelo vão de extremidade da parede de barlavento foi crítico nos mecanismos de colapso	vão de extremidade da fachada de barlavento como origem, que aqui é a fachada do portão
Quatro hangares costeiros, EUA — estudo de caso da Haag Engineering (2022)	coberturas metálicas perdidas num furacão com ventos bem abaixo do que a norma exigia; fixadores ausentes nas zonas críticas de borda e resistência insuficiente ao arrancamento	perda sob vento abaixo do normativo, por fixação deficiente

Caso	O que se documentou	O que tem em comum com Toledo
Exigências de projeto de hangares, EUA — Departamento de Defesa, UFC 3-301-01 (2023); comentário da ASCE 7 (citado por Smith, 2002)	hangares calculados com as portas fechadas no vento máximo de projeto e como edificação parcialmente fechada, considerando aberta uma faixa de 25 mm em todo o perímetro das folhas; o comentário da ASCE 7 recomenda tratar hangares como parcialmente fechados	o portão precisa ser projetado para o vento e a pressão interna precisa considerá-lo (T-05 e T-07)
Centro de convivência, Irani/SC — TJSC, 3ª Câmara de Direito Público, 23/06/2026	arrancamento integral da cobertura por vento de 70 km/h, quando a estrutura deveria suportar 147 km/h; a prova pericial demonstrou deficiência do sistema de ancoragem e inobservância das ABNT NBR 6123 e NBR 8800; afastada a força maior	o caso brasileiro mais próximo: ancoragem deficiente, vento muito abaixo do normativo
Cobertura atingida por ciclone — TJSC, 3ª Câmara de Direito Civil, 30/06/2026	a prova técnica evidenciou que a cobertura, se executada conforme as normas, suportaria os ventos registrados; nova perícia recusada porque a estrutura já havia sido reparada	a importância de preservar a prova antes de remover (R-00.4)
Imóvel residencial — TJPR, 18ª Câmara Cível, 20/07/2026	ventos fracos a moderados na data; a perícia identificou falhas de fixação; ausência de projeto e de ART; perícia indireta, baseada em documentação técnica, aceita	ausência de memória de cálculo e de ART (seção 5.3)
Unidade da PRF em Bataguassu/MS — Santos e Trindade, UFMS (2023)	colapso da cobertura metálica com vento de 59,4 km/h, atribuído a deficiências nos pontos de ancoragem	ancoragem como ponto de partida, sob vento moderado
Rajadas descendentes no Sul do Brasil — Lima e Loredou-Souza, UFRGS (2015)	tempestades de pequena escala, com rajadas acima de 100 km/h; quando o projeto não as considera, destelhamentos e colapsos de edificações leves de grandes vãos	o fenômeno meteorológico de 29/09/2026 e a vulnerabilidade de coberturas leves de grande vão
Academia da Força Aérea, Pirassununga/SP, 2023 — noticiário	tempestade destruiu hangares e atingiu 11 aeronaves; a Força Aérea informou avaliação técnica em curso, sem laudo público localizado	hangares e aeronaves no mesmo tipo de evento; sem conclusão técnica publicada

O que esses casos têm em comum com Toledo. Convergem num mesmo mecanismo: a porta ou o portão de grande vão é o elo mais exposto da fachada; quando ele cede, ou quando a estrutura que o prende cede, o interior pressuriza e a cobertura é arrancada pelas ligações, e não pelas peças. Vários casos ocorreram com vento abaixo do de projeto, e as normas e exigências estrangeiras mais recentes passaram a mandar projetar hangares considerando essa possibilidade. No Brasil, ensaios em túnel de vento de um pavilhão industrial com cerca de 230 combinações de aberturas (Loredou-Souza, 1992) mostraram que o tipo e a posição das aberturas influem na pressão interna, além da sua área. Os precedentes brasileiros seguem a mesma lógica pericial deste laudo: comparam o vento registrado com o que a norma manda resistir e, encontrada a deficiência de ancoragem, não acolhem a tese de evento extraordinário.

O que esses casos não têm. Nenhuma das fontes localizadas trata de cabeça de pilar pré-moldado fendilhada pelo arrancamento de chumbadores, nem de travamento de portão fixado à tesoura da cobertura. Essa parte do mecanismo de Toledo se sustenta na análise do próprio caso, e não em caso idêntico publicado. As decisões judiciais foram consultadas em ementas publicadas em repositório de jurisprudência, e os números completos dos processos devem ser conferidos nos sistemas dos tribunais antes de qualquer uso processual.

10. Diretrizes de recuperação e de reconstrução

O subscritor é o responsável técnico que foi ao local, examinou as peças rompidas e concebeu a solução. O que segue são as diretrizes que ele adota para a reconstrução, e não uma lista de alternativas submetidas à apreciação de terceiros. O dimensionamento final, o detalhamento das ligações e a respectiva ART vêm no projeto executivo, que não está abrangido por este laudo.

10.1 Aproveitamento da estrutura remanescente

Esta é a resposta direta à segunda pergunta da contratante. A classificação é visual e qualitativa, pelas razões da limitação 5.3(d): não houve pacometria, esclerometria, extração de testemunhos nem ensaio de arrancamento. Por isso nenhum elemento é classificado como aproveitável sem condição. Todos os itens marcados como potencialmente aproveitáveis ficam condicionados a escoramento, inspeção detalhada após a remoção dos destroços, levantamento de prumo, mapeamento de fissuras, pacometria e aos ensaios que o projetista da recuperação definir.

Elemento	Classificação	Critério
Estacas e blocos de fundação	aproveitável	nenhum indício visual de recalque; subsolo rijo a duro; a solicitação de arrancamento não chegou à fundação, porque a cadeia se rompeu antes; confirmar na inspeção detalhada
Pilares pré-moldados, fuste	aproveitável	sem desaprumo perceptível nem fissuração de flexão ou de compressão visível no fuste; confirmar por levantamento de prumo e mapeamento de fissuras
Pilares pré-moldados, cabeças fendilhadas	aproveitável com reparo estrutural obrigatório	fendilhamento documentado no Bloco D; exige recuperação com armadura de fretagem antes de receber nova cobertura, conforme T-02, com extensão definida por pacometria
Vigas pré-moldadas	aproveitável	sem dano aparente; confirmar por inspeção detalhada após o escoramento e a remoção do material solto
Placas de fechamento, faixa inferior pintada	aproveitável com reparo localizado	íntegras no corpo; danificadas na borda superior, ao longo da linha de fixação arrancada do Bloco E
Placas de platibanda em concreto aparente	aproveitável	sem fissuração visível ao longo do perímetro fotografado; confirmar na inspeção detalhada
Insertos e chapas embutidas nas cabeças de pilar	A substituir	rasgados, deformados e com produto de oxidação na superfície de fratura, Fotografias 20, 21 e 22
Tesouras, terças e contraventamento	A substituir	deslocados, com nós rompidos e barras dobradas; o reaproveitamento exigiria ensaio peça a peça, cujo custo não se justifica
Telhamento	A substituir	não localizado no sítio
Folhas do portão e ferragens	Não aproveitáveis, devido mudança de projeto	quadros íntegros (Fotografias 70, 71 e 76); chapas rasgadas na linha de fixação, pinos-guia dobrados e roldanas a revisar; guias e travamento superior a substituir por peças projetadas, conforme T-07
Calhas, rufos, condutores e arremates	A substituir	rasgados e deformados
Bloco de escritórios e mezanino	aproveitável com reparo de acabamento	corpo íntegro; danos de borda e de acabamento documentados no Bloco H
Instalações elétricas da cobertura	A substituir	condutores expostos e seccionados, Fotografias 35 e 36
Piso industrial de concreto	aproveitável	sem dano estrutural aparente; limpeza e inspeção de juntas após a obra

10.2 Intervenções

T-01 — Escoramento provisório e remoção do material solto.

Precede todas as demais e está detalhada nas medidas de urgência R-00.2, R-00.3 e R-00.4.

T-02 — Recuperação estrutural das cabeças de pilar.

Remoção do concreto fendilhado e solto até o concreto são, limpeza e tratamento da armadura exposta, inserção de armadura de fretagem adicional dimensionada para a força de arrancamento, e reconstituição com graute estrutural de retração compensada. A extensão da remoção e a taxa de armadura são definidas no executivo, a partir da pacometria prevista na providência 10.5(d). O Desenho 4 do Anexo B indica a concepção. Os condutores pluviais embutidos nas cabeças de pilar (Fotografias 27, 94 e 95) serão relocados para fora da região de ancoragem, ou a cabeça será verificada com o vazio, no executivo. A cabeça do primeiro pilar junto ao portão, com ruptura de borda e barras deslocadas (Fotografias 84 a 87), terá a extensão da reconstituição definida após a remoção do concreto solto, e não se descarta a substituição da região de topo.

T-03 — Reconstrução da ancoragem da cobertura.

É o núcleo da intervenção. A nova ligação será dimensionada no projeto executivo para a força de arrancamento obtida com os coeficientes de pressão externa e interna tabelados na ABNT NBR 6123:2023, integrados por zona para a geometria efetiva da cobertura, e não para o número do cenário preliminar da seção 9.5, que serve apenas de ordem de grandeza. Três critérios governam a concepção:

- 1. ancoragem passante, e não de borda.** O tirante deve atravessar a cabeça do pilar e ser ancorado abaixo da região fendilhada, com porca e contraporca no topo, afastando a linha de ancoragem da face do elemento. A ancoragem curta junto à borda, que o projeto previa com 30 a 40 mm de distância à face e 187 mm de embutimento, foi a que cedeu, e o Desenho 4 mostra a substituição. O Desenho 6 mostra o apoio como projetado, para que o executor saiba o que está substituindo;
- 2. caminho de forças fechado até a fundação.** A tração precisa encontrar material capaz de resistir a tração em cada etapa, da telha à estaca. O executivo deve verificar explicitamente cada etapa desse caminho, e não apenas a ligação de topo. A ligação da tesoura à chapa, que o projeto anterior deixou sem detalhe, será detalhada com chapa de base, parafusos ou solda especificados, e verificada à tração, ao rasgamento e à pressão de contato;
- 3. redundância e modelo completo.** Quantidade de elementos de ancoragem por apoio suficiente para que a perda de um não leve o conjunto à ruína. O executivo apresentará o modelo da chapa de base e do grupo de chumbadores, com rigidez da chapa, excentricidade, efeito de alavanca, interação tração-cisalhamento, distâncias de borda, comprimento de embutimento e todos os modos de ruptura verificados: aço, arrancamento e cone do concreto, fendilhamento, borda e grupo. A redundância se verifica nesse modelo, e não na divisão média da seção 9.5.
- 4. reação do portão nos apoios da fachada.** Os apoios da fachada do portão serão verificados também para a reação horizontal transmitida pelo topo do portão, combinada com a tração de arrancamento, com a distância à borda medida em direção à face para a qual essa reação empurra.

T-04 — Mão francesa nos nós tesoura-pilar.

A contratante pediu expressamente que o laudo avaliasse a adoção de reforço tipo mão francesa por ocasião do refazimento da cobertura. **A recomendação é favorável, e a peça entra no escopo da reconstrução.**

A razão técnica é específica deste caso e vale explicitá-la. A mão francesa enrijece o nó entre o pilar e o banzo inferior da tesoura, e com isso produz dois efeitos úteis ao problema diagnosticado. O primeiro é que ela **distribui a reação de arrancamento em duas linhas de ancoragem** em vez de uma, reduzindo a tração concentrada no topo do pilar, que é exatamente onde o fendilhamento ocorreu. O

segundo é que ela **reduz o comprimento de flambagem do pilar e devolve travamento de topo**, recompondo em parte a rigidez que a cobertura dava ao conjunto.

O Desenho 4 do Anexo B apresenta a concepção. A geometria, as seções e as ligações da mão francesa são objeto do executivo.

Uma observação de compatibilização geométrica: a mão francesa ocupa o canto interno entre o pilar e o banzo inferior da tesoura, que é região por onde passam condutores pluviais e eletrodutos, como mostram as Fotografias 27 e 33. O executivo deve posicionar a peça antes de definir o traçado das instalações, e não depois, sob pena de repetir o conflito que se resolve furando a peça estrutural.

T-05 — Nova cobertura metálica.

Projeto executivo completo de estrutura metálica, com memória de cálculo que verifique explicitamente a ação do vento pela ABNT NBR 6123:2023, com V_0 , S_1 , S_2 , S_3 , C_{pe} por zona e C_{pi} declarados em prancha, incluindo a hipótese de abertura dominante, e que apresente a verificação ao arrancamento de cada etapa do caminho das forças.

Quanto ao telhamento, registre-se uma divergência documental que o executivo deve resolver. O projeto arquitetônico aprovado especifica **telha metálica sanduíche** nas duas águas, com declividade de 13 %. O projeto de estrutura metálica, na lista de telhas da prancha 36/41, especifica **telha TP-40 simples de 0,50 mm** para a cobertura. São produtos de peso próprio e de rigidez distintos, e a escolha afeta a verificação ao arrancamento. A reconstrução deve partir de uma especificação única e verificada.

T-06 — Fixação do telhamento e dos arremates de borda.

Os arremates de borda cederam sob sucção (seção 8.2), seja como etapa inicial, na sequência da seção 9.7, seja como efeito da perda da cobertura, na sequência revisada da seção 9.16. O executivo deve tratar a borda, a quina e o beiral como **zonas de coeficiente de pressão local agravado**, com densidade de fixação maior do que a do campo da cobertura, e detalhar o rufo e a cumeeira com fixação mecânica contínua. O detalhe de fixação da prancha 35/41 do projeto anterior não distingue zonas.

T-07 — Fechamento da fachada frontal.

Reconstrução do portão, com ferragens e guias dimensionadas para a ação do vento sobre a folha fechada, e com o cuidado de que a hipótese de abertura dominante permaneça coberta pelo projeto da cobertura, mesmo que o portão venha a resistir. Projetar a cobertura supondo o portão sempre íntegro é apostar numa peça móvel. A estrutura do portão não constava das pranchas do projeto anterior; a nova deve constar. O portão novo terá projeto e memória de cálculo próprios, com as reações verticais e horizontais declaradas e entregues ao projetista da cobertura antes do dimensionamento desta. O travamento do topo das folhas será peça projetada, com caminho de forças verificado até a fundação, e não peça fixada à tesoura sem verificação. Recomenda-se que o topo do portão se apoie em viga de fachada própria, dimensionada para a reação horizontal e com limite de deslocamento compatível com o funcionamento das guias, e contraventada no plano horizontal por elementos dimensionados para essa reação, e não por barras de estabilização.

T-08 — Recuperação das placas de fechamento e do bloco de escritórios.

Reparo localizado das bordas superiores das placas ao longo da linha de fixação arrancada, tratamento das fissuras documentadas no Bloco H, substituição dos trechos de painel rompidos e recomposição dos acabamentos.

T-09 — Instalações.

Substituição dos circuitos elétricos da cobertura, recomposição do sistema de águas pluviais, calhas e condutores, e revisão dos pontos de travessia pelas placas.

10.3 Correspondência entre causa, intervenção e evidência

Causa ou efeito constatado	Intervenção	Evidência
Ruptura por tração nas ligações de apoio	T-03, T-04	Fotografias 16 a 23; seções 9.3 a 9.5 e 9.9
Reação do portão fechado transmitida à cobertura pelo travamento do topo, sem projeto	T-07, T-03	Fotografias 60, 61, 70 a 88; seções 9.11 e 9.12
Ruptura de borda e fendilhamento da cabeça do primeiro pilar junto ao portão	T-02, T-03	Fotografias 84 a 87; seção 9.13
Chapas de ligação com furos alongados, fixadores ausentes e borda dobrada	T-03	Fotografias 96 a 98; seção 9.14
Fendilhamento das cabeças de pilar	T-02	Fotografias 24 a 28; geometria do apoio projetado, seção 8.4
Linha de fixação do topo do fechamento arrancada	T-06, T-08	Fotografias 30 a 34
Arremates de borda arrancados	T-06	Fotografias 07, 08, 12, 13
Abertura da fachada do portão durante o evento e pressurização do interior	T-07	Fotografias 39 a 45 e 70 a 83; seções 9.4 e 9.12
Cobertura e telhamento perdidos	T-05	Fotografias 01, 02, 11
Risco instalado pela perda do travamento de topo	T-01	seção 8.9
Danos de acabamento e instalações	T-08, T-09	Fotografias 35, 36, 46 a 56

10.4 O que não está abrangido

Para que a contratante saiba exatamente o que ainda precisa contratar: não estão abrangidos por este laudo o projeto executivo de reconstrução da cobertura e das ligações, o projeto de escoramento provisório, serviços laboratoriais e extração de amostras, levantamento topográfico ou escaneamento tridimensional, e o fornecimento de equipamentos de acesso em altura, escoramentos e remoção de entulho.

10.5 Condicionantes e providências a cargo da contratante

Não são pedidos de autorização. São os elementos que o responsável técnico precisa receber para emitir o projeto executivo e a respectiva ART, e para completar a atribuição condicional da seção 9.8.

#	O que é necessário	Responsável por fornecer	O que destrava
(a)	Detalhe da ligação da tesoura à chapa CH 01, que não consta das 41 pranchas: desenho de fabricação ou de montagem da estrutura metálica, se existir, e a especificação dos parafusos ou da solda empregados	contratante, junto à empresa da estrutura metálica	confronto da ligação executada com a projetada; fechamento da linha correspondente da seção 9.9
(b)	Memórias de cálculo dos dois projetos, o de pré-moldado e o de estrutura metálica, com Vo, S1, S2, S3, Cpe e Cpi adotados	contratante, junto às empresas responsáveis	saber qual vento, qual categoria de rugosidade e quais coeficientes de pressão foram adotados em projeto; as pranchas não os declaram
(c)	ARTs de projeto, fabricação e montagem de cada empresa, os contratos, e a data de conclusão da obra	contratante	identificação dos responsáveis técnicos de cada etapa e da fronteira entre os contratos
(d)	Pacomtria nas cabeças de pilar fendilhadas, com mapeamento de armadura e dos chumbadores embutidos	laboratório contratado pela contratante	dimensionamento da armadura de fretagem de T-02 e da ancoragem passante de T-03; armadura executada em torno dos chumbadores

#	O que é necessário	Responsável por fornecer	O que destrava
(e)	Preservação, catalogação e medição das peças rompidas já empilhadas no pátio, com identificação e, quando possível, a posição de origem: chapas, parafusos, porcas, arruelas, chumbadores, cantoneiras e trechos de perfil; e exame das superfícies de fratura, com verificação de perda de seção	contratante	determinação da capacidade da ligação executada e dos seus modos de falha; quantidade, diâmetro e embutimento reais dos chumbadores; idade e contribuição da oxidação
(f)	Informação sobre a situação do portão no momento do evento: atendida em 15/10/2026 (portão fechado; folhas encontradas dentro do hangar). Falta registro da posição de cada folha na manhã de 30/09	contratante	definição do cenário de pressão interna da seção 9.4; especificação de T-07
(g)	Especificação e notas fiscais das telhas e dos fixadores empregados	contratante	verificação do peso próprio real e da capacidade da fixação telha-terça
(h)	Resolução da divergência entre telha sanduíche, do projeto arquitetônico aprovado, e telha TP-40 simples, do projeto de estrutura metálica	contratante, com os projetistas	especificação única do telhamento, conforme T-05
(i)	Dados brutos da estação do Simepar em Toledo para a noite de 29/09/2026, com a localização exata da estação; e, junto à administração aeroportuária, a situação da estação meteorológica do aeródromo naquela noite, com o texto das instruções do Comando da Aeronáutica que regem a estação e a codificação dos boletins	contratante, junto ao Simepar e à administração aeroportuária	refinamento da caracterização do vento que atuou sobre o hangar; o laudo não afirma obrigação nem responsabilidade do operador do aeródromo sem esse texto
(j)	Identificação da aeronave que estava no hangar na data do evento, por matrícula, fotografia contextualizada ou declaração identificadora	contratante	caracterização do conteúdo exposto; a ficha técnica do acervo prova o modelo, não a presença
(k)	Elementos que permitam testar a cronologia da ruína: vídeo com metadados, imagens de terceiros do sítio na noite do evento e depoimento identificado de quem presenciou. Parcialmente atendida em 14 e 15/10/2026 (vídeos do desmonte, imagens de terceiros, resumo da análise das câmeras da pista)	contratante; vizinhos do sítio; administração aeroportuária	teste da sequência mais provável da seção 9.16, que é hipótese causal
(l)	Travamento do topo do portão fixado à tesoura: desenho ou fotografia, material e seção, fixadores, autoria da especificação e da instalação, data, e se houve verificação do efeito sobre a cobertura	contratante; Metalúrgica Real; Modular Estruturas	atribuição da origem do caminho de forças que iniciou a ruína (seções 9.8 e 9.12)
(m)	Projeto, memória de cálculo ao vento, ART e manual do portão, com as dimensões do vão e das folhas e as reações transmitidas à estrutura	Metalúrgica Real, por intermédio da contratante	substituição das faixas adotadas na memória de cálculo da seção 9.11 pelos valores reais; especificação de T-07
(n)	Arquivos originais dos vídeos das câmeras da pista, com data, hora e orientação de cada câmera	administração aeroportuária, por intermédio da contratante	datação da frente de rajada; direção do vento em relação ao hangar
(o)	Registros do evento no Centro de Distribuição citado pela gerência de engenharia, em que as câmeras teriam mostrado a elevação do telhado antes da ruptura da porta	contratante	comparação com a leitura alternativa da seção 9.12
(p)	Declaração escrita e identificadora do responsável pelo desmonte sobre o estado das soldas e das ligações de apoio, com fotografias das extremidades das tesouras e das chapas antes de qualquer corte, e indicação das peças cortadas a maçarico	contratante, junto à equipe de desmonte	confirmação de que a separação ocorreu abaixo da solda (seção 9.14); distinção entre corte e ruptura

Enquanto esses elementos não chegarem, as conclusões deste laudo permanecem no grau de certeza aqui declarado, que a seção 15 explicita item a item.

10.6 Revisão das demais edificações do grupo

A contratante pediu que o laudo sugerisse a revisão de todas as edificações da Prati-Donaduzzi considerando a ação dos ventos. A recomendação é favorável e vai além da formalidade, por três razões que este caso documentou.

Primeira: a vulnerabilidade diagnosticada não é visível em inspeção comum. A envoltória do hangar estava íntegra e a estrutura estava aprumada; a inspeção visual de uma edificação assim não aponta a ligação de apoio como ponto fraco. O que falhou está dentro da ligação e na geometria da ancoragem embutida, e só se descobre verificando o caminho das forças no papel e, quando preciso, abrindo a ligação.

Segunda: a mesma interface se repete. A fronteira entre o contrato de pré-moldado e o contrato de estrutura metálica existe em qualquer galpão construído com essa combinação, que é comum no parque industrial da região. Onde essa fronteira se repete, a chance de a ancoragem da cobertura ter ficado sem dono se repete com ela.

Terceira: a exposição aumentou. As previsões oficiais descritas na seção 3.5 apontam El Niño muito forte até pelo menos o primeiro trimestre de 2027, com chuvas acima da normal climatológica na Região Sul. Setembro de 2026 já foi o mês mais chuvoso da série histórica em quatorze estações do Simepar, situadas no Leste, nos Campos Gerais, no Centro e no Norte do estado. O Oeste não está entre elas, e convém dizer que a recomendação não depende disso: ela se funda na previsão oficial para o trimestre que vem, e não no que já choveu. Mais eventos convectivos significam mais oportunidades de uma ancoragem marginal ser testada.

Escopo sugerido para a revisão, por ordem de prioridade:

R-01. Levantar, para cada edificação do grupo, a existência de memória de cálculo com verificação explícita da ação do vento pela ABNT NBR 6123:2023, ou pela edição vigente à data do respectivo projeto, incluindo a verificação ao arrancamento da cobertura.

R-02. Nas edificações em que essa verificação não existir ou não for localizável, proceder à **verificação independente do caminho das forças de arrancamento**, da telha à fundação. É uma análise de gabinete, de custo modesto, que identifica o problema antes do vento.

R-03. Priorizar, nessa varredura, as edificações que reúnam as seguintes características, que são as deste hangar: cobertura metálica leve de baixa declividade; grande abertura numa fachada, como portão de hangar, de expedição ou de doca; vão livre superior a vinte metros; e interface entre contratos distintos de pré-moldado e de estrutura metálica.

R-04. Inspecionar fisicamente as ligações de apoio da cobertura nas edificações priorizadas, com acesso em altura conforme a NR-35, verificando a presença, o diâmetro, a quantidade, a distância à borda e o estado dos elementos de ancoragem, e a existência de armadura de fretagem nas cabeças de pilar.

R-05. Para as edificações que vierem a ser projetadas a partir de agora, considerar a adoção do valor de 48 m/s para a velocidade básica do vento, em lugar dos 45 m/s do mapa em vigor. Não se trata de exigência normativa, e o laudo não a apresenta como tal: trata-se de decisão de projeto que antecipa a revisão do mapa de isopletas em discussão na Comissão de Estudo da ABNT, descrita na seção 6.2, e que custa pouco quando tomada na prancheta.

R-06. Definir e documentar um **procedimento operacional para eventos de vento severo**, com a conduta quanto aos portões de grande vão. Portão de hangar fechado e íntegro reduz a solicitação de arrancamento sobre a cobertura a 46,5 % do valor com abertura dominante, no cenário preliminar da seção 9.4. É a medida de menor custo deste laudo inteiro. A medida vale **desde que o portão, as suas guias e o seu travamento sejam projetados para o vento, e que a reação do portão fechado**

tenha caminho de forças verificado até a fundação (T-07). Fechar um portão cuja reação não tem caminho projetado transfere a carga para onde ela não foi prevista, como mostra este caso (seção 9.12).

11. Memorial descritivo das intervenções

Descreve-se a seguir o passo a passo executivo por serviço, com o critério de medição. Os quantitativos estão na seção 12.

11.1 Isolamento e sinalização (R-00.1). Implantação de barreira física no perímetro, com largura de faixa igual ou superior à altura das placas de fechamento, e sinalização de advertência. Medição por metro linear de barreira implantada.

11.2 Escoramento provisório (T-01). Montagem de escoramento metálico dos pilares e das placas, conforme projeto de escoramento a ser contratado, com apoio em base rígida e travamento horizontal. Verificação de prumo antes da liberação. Medição por unidade de ponto escorado.

11.3 Remoção de material solto em altura (T-01). Retirada de arremates, rufos, trechos de calha, condutores, cabos pendentes e peças metálicas penduradas, com plataforma elevatória, por equipe habilitada conforme a NR-35. Antes da retirada de cada peça, registro fotográfico da posição e etiquetagem. Medição por metro quadrado de projeção de cobertura atendida.

11.4 Catalogação, medição e guarda das peças rompidas (R-00.4). Identificação individual de parafusos, chumbadores, chapas de ligação, trechos soldados, terças e telhas com fixadores, com etiqueta contendo a posição de origem quando conhecida; medição de diâmetros, espessuras e comprimentos embutidos; registro fotográfico das superfícies de fratura; e armazenamento em local coberto e com acesso controlado. Medição por verba.

11.5 Recuperação das cabeças de pilar (T-02). Delimitação da região comprometida por percussão e por inspeção visual. Remoção do concreto fendilhado e solto até o concreto sã, com ferramenta que não induza microfissuração. Limpeza e tratamento da armadura exposta. Posicionamento da armadura de fretagem adicional conforme o executivo. Aplicação de graute estrutural de retração compensada, com cura úmida controlada. Medição por unidade de cabeça de pilar recuperada, com registro fotográfico de antes, durante e depois.

11.6 Execução da ancoragem passante (T-03). Locação dos furos conforme o executivo e conforme o mapeamento de armadura da providência 10.5(d), de modo a não interceptar armadura principal. Perfuração passante com controle de prumo. Instalação dos tirantes com chapa de distribuição inferior, porca e contraporca no topo, e protensão controlada por torque conforme especificação do executivo. Proteção anticorrosiva de todos os elementos. Medição por unidade de ponto de ancoragem executado.

11.7 Montagem da mão francesa (T-04). Posicionamento e fixação das peças nos nós tesoura-pilar, conforme o executivo, antes da definição do traçado das instalações. Medição por unidade.

11.8 Nova estrutura de cobertura (T-05). Fabricação e montagem conforme projeto executivo de estrutura metálica, com conferência dimensional antes da içagem e verificação de torque das ligações após a montagem. Medição por quilograma de estrutura montada.

11.9 Telhamento e arremates (T-05, T-06). Instalação do telhamento conforme a especificação única resolvida na providência 10.5(h), com densidade de fixação agravada nas zonas de borda, quina e beiral, e fixação mecânica contínua de rufos e cumeeiras. Medição por metro quadrado de telhamento instalado.

11.10 Fechamento da fachada frontal (T-07). Fabricação e montagem do portão, guias e ferragens. Medição por metro quadrado de vão fechado.

11.11 Recuperação das placas e do bloco de escritórios (T-08). Reparo das bordas superiores das placas, tratamento de fissuras, substituição de trechos de painel rompidos e recomposição de acabamentos. Medição por metro linear de borda reparada e por metro quadrado de painel substituído.

11.12 Instalações (T-09). Substituição dos circuitos elétricos da cobertura e recomposição do sistema de águas pluviais. Medição por verba, com memorial próprio.

12. Quantitativos referenciais

Este laudo apresenta quantitativos, e não preços. A razão está na proposta que originou o trabalho: o projeto executivo de reconstrução não está abrangido, e sem ele não há quantidade de aço, de ancoragem nem de telha definida. Compor preço sobre quantidade não definida produziria um número de aparência precisa e de conteúdo arbitrário, que é exatamente o que este laudo evita. Os quantitativos abaixo servem para dimensionar a contratação e para balizar propostas.

Item	Quantidade	Unidade	Base
Área de cobertura em projeção horizontal	575,00	m ²	25,00 m × 23,00 m, planta de cobertura
Projeção de cada água	12,50	m	planta de cobertura
Comprimento da cumeeira	23,00	m	planta de cobertura
Declividade das águas	13	%	planta de cobertura
Perímetro de borda de cobertura a arrematar	96,00	m	perímetro do retângulo de 25,00 m por 23,00 m
Telhas de cobertura a repor, conforme o projeto anterior	48	un	lista de telhas, item 01, 11.900 mm cada
Cabeças de pilar a inspecionar	20	un	pilares Po1 a P20 do projeto de pré-moldado (prancha 01/03 da obra 281), dos quais os de apoio da cobertura recebem as 13 posições de ancoragem
Linhas de apoio de tesoura	2	un	apoios nas duas linhas de pilar extremas, eixos 1 e 5
Pontos de ancoragem do projeto anterior	13	un	prancha 01/41: 5 no eixo A e 2 em cada um dos eixos B a E
Espaçamento das tesouras principais	6,00	m	prancha 01/41, eixos B-C e C-D
Área tributária por apoio das tesouras principais	75,00	m ²	12,50 m × 6,00 m, seção 9.5
Massa do inventário parcial da estrutura anterior	6.234	kg	banzos, terças, correntes e contraventamento, pelas pranchas; sem diagonais, montantes, suportes, presilhas, chapas e parafusos
Extensão da linha de fixação do topo do fechamento a recuperar	96,00	m	perímetro, Bloco E
Faixa de isolamento perimetral, largura mínima	9,00	m	altura das placas até a platibanda
Extensão de barreira de isolamento	168,00	m	perímetro afastado de 9,00 m em todo o contorno, com canto reto

Observações sobre o alcance destes quantitativos. O número de cabeças de pilar a **inspecionar** é o total de pilares do projeto; o número a **recuperar** depende da inspeção detalhada após o escoramento, e não se arbitra aqui. A quantidade de telhas é a do projeto anterior e serve de referência; a quantidade definitiva depende da especificação resolvida na providência 10.5(h). O número de pontos de ancoragem a executar é o do novo projeto; o do projeto anterior, 13 posições, é referência de partida. A massa da estrutura anterior é inventário parcial e serve apenas de ordem de grandeza para a contratação; a nova estrutura terá a massa que o executivo definir.

13. Sequência executiva e cronograma físico referencial

O cronograma abaixo é físico e referencial, em semanas, contadas da autorização de cada etapa. Ele não computa prazos de contratação, de aprovação nem de fornecimento de material, que dependem da contratante e do mercado.

Etapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R-00 Isolamento e medidas de urgência	■											
T-01 Escoramento e remoção de material solto	■	■										
Providências 10.5 (a) a (p)	■	■	■									
Pacometria, catalogação das peças e inspeção detalhada			■									
Projeto executivo de reconstrução			■	■	■							
T-02 Recuperação das cabeças de pilar					■	■						
Cura do graute estrutural						■	■					
T-03 e T-04 Ancoragem passante e mão francesa							■	■				
T-05 Fabricação da estrutura metálica					■	■	■	■				
T-05 Montagem da estrutura metálica									■	■		
T-06 Telhamento e arremates										■	■	
T-07 Fechamento da fachada frontal											■	
T-08 e T-09 Recuperação e instalações											■	■

O caminho crítico passa pela cura do graute estrutural das cabeças de pilar. A ancoragem passante de T-03 introduz tração justamente na região recuperada por T-02, e não pode ser protendida antes de o graute atingir a resistência especificada. Antecipar essa etapa para ganhar uma semana significa aplicar carga sobre material que ainda não a suporta, e reproduzir, por pressa, o mesmo tipo de falha que o laudo diagnosticou.

A segunda precedência rígida é a inspeção detalhada após o escoramento. Enquanto a estrutura não estiver escorada e o material solto não for removido, não há acesso seguro às cabeças de pilar, e sem esse acesso o projeto executivo trabalha sobre hipótese.

14. Segurança do trabalho

Os trabalhos descritos neste laudo envolvem altura, estrutura instável e peças metálicas suspensas. As exigências abaixo são condição de execução, e não recomendação.

14.1 Trabalho em altura. Toda atividade acima de dois metros do nível inferior observa a NR-35, com análise de risco prévia, permissão de trabalho, sistema de ancoragem independente da estrutura comprometida, e equipe capacitada e autorizada. **O ponto de ancoragem do cinto de segurança não pode ser a estrutura remanescente da cobertura,** pela razão óbvia de que é dela que se desconfia.

14.2 Estrutura instável. Nenhuma pessoa permanece sob a estrutura antes do escoramento previsto em T-01. O escoramento é projetado por profissional habilitado e liberado por escrito.

14.3 Acesso. Plataforma elevatória ou andaime com guarda-corpo, com operador habilitado e equipamento com inspeção em dia. Escada apoiada não é meio de acesso para esses serviços.

14.4 Risco elétrico. Desenergização e bloqueio dos circuitos antes de qualquer trabalho na região dos condutores expostos, com teste de ausência de tensão.

14.5 Queda de material. Delimitação da área de projeção durante a remoção de peças em altura, com vigia, e proibição de circulação simultânea em níveis distintos.

14.6 Operação aeroportuária. Os trabalhos ocorrem em sítio aeroportuário em operação. A movimentação de plataformas, guindastes e cargas suspensas observa as restrições de gabarito e os procedimentos da administração aeroportuária, com coordenação prévia.

14.7 Condição meteorológica. Suspensão dos trabalhos em altura sob vento forte, chuva ou descargas atmosféricas. Dada a previsão descrita na seção 3.5, convém que a programação diária consulte o boletim do Simepar.



15. Conclusões técnicas

As conclusões abaixo se fundam no exame direto do local na vistoria presencial de 09/10/2026, no acervo documental e fotográfico em cadeia de custódia, na leitura das 41 pranchas do projeto de estrutura metálica, na verificação independente da ação do vento pela ABNT NBR 6123:2023 e pela ABNT NBR 8681:2025, e em fontes públicas identificadas quanto ao evento meteorológico. Cada conclusão remete às seções que a sustentam.

15.1. A cobertura metálica do hangar foi **integralmente perdida** no vendaval da noite de 29 de setembro de 2026. O telhamento desapareceu, as tesouras foram deslocadas e arriadas, e as ligações de apoio se romperam. A estrutura de concreto pré-moldado, fechamento, pilares, vigas e fundação, **permaneceu de pé**. (seções 8.1 a 8.3)

15.2. Os vestígios são compatíveis com **ruptura por tração localizada nas ligações de apoio, e não nas barras da tesoura**. As peças examinadas apresentam arruelas em furos vazios, parafusos e porcas soltos sobre o concreto, chapa fina rasgada em torno dos furos e chapas de ligação deformadas. As barras remanescentes estão retas, sem flambagem nem deformação plástica distribuída. A capacidade resistente da ligação executada e a sua margem em relação à demanda não foram determinadas. (seção 8.3; Fotografias 16 a 23)

15.3. As cabeças de pilar apresentam **fendilhamento vertical com armadura exposta**, cujo padrão geométrico é o do fendilhamento por ancoragem insuficientemente confinada, e não o de retração, recalque ou flexão. O projeto loca os chumbadores a 30 a 40 mm da face do pilar de 25 cm, para 187 mm de embutimento, e nenhuma prancha fornecida desenha armadura de fretagem em torno deles. (seções 8.4 e 9.9; Fotografias 24 a 28; prancha 01/41)

15.4. A velocidade característica do vento de projeto para a cota da cobertura, pela ABNT NBR 6123:2023, é de **43,68 m/s, ou 157,3 km/h**, à qual corresponde a pressão dinâmica de **1,170 kN/m²**. (seção 9.1)

15.5. O vento documentado ficou **abaixo** do vento de projeto em todos os registros disponíveis, e cada registro tem a sua cidade: 48,6 km/h na estação do Simepar em Toledo; 101,5 km/h em Umuarama; rajadas acima de 100 km/h em outras cidades do estado, o que corresponde a **40,4 % da pressão dinâmica de projeto** como comparação de referência. O aeródromo não produziu registro de vento na noite do evento. O Simepar examinou os danos contra dados de radar e de satélite e **afastou a hipótese de tornado**. (seções 3.3 e 9.2)

15.6. Não há, no acervo nem nas fontes públicas consultadas, registro de rajada no local acima do vento de projeto de **157,3 km/h**; a velocidade efetivamente incidente no hangar não foi medida, de modo que vento acima do valor normativo não foi demonstrado, nem pode ser categoricamente excluído. Para que a ruína se explicasse por vento extraordinário, a rajada no hangar teria de ter superado 3,24 vezes a registrada em Toledo e 1,57 vez o piso medido em outras cidades. (seção 9.2)

15.7. O modo de ruína documentado é a **ruptura por tração localizada nas ligações de apoio das tesouras**, na interface entre a estrutura metálica e a estrutura de concreto pré-moldado, com fendilhamento do concreto em torno das barras de ancoragem. Doze hipóteses foram testadas contra as evidências: a de vento extraordinário não foi demonstrada; a de pressurização pela abertura da fachada do portão é etapa da sequência mais provável; a de ruína iniciada pela reação do portão transmitida à cobertura é a sequência mais provável, e a de soerguimento por sucção antes do portão não está excluída; a de ruptura do primeiro pilar junto ao portão como causa independente foi afastada; a de degradação é pouco compatível com a idade da edificação; as de subdimensionamento das barras, vício de material, impacto e recalque foram afastadas. (seções 9.6, 9.7 e 9.16)

15.8. O portão **estava fechado** na noite do evento, segundo a contratante, e cedeu durante ele: as folhas caíram para dentro do hangar e a cobertura foi lançada para trás, o que põe o portão na face de

barlavento. No cenário preliminar, a abertura dominante eleva a força de arrancamento no apoio a 215,2 % do valor correspondente à edificação estanque. Mesmo com a edificação estanque, a ancoragem de cada apoio precisaria resistir a uma tração de cálculo da ordem de 85 kN. (seções 8.7, 9.4 e 9.10)

15.9. A força de arrancamento de cálculo por apoio de tesoura, no **cenário preliminar** de abertura dominante, é de **183,54 kN** para a área tributária de 75,00 m², equivalente a **30,59 kN por metro** de linha de apoio. Este segundo valor não depende do espaçamento das tesouras e é, por isso, o mais robusto. Os coeficientes de pressão líquida adotados, 1,60 e 0,80, não são demanda normativa demonstrada; o valor de projeto da nova ancoragem será fixado no executivo com Cpe por zona e Cpi tabelados. Com os seis chumbadores de meia polegada do projeto anterior, a tração média por elemento seria de 30,59 kN, o que corresponde a 241,5 MPa na seção nominal, antes de qualquer majoração por alavanca ou excentricidade. (seção 9.5)

15.10. Pelo peso próprio, de **0,192 kN/m²**, a cobertura se sustentava contra a sucção do vento somente até rajadas da ordem de **45 a 90 km/h**, conforme o coeficiente de pressão líquida considerado. Acima disso, a estabilidade dependia inteiramente da ancoragem. A telha isolada perde o peso próprio abaixo da rajada que a estação do Simepar registrou em Toledo naquela noite. O inventário parcial das pranchas soma 0,106 kN/m² e cerca por baixo a premissa de 0,150 kN/m²; a sensibilidade do resultado a ela é de 1,1 %. (seção 9.3)

15.11. A edificação tinha **menos de um ano de uso** na data do evento, o que torna pouco compatível a degradação por envelhecimento, perda de seção por corrosão acumulada e falta de manutenção. A oxidação visível nas superfícies de fratura tem idade e contribuição que não podem ser determinadas por inspeção visual; a operação do portão e eventuais intervenções no período permanecem não verificadas. (seções 2, 4 e 9.6)

15.12. Há risco instalado. A remoção da cobertura retirou o travamento de topo dos pilares e das placas, e o fendilhamento das cabeças reduziu a capacidade justamente onde elas são solicitadas. A estrutura remanescente está menos segura hoje do que antes do evento. As medidas de urgência R-00.1 a R-00.6 são imediatas, e o fato de o conjunto estar num aeródromo em operação, com a PR-182 no limite do sítio, agrava a consequência de uma peça solta e exige articulação com a administração aeroportuária. (seções 8.9 e 8.10)

15.13. A estrutura remanescente é **potencialmente aproveitável em sua maior parte**, condicionada a escoramento, inspeção após a remoção dos destroços, levantamento de prumo, mapeamento de fissuras, pacometria e ensaios. Fundação, fustes de pilar, vigas e placas de fechamento são potencialmente aproveitáveis, as duas últimas com reparo localizado. As cabeças de pilar fendilhadas exigem recuperação estrutural obrigatória. Tesouras, terças, contraventamento, telhamento, insertos de ligação, calhas e arremates são a substituir. (seção 10.1)

15.14. A adoção de **mão francesa** nos nós tesoura-pilar, consultada pela contratante, **é recomendada e integra o escopo da reconstrução**, por distribuir a reação de arrancamento em duas linhas de ancoragem e por devolver travamento de topo ao pilar. (intervenção T-04; Desenho 4)

15.15. Há **divergência documental** entre o projeto arquitetônico aprovado, que especifica telha metálica sanduíche, e o projeto de estrutura metálica, que especifica telha TP-40 simples de 0,50 mm. A divergência afeta o peso próprio e a verificação ao arrancamento, e deve ser resolvida antes do executivo. (intervenção T-05; providência 10.5(h))

15.16. As 41 pranchas do projeto de estrutura metálica especificam, em cada apoio, chapa CH 01 de 230 mm × 250 mm e meia polegada de espessura, com seis chumbadores de meia polegada e 300 mm; **não detalham a ligação da tesoura a essa chapa**, não desenham armadura em torno dos chumbadores, não declaram parâmetros de vento e trazem divergência interna entre 7 unidades rotuladas e 13 posições locadas. A ruptura ocorreu na ligação não detalhada e no concreto em torno dos chumbadores. A origem da insuficiência, entre concepção, compatibilização, fabricação, montagem ou desvio entre projeto e executado, **não está demonstrada**: o acervo não permite distingui-las, e a atribuição individual

depende das memórias de cálculo, das ARTs, dos contratos e do exame dimensional e material das ligações. (seções 9.8, 9.9 e 10.5)

15.17. As previsões oficiais apontam **El Niño muito forte** até pelo menos o primeiro trimestre de 2027, com chuvas acima da normal climatológica na Região Sul, e setembro de 2026 foi o mês mais chuvoso da série histórica em quatorze estações do Simepar. Isso não altera a velocidade básica do vento da norma nem prova a rajada local, mas **aumenta a exposição** das edificações do grupo a eventos convectivos severos. Recomenda-se a revisão descrita em R-01 a R-06. (seções 3.5 e 10.6)

15.18. A medida de **menor custo e maior efeito imediato** para o conjunto das edificações do grupo é o procedimento operacional de fechamento dos portões de grande vão diante de alerta de vento severo, pela redução da solicitação de arrancamento sobre a cobertura. (recomendação R-06; seção 9.4) A medida pressupõe portão, guias e travamento projetados para o vento, com a reação do portão fechado levada à fundação por caminho de forças verificado (T-07).

15.19. A ruína começou, com a maior probabilidade, na fachada do portão, no vínculo entre o topo do portão fechado e a estrutura metálica da cobertura, e não pelas folhas do portão. O topo do portão estava travado por peça fixada à tesoura, segundo a contratante. Nas rajadas estimadas e registradas na região, de 80 a 101,5 km/h, a reação do topo do portão vai de 19,6 a 31,6 kN no conjunto, e no vento de projeto chega a 72,4 kN. Essa força não consta de nenhum projeto fornecido; nas rajadas estimadas, ela alcança a capacidade nominal do contraventamento em barra de 5/16" e a da ancoragem dos apoios da fachada em direção à borda, e no vento de projeto as excede de 2,2 a 4,2 vezes. As folhas estão íntegras: não cederam por resistência própria; saíram das guias e caíram para dentro quando o topo perdeu o travamento. (seções 9.10 a 9.12; MC-2 a MC-4)

15.20. A ruptura da cabeça do **primeiro pilar junto ao portão**, com cunha destacada do canto e fenda vertical larga, foi, com a maior probabilidade, o **primeiro elo da cadeia a romper**. Não é causa independente, porque o fuste está de pé; é o ponto em que a falha local se tornou global: aberta a fachada de barlavento, a força característica de arrancamento nos apoios vizinhos triplicou e, somada à redistribuição da carga do apoio perdido, ultrapassou a capacidade da ancoragem projetada nas rajadas de 90 a 101 km/h. (seção 9.13; MC-5 e MC-6)

15.21. A fixação da base das tesouras no topo dos pilares era tecnicamente deficiente: em concepção, de forma demonstrada; em execução, por indícios fortes, a confirmar pela medição das peças. No projeto, a ligação da tesoura à chapa não foi detalhada, e a ancoragem, com chumbadores a 30 a 40 mm da face e sem armadura de fretagem desenhada, tinha capacidade nominal estimada de 47,4 a 65,1 kN, contra demanda de cálculo de 85,28 kN na edificação estanque e de 183,54 kN com abertura dominante. Na execução, as chapas remanescentes têm furos alongados sem arruela de chapa visível, fixadores ausentes e borda dobrada, e há condutor pluvial, de 150 mm segundo o projeto de calhas, atravessando cabeça de pilar, locado pelo projeto de calhas junto aos pilares de apoio e não previsto no de pré-moldado. Segundo o responsável pelo desmonte, as soldas da base das tesouras estavam íntegras; a separação se deu abaixo delas, na amarração da chapa ao pilar, e não por insuficiência de solda. A qualificação jurídica dessa deficiência é matéria estranha ao laudo. (seção 9.14; MC-5)

15.22. O rasgamento da chapa no topo das folhas do portão, ao longo da linha de parafusos, não decorre da pressão estática do vento sobre a chapa, que solicita cada parafuso com menos de um quinto da resistência ao rasgamento mesmo no vento de projeto. Exige deslocamento imposto entre a chapa e o quadro, e é marca de que o topo do portão foi arrastado pela estrutura a que estava travado. Não iniciou a ruína; aberto, contribuiu para pressurizar o interior. (seção 9.15; MC-7)

15.23. A leitura alternativa, de que a cobertura subiu primeiro por sucção e o portão cedeu em consequência, **não está excluída**. Ela exigiria que a ligação executada tivesse capacidade inferior a cerca de um terço da projetada, porque a ancoragem projetada só romperia por sucção, sem abertura da fachada, com rajadas de 148 a 167 km/h. Nas duas leituras, a causa é a mesma: **ligações e caminho**

de forças sem a capacidade que a norma exige, sob vento abaixo do normativo. (seção 9.12; MC-6)

15.24. O mecanismo descrito neste laudo, porta ou portão de grande vão cedendo, interior pressurizado e cobertura arrancada pelas ligações, inclusive com vento abaixo do de projeto, está documentado em avaliações oficiais e estudos técnicos dos Estados Unidos e da Austrália, e é reconhecido em exigências de projeto de hangares. No Brasil, perícias judiciais recentes atribuíram a perda de coberturas sob vento abaixo do normativo à deficiência de ancoragem, e as decisões não acolheram a tese de evento extraordinário. (seção 9.17)

16. Encerramento

O presente laudo foi elaborado com observância da ABNT NBR 13752:2024 e das demais normas listadas na seção 6, a partir de vistoria presencial realizada no local em 09/10/2026 e do acervo documental recebido em cadeia de custódia.

As conclusões são técnicas e independentes de quem contrata. O laudo registra, com a mesma clareza, o que favorece e o que não favorece a contratante, e declara no ponto exato em que incidem as limitações que restringem o alcance de cada conclusão.

O documento será complementado sem ônus para a contratante sempre que necessário, nos termos da proposta PT-2026-1008-PD, inclusive para análise de documento entregue após esta emissão, com revisão das conclusões que o documento vier a alterar.

Esta terceira emissão substitui integralmente as emissões de 12 de outubro de 2026.

Cascavel/PR, 15 de outubro de 2026.

LUCIANO ANDREY
SCHADLER:77820703920

Assinado de forma digital por LUCIANO ANDREY
SCHADLER:77820703920
Dados: 2026.10.15 12:15:38 -03'00'

LUCIANO ANDREY SCHÄDLER

Engenheiro Civil — CREA-PR 29.232/D

Responsável técnico pelo laudo técnico contratado

L.A. Schädler Engenharia · Schädler Tech — luciano@vxtech.tech

17. Referências

17.1 Normas técnicas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118:2023** — Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2023. Com a Emenda 1, de 11 de março de 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6123:2023** — Forças devidas ao vento em edificações. 2. ed. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6484:2020** — Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8681:2025** — Ações e segurança nas estruturas — Procedimento. Rio de Janeiro, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800:2024** — Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9062:2017** — Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. 3. ed. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13752:2024** — Perícias de engenharia na construção civil. 2. ed. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14762:2010** — Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. 2. ed. Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-35** — Trabalho em altura.

17.2 Literatura técnica

LOREDO-SOUZA, A. M.; PFEIL, M. S.; NASCIMENTO, E. L.; RIERA, J. D.; FISCH, G. F.; BECK, A. T. Mapa de isopletras para a ABNT NBR 6123:2023 com base em abordagem climatológica. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 16, n. 4, e16401, 2023. DOI 10.1590/S1983-41952023000400001.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318-19 — Requisitos de projeto estrutural de concreto (título traduzido), capítulo 17, Ancoragem ao concreto. Farmington Hills, 2019. Formulação de referência para a resistência de ancoragens empregada na seção 9.11.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123 — Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988 (edição anterior, consultada para os itens 6.2.4 a 6.2.6 e a Tabela 4; os valores devem ser conferidos no exemplar licenciado da edição de 2023).

CHARLTON, J. R. Desempenho de estruturas de aço de grande vão e baixa altura sob ventos extremos (título traduzido; original em inglês). Dissertação de mestrado, Texas Tech University, 1997. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA339564.pdf>

CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA DOS ESTADOS UNIDOS. Furacão Elena, costa do Golfo, 29 de agosto a 2 de setembro de 1985 (título traduzido; original em inglês). Washington: National Academies Press, 1991. Apêndices B e C. Disponível em: <https://nap.nationalacademies.org/read/1765/chapter/10>

AGÊNCIA FEDERAL DE GESTÃO DE EMERGÊNCIAS DOS ESTADOS UNIDOS (FEMA). FEMA 490 — Relatório-síntese do desempenho das edificações na temporada de furacões de 2004 (título traduzido). 2005. Disponível em: <https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema490.txt>

AGÊNCIA FEDERAL DE GESTÃO DE EMERGÊNCIAS DOS ESTADOS UNIDOS (FEMA). FEMA 548 — Relatório-síntese do desempenho das edificações no furacão Katrina (título traduzido). 2006. Disponível em: https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema_548_summary_report_building_performance_hurricane_katrina_2005.pdf

MARSHALL, T. P. Sobre o desempenho de edificações em furacões: estudo para o comitê da escala Saffir-Simpson (título traduzido; minuta de 2009). Centro Nacional de Furacões dos EUA. Disponível em: <https://www.nhc.noaa.gov/pdf/SSHWS-Marshall.pdf>

EARLY, J.; MOHAMMADI, A.; WOOD, R. L.; PETERMAN, K. Comportamento de edifícios industriais metálicos em perfis formados a frio (título traduzido; original em inglês). Conferência Internacional Wei-Wen Yu de Estruturas de Aço Formadas a Frio, 2018. Disponível em: <https://scholarsmine.mst.edu/isccss/24iccfss/session8/1>

HENDERSON, D.; GINGER, J.; LEITCH, C.; BOUGHTON, G.; FALCK, D. Ciclone tropical Larry: danos às edificações na região de Innisfail (título traduzido). Relatório técnico TR51, Estação de Ensaios de Ciclones, Universidade James Cook, Austrália, 2006. Disponível em: <https://www.jcu.edu.au/cyclone-testing-station/reports/Technical-Report-51-Tropical-Cyclone-Larry-Damage-to-buildings-in-Innisfail-area.pdf>

SOCIEDADE AMERICANA DE ENGENHEIROS CIVIS (ASCE). Investigações forenses do desempenho de edificações de grande volume e baixa altura atingidas pelo furacão Michael, 2018 (título traduzido). Anais de Engenharia Forense, 2022. DOI 10.1061/9780784484548.038 (resumo consultado).

DEPARTAMENTO DE DEFESA DOS ESTADOS UNIDOS. UFC 3-301-01 — Engenharia estrutural (título traduzido), 2023, com alteração 3 de 2025, item sobre cargas de vento em hangares. Disponível em: https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/ufc_3_301_01_2023_c3.pdf

HAAG ENGINEERING. Avaliação de falha de coberturas de hangares de aeroporto (título traduzido; estudo de caso publicado em 27/06/2022). Disponível em: <https://haagglobal.com/case-studies/airport-hangar-roofs-failure-assessment/>

SMITH, T. L. Foco nos hangares (título traduzido). Revista Professional Roofing, Associação Nacional de Empreiteiros de Coberturas dos EUA, outubro de 2002. Disponível em: <https://professionalroofing.net/articles/article/149>

LIMA, E. G.; LOREDO-SOUZA, A. M. Análise da ocorrência de downbursts [rajadas descendentes] no Brasil. Ciência e Natura, v. 37, ed. especial, p. 32-38, 2015. DOI 10.5902/2179460X16212.

LOREDO-SOUZA, A. M. Influência do tipo de abertura e das características do vento simulado na pressão interna em um pavilhão industrial. Dissertação de mestrado, UFRGS, 1992. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/164476>

SANTOS, D. S.; TRINDADE, C. A. Análise do colapso da cobertura em estrutura metálica da Unidade Operacional da PRF em Bataguassu. UFMS, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/jspui/retrieve/26daaf49-Oaco-4997-9072-58db6f44c88c/1315.pdf>

17.3 Fontes factuais consultadas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL. Entrada em vigor da ABNT NBR 6123:2023. Disponível em: <https://site.abece.com.br/em-vigor-a-nova-nbr-6123/>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL. Entrada em vigor da ABNT NBR 8681:2025. Disponível em: <https://site.abece.com.br/em-vigor-a-nova-nbr-8681/>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL. Entrada em vigor da ABNT NBR 8800:2024. Disponível em: <https://site.abece.com.br/em-vigor-a-nova-nbr-8800/>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL. Emenda 1 da ABNT NBR 6118:2023, publicada em 11 de março de 2026. Disponível em: <https://site.abece.com.br/nbr-6118-tem-emenda-publicada-pela-abnt/>

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Agência Estadual de Notícias. Setembro de 2026 teve o maior volume de chuva já registrado em 14 estações do Simepar. Disponível em:

<https://www.parana.pr.gov.br/aen/Noticia/Setembro-de-2026-teve-o-maior-volume-de-chuva-ja-registrado-em-14-estacoes-do-Simepar>

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Coordenadoria Estadual da Defesa Civil. **SISDC — Relatório de ocorrências dos dias 27 a 30 de setembro de 2026**, atualizado às 10h30 de 30 de setembro de 2026. Disponível em: https://www.defesacivil.pr.gov.br/sites/defesa-civil/arquivos_restritos/files/documento/2026-09/relatorio_30set_10h30_o.pdf

IOWA STATE UNIVERSITY. Iowa Environmental Mesonet. Arquivo de boletins METAR da estação SBTD (Toledo/PR), 28 de setembro a 1º de outubro de 2026. Disponível em: <https://mesonet.agron.iastate.edu/cgi-bin/request/asos.py?station=SBTD&data=metar&year1=2026&month1=9&day1=28&year2=2026&month2=10&day2=1&tz=Etc/UTC&format=onlycomma>

PORTAL RONDON. Vendaval danifica hangares e aeronaves no aeroporto de Toledo. Disponível em: <https://portalrondon.com.br/2026/09/vendaval-danifica-hangares-e-aeronaves-no-aeroporto-de-toledo/>

O PRESENTE. Estimativa aponta de 10 a 12 aeronaves danificadas por vendaval no aeroporto de Toledo. Disponível em: <https://www.opresente.com.br/municipios/estimativa-aponta-de-10-a-12-aeronaves-danificadas-por-vendaval-no-aeroporto-de-toledo/>

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS. Nova edição da ABNT NBR 13752:2024. Disponível em: <https://www.ibapemg.com.br/noticia/nova-edicao-da-abnt-nbr-13-7522024/>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Painel El Niño 2026-2027. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Painel-El-Nin%CC%83o-2edicaofinal.pdf>

CNN BRASIL. Temporal com ventos fortes destrói hangares no Aeroporto de Toledo (PR). Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/sul/pr/temporal-com-ventos-fortes-destroi-hangares-no-aeroporto-de-toledo-pr/>

O PARANÁ / JORNAL DE FATO. Temporal destrói hangares, danifica aeronaves e causa estragos no Aeroporto de Toledo. Disponível em: <https://oparana.com.br/clima/temporal-destroi-hangares-danifica-aeronaves-e-causa-estragos-no-aeroporto-de-toledo/>

PORTAL NOVA SANTA ROSA. Toledo: Simepar analisa destruição no Paraná e não encontra indícios de tornado. Disponível em: <https://portalnovasantarosa.com.br/noticia/toledo-simepar-analisa-destruicao-no-parana-e-nao-encontra-indicios-de-tornado>

BEM PARANÁ. Hangar e aviários destroçados estão entre os estragos de possível tornado no Paraná. Disponível em: <https://www.bemparana.com.br/noticias/parana/toledo-aeroporto/>

TOLEDONEWS. Aviação da Prati-Donaduzzi passam por inspeção e voltam a voar após temporal em Toledo. 02/10/2026. Disponível em: <https://www.toledonews.com.br/noticia/avioes-da-prati-donaduzzi-passam-por-inspecao-e-voltam-a-voar-apos-temporal-em-toledo>

98FM NEWS. Simepar descarta tornado no Paraná, mas alerta para severidade de temporais com ventos de até 105 km/h. 01/10/2026. Disponível em: <https://98fmnews.com.br/simepar-descarta-tornado-no-parana-mas-alerta-para-severidade-de-temporais-com-ventos-de-ate-105-km-h/>

GAZETA SP. Tempestade destrói hangares e atinge 11 aviões da FAB no interior de São Paulo. 27/10/2023. Disponível em: <https://www.gazetasp.com.br/brasil/tempestade-destroi-hangares-e-atinge-11-avioes-da-fab-no-interior-de/>

17.4 Decisões judiciais citadas como casos comparáveis

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE SANTA CATARINA. Apelação Cível, 3ª Câmara de Direito Público, rel. Des. Jaime Ramos, julgada em 23/06/2026 (Município de Irani; número completo do processo a

conferir no sistema do tribunal). Ementa consultada em: <https://www.legjur.com/jurisprudencia/eme/850.6311.0895.3957>

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE SANTA CATARINA. Apelação Cível, 3ª Câmara de Direito Civil, rel. Des. André Carvalho, julgada em 30/06/2026 (número completo do processo a conferir). Ementa consultada em: <https://www.legjur.com/jurisprudencia/eme/902.3731.4194.6963>

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO PARANÁ. 18ª Câmara Cível, rel. Juiz Subst. Diego Santos Teixeira, julgado em 20/07/2026 (número completo do processo a conferir). Ementa consultada em: <https://www.legjur.com/jurisprudencia/eme/607.2195.1891.4204>

SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA. Recurso Especial nº 1.764.439, 3ª Turma, rel. Min. Nancy Andrighi, 2019. Notícia oficial: <https://www.stj.jus.br/sites/portalp/Paginas/Comunicacao/Noticias/2019/Chuva-forte-nao-caracteriza-forca-maior-para-livrar-shopping-de-indenizacao-por-desabamento-de-teto.aspx>

18. Glossário técnico

Banzo. Cada uma das barras longitudinais, superior e inferior, que formam os contornos de uma tesoura treliçada e absorvem o momento fletor pelo binário entre elas.

Barlavento. Face ou lado voltado para a direção de onde sopra o vento. O oposto é sotavento.

Chumbador. Barra, em geral roscada ou dobrada em L, embutida no concreto para ancorar uma chapa metálica ao elemento estrutural.

Consolo. Saliência estrutural na face de um pilar, destinada a receber o apoio de outra peça.

Contraventamento. Conjunto de barras que trava a estrutura nas direções em que ela seria instável, impedindo deslocamentos laterais e a flambagem global.

Cone de arrancamento. Volume de concreto que se destaca em torno de uma ancoragem tracionada, quando a ruptura se dá no concreto em vez de no aço.

Corrente rígida. Barra que liga terças ou banzos entre tesouras vizinhas, limitando o comprimento livre das peças e alinhando-as.

Fretagem. Ver armadura de fretagem, na seção 7.

Graute estrutural de retração compensada. Argamassa de alto desempenho e fluidez controlada, formulada para não retrair durante a cura, empregada em reparos e em preenchimento de ligações.

Isopleta. Linha que une pontos de igual velocidade básica do vento no mapa da ABNT NBR 6123:2023.

Linha de instabilidade. Faixa alongada de tempestades organizadas, frequentemente associada à frente fria, capaz de produzir rajadas descendentes severas ao longo de toda a sua extensão.

METAR. Boletim meteorológico de aeródromo, codificado em intervalos regulares, com vento, visibilidade, nuvens, temperatura e pressão.

Pacometria. Ensaio não destrutivo que localiza e estima a profundidade e o diâmetro das armaduras dentro do concreto.

Perfil UE. Perfil de chapa dobrada a frio em forma de U com enrijecedores de borda nas mesas; designado pela alma, pela mesa, pelo enrijecedor e pela espessura.

Presilha. Peça curta de chapa ou barra que liga os dois perfis de uma barra composta, fazendo-os trabalhar em conjunto.

Rajada descendente. Corrente de ar descendente originada em nuvem convectiva que, ao atingir o solo, espalha-se horizontalmente em ventos retilíneos severos.

Rufo. Peça de arremate que veda a junção entre a cobertura e um elemento vertical, ou a borda da cobertura.

Terça. Peça da cobertura que recebe as telhas e as apoia sobre as tesouras ou pórticos.

Travamento de topo. Vínculo que a cobertura dá ao topo dos pilares, reduzindo o comprimento de flambagem e impedindo o deslocamento horizontal.

Tesoura. Estrutura treliçada de duas águas, formada por barras que trabalham predominantemente à tração ou à compressão, ligadas em nós, capaz de vencer vãos grandes com pouco peso próprio.



19. Índice do acervo fotográfico e manifesto das figuras

As fotografias estão numeradas na ordem da narrativa da ruína. As Fotografias 01 a 59 conservam a numeração das emissões anteriores; as 60 a 106 formam o acervo complementar. A coluna item identifica a unidade de custódia no acervo. A data de captura é dada como confirmada só quando há metadado conferido; nos demais casos, a figura é identificada pela data de recebimento ou pela fonte.

O anexo contém 106 figuras: 89 fotografias originais; 14 quadros extraídos de cinco vídeos (Fotografias 01 a 03, do item D067; 57 e 58, do item D019; 61 e 62, do item D175; 99 a 102, do item D213; 103 a 105, do item D214); 2 imagens de terceiros (Fotografias 70 e 71); e 1 reprodução documental (Fotografia 59, item D078). Integram ainda o acervo complementar, sem figura própria, o resumo da análise dos vídeos das câmeras da pista (item D215), os relatos da gerência de engenharia da contratante (item D216) e as informações da contratante sobre o portão e do responsável pelo desmonte sobre as soldas, transmitidas ao subscritor (item D217).

Foto	Item	Bloco	Assunto	Classe	Custodiante / origem	Data de captura
01	D067	A	Vista externa do hangar, anterior a qualquer remoção. Quadro extraído de...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; cena anterior a qualquer remoção
02	D067	A	Interior do hangar visto do pátio, anterior a qualquer remoção. Quadro...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; cena anterior a qualquer remoção
03	D067	A	Barra de contraventamento dobrada, pendurada na face interna do...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; cena anterior a qualquer remoção
04	D013	A	Fissura vertical na cabeça de pilar, logo abaixo do apoio da cobertura...	fotografia original	contratante	recebida em 30/09/2026
05	D014	A	Aproximação da mesma fissura da Fotografia 04. Registro recebido da...	fotografia original	contratante	recebida em 30/09/2026
06	D015	B	Fachada do hangar em telha trapezoidal, com a identificação visual da...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
07	D016	B	Arremate superior da fachada levantado e dobrado.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
08	D017	B	Piça de arremate de borda destacada e empenada.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
09	D043	B	Vista do topo do fechamento para a pista do aeródromo e para o entorno.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
10	D026	B	Topo do fechamento: placa de platibanda em concreto aparente sobre as...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
11	D027	B	Platibanda contra o céu, com a cobertura ausente.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
12	D028	B	Arremate metálico rasgado sobre a platibanda, no canto da edificação.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
13	D033	B	Arremates brancos retorcidos sobre a linha de platibanda, com cabos soltos.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
14	D065	B	Encontro entre a placa de platibanda em concreto aparente e a placa...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
15	D066	B	Encontro entre platibanda, pilar e fechamento, visto de baixo.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
16	D036	C	Extremidade de treliça ainda alojada no nicho da placa, com os perfis...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
17	D037	C	Aproximação da ruptura da Fotografia 16.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026

Foto	Item	Bloco	Assunto	Classe	Custodiante / origem	Data de captura
18	Do38	C	Parafuso com arruela e porca soltos sobre a superfície de concreto, ao...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
19	Do39	C	Nó de extremidade da treliça sobre o consolo de concreto, com arruela...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
20	Do44	C	Topo de pilar após a ruína: chapa embutida com produto de oxidação...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
21	Do45	C	Mesmo topo de pilar da Fotografia 20, em outro ângulo.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
22	Do32	C	Chapa de ligação embutida no concreto, com corrosão generalizada na face...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
23	Do34	C	Cantoneira de ligação caída no piso do hangar, entre detritos.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
24	Do54	D	Barra roscada emergindo de concreto fraturado, com fissuração radial.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
25	Do55	D	Destacamento do cobrimento em cunha, com armadura longitudinal e estribo...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
26	Do58	D	Fenda vertical aberta em elemento de concreto, com armadura exposta no...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
27	Do59	D	Cabeça de pilar partida de alto a baixo, com o condutor pluvial...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
28	Do60	D	Fissuração em mapa com armadura exposta e fragmento de concreto em...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
29	Do31	D	Placa de fechamento perfurada e fissura no encontro entre placas, vista do...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
30	Do47	E	Linha de pontos de fixação arrancados no topo da placa pintada, junto à...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
31	Do48	E	Outro trecho da mesma linha de fixação arrancada.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
32	Do49	E	Passo regular dos pontos arrancados ao longo da junta.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
33	Do50	E	Condutor pluvial e respectivo suporte no topo do fechamento, ainda fixados.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
34	Do51	E	Vista do topo do fechamento com painel rompido e montante galvanizado...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
35	Do29	F	Interior do hangar: viga de concreto aparente, cabos elétricos soltos e...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
36	Do30	F	Interior do hangar, enquadramento mais amplo: bloco de escritórios íntegro...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
37	Do35	F	Piso interno com tubulação hidráulica aparente, detritos e acúmulo de...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
38	Do46	F	Junta entre o concreto aparente e peça metálica, com fragmentos soltos.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
39	Do20	G	Folha completa do portão caída sobre o gramado, com os ganchos de...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026

Foto	Item	Bloco	Assunto	Classe	Custodiante / origem	Data de captura
40	Do18	G	Folha empilhada com a calha-guia deformada e ferragens de rolamento.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
41	Do21	G	Perfis do quadro das folhas, empilhados sobre o pavimento.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
42	Do22	G	Folhas do portão empilhadas, com uma folha de identificação visual da...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
43	Do23	G	Pilha de folhas e perfis no pátio pavimentado.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
44	Do24	G	Extremidade de perfil tubular rompida, com oxidação na superfície de...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
45	Do25	G	Folhas e ferragens de rolamento sobre o gramado, junto à pilha.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
46	Do40	H	Nicho no topo de placa, com inserto metálico embutido e peça de madeira...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
47	Do41	H	Fissura vertical no encontro entre painéis, no bloco de escritórios.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
48	Do42	H	Junta horizontal aberta entre elemento de concreto e peça metálica.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
49	Do52	H	Canto do bloco de escritórios com painel rompido e conduíte descolado.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
50	Do53	H	O mesmo canto da Fotografia 49, visto de baixo contra o céu.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
51	Do56	H	Painel rompido com montante galvanizado exposto e conduíte corrugado.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
52	Do57	H	O mesmo trecho da Fotografia 51, com o concreto fraturado visível atrás do...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
53	Do61	H	Fissura fina em junta de painel, no interior do bloco de escritórios.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
54	Do62	H	Fissura em canto interno, junto ao cordão de selante.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
55	Do63	H	Corrimão da escada interna, com fissura fina na superfície atrás.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
56	Do64	H	Outro trecho do corrimão, com a fissura capilar prosseguindo.	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 11/10/2026
57	Do19	I	Hangar vizinho, de alvenaria de tijolo cerâmico, com o telhamento...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; vídeo recebido em 11/10/2026
58	Do19	I	Aeronave de pequeno porte destruída sob os destroços da cobertura do...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; vídeo recebido em 11/10/2026
59	Do78	I	Ficha técnica do Embraer EMB-500 Phenom 100, modelo indicado como o...	reprodução documental	fabricante da aeronave, via contratante	documento
60	D174	J	Vão do portão visto de fora, durante a obra: a faixa da cobertura junto à...	fotografia original	contratante	não estabelecida; período de obra
61	D175	J	Quadro de vídeo: o interior visto em direção ao vão do portão, com a...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; período de obra
62	D175	J	Quadro do mesmo vídeo: o forro liso encontra as folhas do portão...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; período de obra

Foto	Item	Bloco	Assunto	Classe	Custodiante / origem	Data de captura
63	D176	J	Interior durante a obra: tesouras treliçadas, terças, contraventamento e o...	fotografia original	contratante	não estabelecida; período de obra
64	D177	J	Parede interna e estrutura da cobertura durante a obra, com marcação em...	fotografia original com marcação de terceiro	contratante	não estabelecida; período de obra
65	D178	J	Topo da parede lateral visto de dentro, com traço verde de terceiro ao...	fotografia original com marcação de terceiro	contratante	não estabelecida; período de obra
66	D179	J	Mesma parede lateral, outro trecho: tesouras chegando ao topo dos pilares...	fotografia original	contratante	não estabelecida; período de obra
67	D180	J	Detalhe da borda da cobertura sobre a parede lateral, com contorno laranja...	fotografia original com marcação de terceiro	contratante	não estabelecida; período de obra
68	D181	J	Beiral da cobertura visto de baixo, pelo lado externo, com setas de...	fotografia original com marcação de terceiro	contratante	não estabelecida; período de obra
69	D182	J	Encontro entre a borda da cobertura e o topo do fechamento lateral, com...	fotografia original com marcação de terceiro	contratante	não estabelecida; período de obra
70	D183	K	Fachada do portão no dia seguinte: folhas do portão caídas no piso, junto...	imagem de terceiro	veículo de imprensa (marca d'água...	não estabelecida; dia seguinte ao evento, pela cena
71	D184	K	Imagem aérea: hangar sem cobertura, duas aeronaves no interior, folha do...	captura de tela de vídeo de terceiro	vídeo aéreo publicado em rede social...	não estabelecida; dia seguinte ao evento, pela cena
72	D185	K	Topo de uma folha do portão: a chapa trapezoidal rasgou-se ao longo da...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
73	D186	K	Outro trecho da mesma linha: chapa rasgada junto ao parafuso, com o...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
74	D187	K	Chapa de folha do portão rasgada ao longo da travessa, vista de outro...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
75	D188	K	Travessa de folha do portão com a chapa descolada e rasgada por baixo...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
76	D189	K	Folha do portão vista de cima: quadro e travessas retos; chapa descolada...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
77	D190	K	Roldanas e pinos-guia na extremidade de folhas empilhadas no pátio, com...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
78	D191	K	Canto superior de folha sobre o gramado: pino-guia dobrado e tubo do...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
79	D192	K	Folhas empilhadas sobre o gramado: pino-guia dobrado e escorrimto de...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
80	D193	K	Detalhe do quadro de uma folha: chapa trapezoidal fixada ao montante por...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
81	D194	K	Montante e chapa de folha do portão, com escorrimtos de oxidação nas...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
82	D195	K	Junção entre montante e chapa, com fresta aberta ao longo da borda e um...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
83	D196	K	Chapa trapezoidal de folha do portão com faixas de oxidação ao longo das...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
84	D197	L	Primeiro pilar junto ao portão: fenda vertical larga, em zigue-zague, na...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
85	D198	L	Primeiro pilar junto ao portão: o topo destacou-se em cunha, expondo duas...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026

Foto	Item	Bloco	Assunto	Classe	Custodiante / origem	Data de captura
86	D199	L	Aproximação da Fotografia 85: barra longitudinal curvada para fora...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
87	D200	L	Outra aproximação do mesmo topo: barra nervurada exposta junto à face, com...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
88	D201	L	Fissura inclinada na placa de concreto chegando à cantoneira que fixa o...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
89	D202	L	Fissuras finas inclinadas cruzando placas e o encontro com o pilar, com...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
90	D203	L	Fissuras finas inclinadas, paralelas entre si, na superfície pintada de...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
91	D204	L	Cabeça de pilar com o cobrimento destacado ao longo de uma barra, exposta...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
92	D205	L	Mesmo pilar, com a quina chanfrada à direita: a abertura acompanha a barra...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
93	D206	L	Outra tomada do mesmo pilar: barra nervurada exposta no fundo da abertura...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
94	D207	L	Cabeça de pilar com o condutor pluvial de PVC saindo de dentro do concreto...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
95	D208	L	Mesmo pilar: fragmento de concreto com barra, solto na abertura, marca...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
96	D209	M	Chapa de ligação no topo de pilar: quatro furos de contorno alongado em...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
97	D210	M	A mesma chapa, em outro enquadramento: linha escura dividindo-a ao meio...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
98	D211	M	Outra chapa de ligação no topo de pilar, dobrada, com dois furos alongados...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026
99	D213	N	Trecho de tesoura tombado sobre o terreno, com três suportes de terça...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; vídeo recebido em 14/10/2026
100	D213	N	Equipe cortando a estrutura tombada; ao fundo, a sequência de tesouras com...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; vídeo recebido em 14/10/2026
101	D213	N	Tesouras deitadas no terreno, deformadas, com retalhos de telha espalhados.	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; vídeo recebido em 14/10/2026
102	D213	N	Trecho de tesoura de pé sobre o terreno, com os suportes de terça no topo...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; vídeo recebido em 14/10/2026
103	D214	N	Segundo vídeo: tesouras tombadas formando um amontoado inclinado, com...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; vídeo recebido em 14/10/2026
104	D214	N	Banzo de tesoura em primeiro plano, com pequena chapa de ligação furada...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; vídeo recebido em 14/10/2026
105	D214	N	Equipe de corte junto aos destroços; terças, telhas galvanizadas e brancas...	quadro de vídeo	contratante	não estabelecida; vídeo recebido em 14/10/2026
106	D212	O	Pátio molhado e hangar vizinho de portões verdes, com os portões no lugar...	fotografia original	contratante	não estabelecida; recebida em 15/10/2026

Anexo A — Memorial fotográfico

Todas as 106 figuras do laudo, reunidas em blocos temáticos, cada uma com legenda e análise técnica. As Fotografias 01 a 59 vêm das emissões anteriores e conservam a numeração, para que as referências do corpo continuem válidas. As Fotografias 60 a 106 formam o acervo complementar recebido em 14 e 15/10/2026, nos Blocos J a O. Nenhuma figura é atribuída individualmente à vistoria; as datas de recebimento e as origens estão no manifesto da seção 19. Imagens de terceiros são identificadas pela fonte.

Bloco A — O conjunto na manhã seguinte ao evento

Dois registros recebidos da contratante em 30/09/2026 e três quadros de um vídeo recebido, cuja data de captura não está estabelecida por metadado. A cena é anterior a qualquer remoção: é o estado original.



Fotografia 01 — Vista externa do hangar, anterior a qualquer remoção. Quadro extraído de vídeo recebido; data de captura não estabelecida.

Análise técnica: A estrutura de cobertura aparece arriada sobre a parede, em curva, com terças e banzos ainda ligados entre si mas completamente fora de posição. Não há uma única telha sobre a estrutura. O padrão é compatível com deslocamento do conjunto como corpo, depois de perdido o telhamento, e não com cedimento por flexão sob carga descendente, que deixaria as peças no plano original com flecha acentuada. A ordem temporal entre a perda das telhas e o deslocamento da estrutura não foi registrada e permanece hipótese causal. A parede de placas pré-moldadas sob a estrutura permanece aprumada e íntegra. A seção 9.16 revisa a ordem: os vídeos do desmonte mostram trechos da cobertura lançados com telhas ainda presas.



Fotografia 02 — Interior do hangar visto do pátio, anterior a qualquer remoção. Quadro extraído de vídeo recebido; data de captura não estabelecida.

Análise técnica: O bloco de escritórios de dois pavimentos está íntegro, com caixilhos e vidros no lugar. Acima dele, o esqueleto metálico da cobertura pende contra o céu aberto. O contraste entre o bloco interno preservado e a cobertura ausente mostra que a solicitação se concentrou na interface entre a cobertura e o apoio, e não se distribuiu pela edificação. O piso apresenta lâmina d'água, compatível com a chuva de 48,2 mm registrada em 24 horas.



Fotografia 03 — Barra de contraventamento dobrada, pendurada na face interna do fechamento. Quadro extraído de vídeo recebido; data de captura não estabelecida.

Análise técnica: A barra está dobrada em V, com a dobra plástica concentrada num único ponto e os dois trechos retos. Esse padrão indica que a barra foi solicitada transversalmente depois de perder uma de suas extremidades, e não que tenha flambado sob compressão axial, caso em que a curvatura seria distribuída ao longo do comprimento. É compatível com a perda de uma ligação de extremidade; a ordem dos eventos não foi registrada.



Fotografia 04 — Fissura vertical na cabeça de pilar, logo abaixo do apoio da cobertura. Registro recebido da contratante em 30/09/2026.

Análise técnica: A fissura nasce junto ao apoio e desce pela face do elemento, com traçado vertical e abertura decrescente para baixo. Acima, veem-se as treliças deslocadas, em cor de fundo anticorrosivo alaranjado, e as terças claras, apoiadas sobre a borda da placa. O traçado vertical, partindo do ponto de introdução de carga, é a assinatura geométrica do fendilhamento por força concentrada, e não de retração, que produziria traçado irregular, nem de recalque, que produziria traçado inclinado.



Fotografia 05 — Aproximação da mesma fissura da Fotografia 04. Registro recebido da contratante em 30/09/2026.

Análise técnica: A aproximação confirma a abertura da fissura e o seu desenvolvimento contínuo ao longo da altura visível. Ao fundo, a treliça rompida e as terças desalinhadas. Este registro é importante por ser anterior a qualquer remoção: estabelece que o fendilhamento da cabeça de pilar já existia em 30/09/2026, e não foi produzido pelos trabalhos de remoção posteriores.

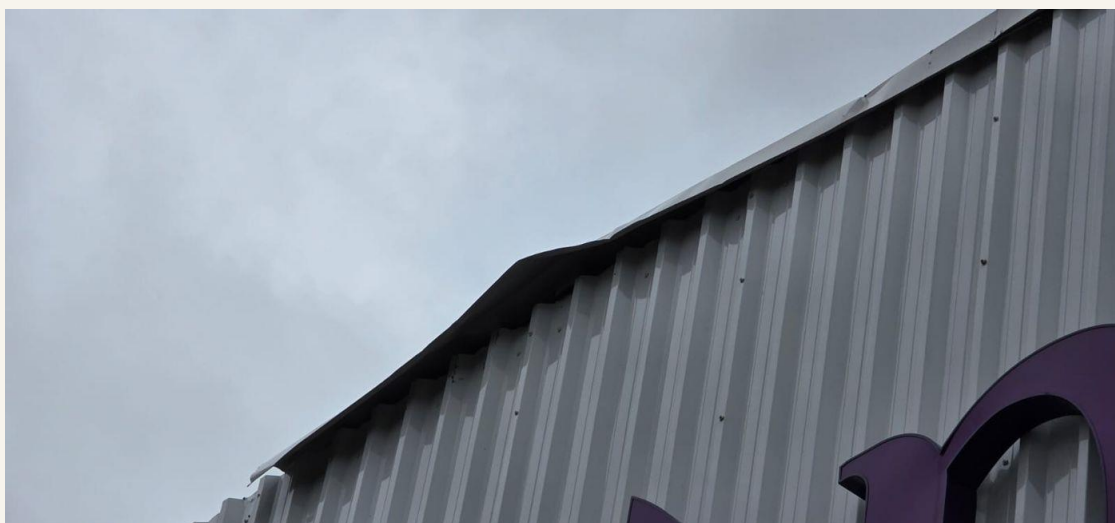
Bloco B — A envoltória, os arremates de borda e o entorno

O que o vento fez com a pele da edificação, e o terreno que define a categoria de rugosidade adotada no cálculo. Registros recebidos em 11/10/2026.



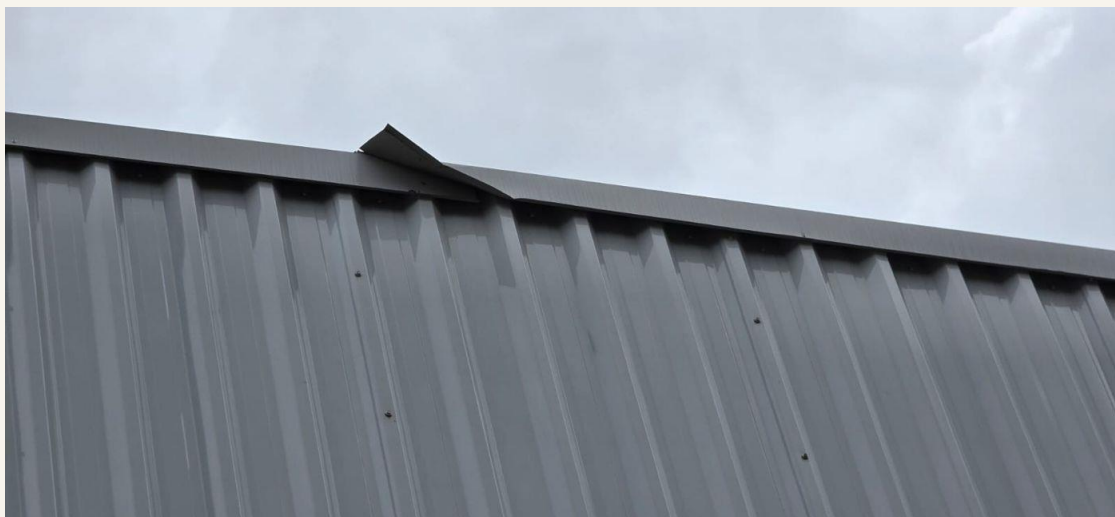
Fotografia 06 — Fachada do hangar em telha trapezoidal, com a identificação visual da contratante.

Análise técnica: O fechamento de fachada em telha trapezoidal permanece fixado ao longo de toda a superfície visível, com os parafusos autobrocantes nas ondas. A borda superior, ao contrário, mostra o arremate deformado e deslocado do alinhamento. O padrão é consistente: o campo da fachada resistiu, a borda não. Em fachada, a pressão de vento é predominantemente de sobrepressão e tende a comprimir a telha contra a estrutura; na borda superior, o escoamento se separa e a sucção local é severa.



Fotografia 07 — Arremate superior da fachada levantado e dobrado.

Análise técnica: A peça de arremate está levantada ao longo de um trecho e mantém-se presa nas extremidades, formando uma concavidade voltada para cima. Essa é a deformação típica de um elemento de chapa fina submetido a sucção com fixação insuficiente no intervalo entre pontos: a peça arqueia entre fixadores antes de arrancá-los. Na sequência da seção 9.7 era o primeiro elo; na sequência revisada da seção 9.16, é efeito de borda que acompanha a perda da cobertura.



Fotografia 08 — Peça de arremate de borda destacada e empenada.

Análise técnica: Um trecho triangular do arremate está descolado e virado para fora do plano, com a dobra na linha de fixação. A chapa não rompeu por tração no corpo: ela girou em torno da linha de fixadores até se desprender. Confirma que a solicitação crítica na borda é de sucção, e que a capacidade da fixação governou o comportamento.



Fotografia 09 — Vista do topo do fechamento para a pista do aeródromo e para o entorno.

Análise técnica: Registro que sustenta a adoção da Categoria II de rugosidade no cálculo do fator S2. Veem-se a pista pavimentada, a placa de sinalização de pista de táxi, gramado contínuo, cerca e, ao fundo, campo aberto com remanescente de eucaliptos e edificações rurais esparsas. É terreno aberto em nível com poucos obstáculos isolados, que é a definição da Categoria II, e o próprio exemplo que a ABNT NBR 6123:2023 usa. À esquerda, o condutor pluvial e um trecho de placa danificado na borda.



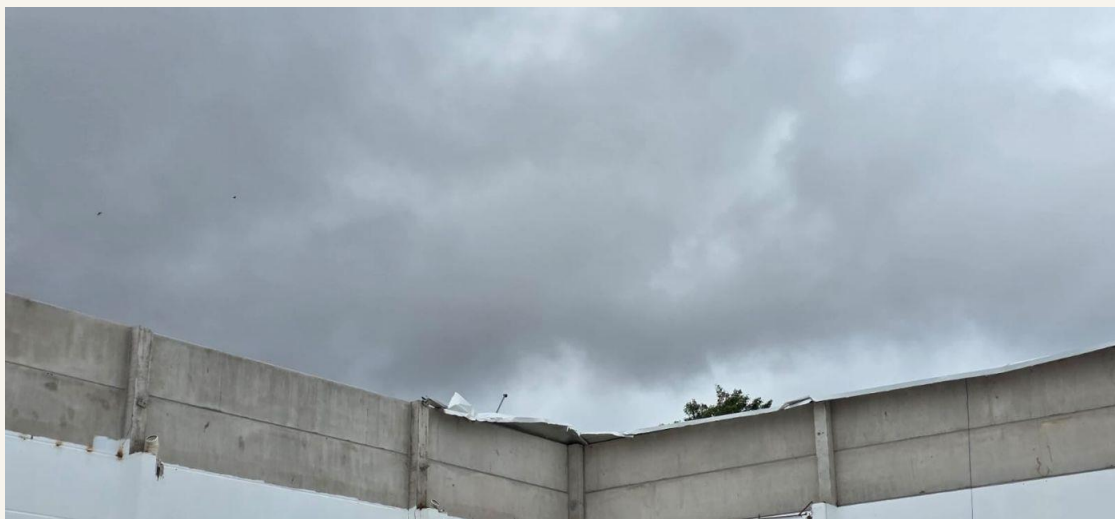
Fotografia 10 — *Topo do fechamento: placa de platibanda em concreto aparente sobre as placas pintadas.*

Análise técnica: A platibanda em concreto aparente está íntegra. Na junta entre ela e a placa pintada vê-se a linha de pontos de fixação arrancados, com manchas de oxidação em passo regular, detalhada no Bloco E. Dois tubos de ventilação ou de dreno permanecem no lugar. Atrás da platibanda, onde havia cobertura, vê-se o céu. À esquerda, edificação vizinha de cor verde.



Fotografia 11 — *Platibanda contra o céu, com a cobertura ausente.*

Análise técnica: A sequência de placas de platibanda permanece alinhada e aprumada ao longo de toda a extensão visível, incluindo a mudança de direção no canto. Uma envoltória de concreto que permanece íntegra enquanto a cobertura inteira é removida indica que a solicitação que venceu o conjunto se concentrou na interface de topo, e não na estrutura vertical.



Fotografia 12 — Arremate metálico rasgado sobre a platibanda, no canto da edificação.

Análise técnica: Restos de chapa branca permanecem presos sobre a placa de platibanda, rasgados e virados. O canto é a região de maior sucção local numa edificação, por combinar separação de escoamento em duas direções. O fato de o material remanescente estar concentrado exatamente ali é coerente com essa distribuição.



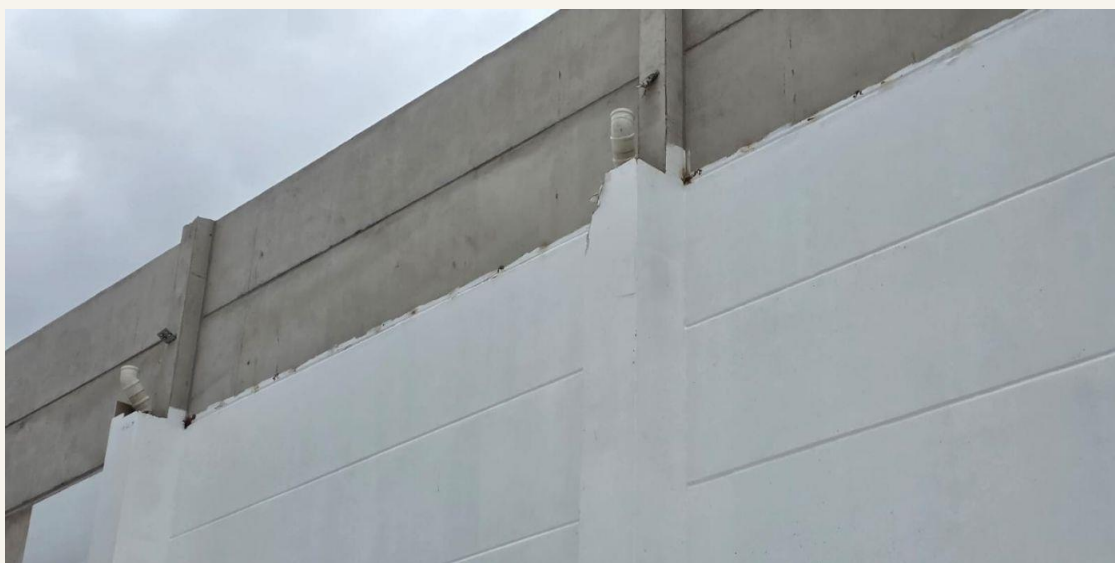
Fotografia 13 — Arremates brancos retorcidos sobre a linha de platibanda, com cabos soltos.

Análise técnica: A faixa de arremate está retorcida e parcialmente arrancada ao longo da borda. Abaixo, na junta entre a platibanda de concreto aparente e a placa pintada, repete-se a linha de fixação arrancada. Um pilar pré-moldado aparece destacando-se acima do plano das placas. Cabos elétricos amarelo e preto pendem soltos, item tratado na medida de urgência R-00.5.



Fotografia 14 — Encontro entre a placa de platibanda em concreto aparente e a placa pintada do fechamento.

Análise técnica: A imagem mostra com clareza a composição do fechamento em duas faixas: a inferior pintada de branco e a superior, correspondente à platibanda, em concreto aparente. Na junta entre elas, a linha de fixadores arrancados e, na extremidade, um tubo remanescente. Não há fissuração nas placas de platibanda.



Fotografia 15 — Encontro entre platibanda, pilar e fechamento, visto de baixo.

Análise técnica: Vê-se a viga ou placa superior em concreto aparente apoiada sobre o pilar, e as placas de fechamento pintadas à frente. O conjunto está apurcado e sem fissuração de flexão. Na borda superior das placas pintadas, a linha de fixadores arrancados segue visível, assim como dois tubos remanescentes e, à esquerda, um inserto metálico embutido na face do pilar.

Bloco C — A ligação treliça-pilar: onde o caminho da força se interrompeu

O achado central deste laudo. Os vestígios são compatíveis com ruptura por tração localizada nas ligações, e não com escoamento das barras. Registros recebidos em 11/10/2026; o projeto previa, em cada apoio, chapa de 230 mm por 250 mm com seis chumbadores de meia polegada (prancha 01/41).



Fotografia 16 — Extremidade de treliça ainda alojada no nicho da placa, com os perfis rompidos.

Análise técnica: A extremidade da peça metálica projeta-se de um nicho na placa de concreto. Os perfis estão rasgados e amassados, com as bordas da ruptura viradas para fora e a pintura esfoliada ao longo da linha de fratura. Na superfície de concreto à esquerda do nicho veem-se dois fixadores de pequeno diâmetro remanescentes. A virada das bordas para fora indica que a peça foi puxada para fora do nicho, isto é, tracionada na direção do seu eixo, e não cisalhada.



Fotografia 17 — Aproximação da ruptura da Fotografia 16.

Análise técnica: A aproximação mostra que a ruptura se deu por rasgamento da parede do perfil, com estiramento das fibras junto à linha de fratura e destacamento da pintura em escamas ao longo dela. Há oxidação superficial na linha de fratura, cuja idade e contribuição causal não podem ser determinadas por inspeção visual; a verificação de perda de seção depende do exame da peça preservada. O aspecto de estiramento das fibras é compatível com ruptura dúctil, o que não indica fragilidade do material.



Fotografia 18 — Parafuso com arruela e porca soltos sobre a superfície de concreto, ao lado da ligação rompida.

Análise técnica: Os elementos de fixação estão íntegros e soltos sobre o concreto, ao lado dos perfis rompidos. Parafuso que permanece íntegro enquanto a chapa em torno dele se rasga indica que a ruptura se deu no elemento conectado, e não no conector. Em termos de projeto, significa que a capacidade da ligação foi governada pela resistência ao rasgamento da parede fina do perfil, e não pela resistência do parafuso à tração.



Fotografia 19 — Nó de extremidade da treliça sobre o consolo de concreto, com arruela solta em furo vazio.

Análise técnica: Esta é a fotografia que melhor explica o mecanismo. Sobre a superfície do consolo há uma marca retangular de oxidação, que é a pegada da chapa de base que ali esteve apoiada, e uma arruela assentada no concreto em torno de um furo vazio. A arruela permaneceu e o elemento que passava por dentro dela não. À esquerda, o nó da treliça com as diagonais e o banzo, com a chapa de ligação rasgada, dobrada e com a pintura esfoliada. No alto à esquerda, a extremidade de uma barra seccionada expõe a seção transversal do perfil tubular, de parede fina. O conjunto caracteriza arrancamento da ancoragem, e não ruptura por esforço na barra.



Fotografia 20 — *Topo de pilar após a ruína: chapa embutida com produto de oxidação, arruela em furo vazio, chapa rasgada e cantoneira deformada.*

Análise técnica: Sobre o topo do pilar restaram: uma chapa metálica embutida com produto de oxidação na face exposta; uma arruela ainda posicionada num furo sem parafuso, à direita; um fragmento de chapa rasgado e levantado, à esquerda; uma cantoneira deformada caída ao lado; e um parafuso com porca. A placa de fechamento ao fundo exhibe respingos de tinta alaranjada e escorrimento de oxidação. Os vestígios são compatíveis com ruptura por tração localizada na ligação. A chapa embutida é, em tipo, a chapa CH 01 da prancha 01/41; suas dimensões e o número, o diâmetro e o embutimento dos chumbadores não se conferem em fotografia. A capacidade resistente da ligação executada e a sua margem em relação à demanda da seção 9.5 não foram determinadas: dependem da medição das peças, da identificação dos materiais e da verificação de todos os modos de falha.



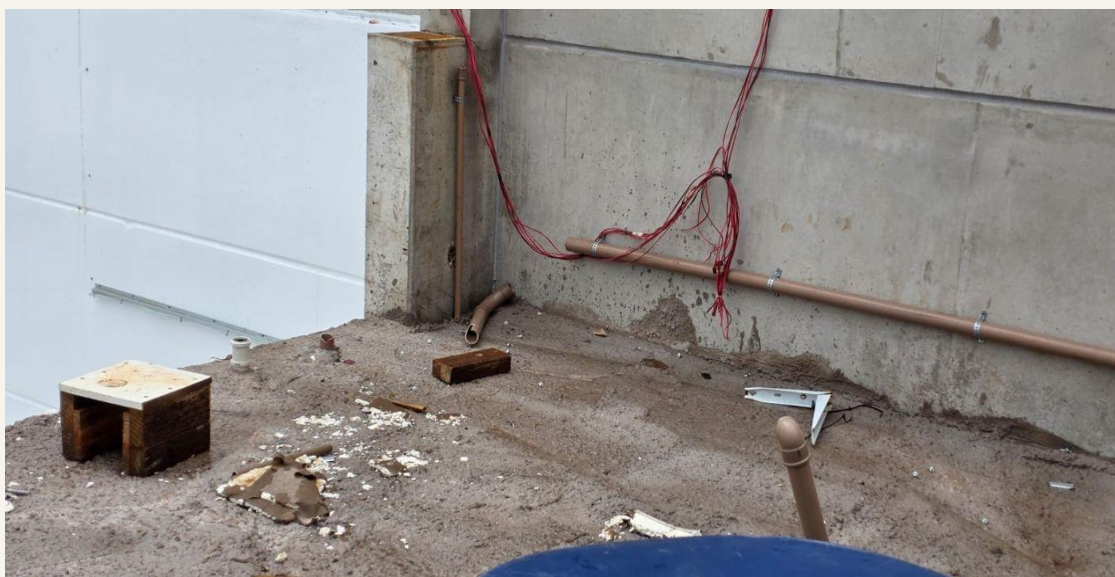
Fotografia 21 — *Mesmo topo de pilar da Fotografia 20, em outro ângulo.*

Análise técnica: O ângulo alternativo confirma que o fragmento de chapa levantado está preso apenas por uma aresta e girou em torno dela, e que a cantoneira sofreu deformação plástica por flexão. Confirma também a arruela em furo vazio, à direita. Ao fundo, o condutor pluvial e a placa com as marcas de tinta.



Fotografia 22 — Chapa de ligação embutida no concreto, com corrosão generalizada na face exposta.

Análise técnica: A chapa embutida apresenta corrosão generalizada com produto de oxidação em camada, uma arruela no canto superior esquerdo e um fixador de pequeno diâmetro remanescente no centro. O concreto em torno está fraturado, com fragmentos soltos nas bordas. Registre-se o limite desta observação: a extensão da corrosão visível não permite, sem ensaio, distinguir o que é anterior ao evento do que se formou na exposição posterior a ele. O que a fotografia estabelece com segurança é a fratura do concreto em torno da chapa, que é dado de arrancamento.



Fotografia 23 — Cantoneira de ligação caída no piso do hangar, entre detritos.

Análise técnica: A peça metálica branca com furos, à direita na imagem, é um elemento de ligação encontrado solto no piso, longe de qualquer apoio. Ao fundo, a placa de fechamento, a tubulação hidráulica e os cabos elétricos vermelhos pendentes. O piso apresenta acúmulo de material fino trazido pela água. Elemento de ligação no chão é peça que se desprende inteira, e não que escoou no lugar.

Bloco D — Fendilhamento das cabeças de pilar e das placas

A consequência do arrancamento sobre o concreto. O padrão geométrico das fissuras é o que separa este diagnóstico de recalque, retração ou flexão.



Fotografia 24 — Barra roscaada emergindo de concreto fraturado, com fissuração radial.

Análise técnica: Uma barra roscaada corroída emerge de uma região de concreto fraturado, com fissuras partindo do ponto de emergência em traçado radial e um fragmento de cobrimento destacado. Esse é o desenho do cone de arrancamento: a força de tração na barra gera tensões de tração transversais no concreto que a envolve, e o concreto se abre em planos que convergem para o ponto de aplicação. No canto inferior vê-se outra barra roscaada, no mesmo estado. O projeto previa chumbadores de meia polegada com 187 mm retos sob a chapa e a 30 a 40 mm da face do pilar (prancha 01/41); o diâmetro e o embutimento executados não se medem em fotografia.



Fotografia 25 — Destacamento do cobrimento em cunha, com armadura longitudinal e estribo expostos.

Análise técnica: O cobrimento destacou-se em forma de cunha, expondo duas barras longitudinais corroídas e um estribo. A geometria em cunha, com vértice voltado para o interior da peça, é a do fendilhamento. O cobrimento especificado em projeto para pilares é de 2 cm, o que é compatível com a classe de agressividade ambiental usual, mas deixa pouca reserva de confinamento para ancoragem introduzida próximo à face. À direita, montante galvanizado, painel de fechamento e eletroduto corrugado. Segundo identificação do subscritor, nesta terceira emissão, trata-se da cabeça do primeiro pilar junto ao portão, fotografada em aproximação nas Fotografias 85 a 87.



Fotografia 26 — Fenda vertical aberta em elemento de concreto, com armadura exposta no interior.

Análise técnica: A fenda é contínua ao longo da altura visível, com abertura suficiente para expor a armadura no seu interior, e vem acompanhada de fissuração em mapa na superfície adjacente. Fenda que se desenvolve paralelamente à direção de uma força concentrada, expondo a armadura sem seccioná-la, é fendilhamento. Se fosse flexão, a fissura seria transversal ao eixo e de abertura decrescente da face tracionada para a comprimida.



Fotografia 27 — Cabeça de pilar partida de alto a baixo, com o condutor pluvial atravessando a abertura.

Análise técnica: A cabeça do pilar está partida segundo um plano vertical que atravessa toda a altura visível, e a abertura é larga o bastante para que o condutor pluvial apareça através dela. No topo, a superfície de concreto aparente mostra o assento da peça removida. À direita, uma reentrância circular com pequenos furos, compatível com inserto embutido, e um elemento metálico projetando-se da face. Esta é a manifestação mais severa do fendilhamento documentado no bloco, e o elemento exige recuperação estrutural antes de receber qualquer nova cobertura.



Fotografia 28 — *Fissuração em mapa com armadura exposta e fragmento de concreto em destacamento.*

Análise técnica: A fissuração em mapa ao redor da fenda principal, com um fragmento de concreto ainda aderido mas destacado do substrato, indica que a região perdeu continuidade e que a transferência de esforço por aderência está comprometida na profundidade do cobrimento. É região a ser removida até o concreto são, conforme a intervenção T-02.



Fotografia 29 — *Placa de fechamento perfurada e fissura no encontro entre placas, vista do interior.*

Análise técnica: Vê-se, no interior do hangar, o encontro entre placas de fechamento com uma fissura vertical na junta e um furo passante numa das placas. Acima, a face inferior da viga em concreto aparente e, à direita, o remate rompido com o elemento de concreto exposto. O perfil metálico claro ao longo da aresta é o arremate interno. O dano é de borda e de junta, não compromete o corpo das placas, e está contemplado na intervenção T-08.

Bloco E — A linha de fixação arrancada no topo do fechamento

A pegada da fixação que prendia a calha, o rufo e o arremate de borda. Ela não cedeu num ponto: cedeu ao longo de toda a linha.



Fotografia 30 — Linha de pontos de fixação arrancados no topo da placa pintada, junto à junta com a platibanda.

Análise técnica: Ao longo da junta entre a placa de concreto aparente e a placa pintada, sucedem-se pontos de fixação arrancados, cada um marcado por mancha de oxidação e por destacamento localizado da pintura e da argamassa. A sucessão é regular. Não se registra aqui a distância entre os pontos, porque ela não foi medida em campo e não se extrai de imagem. O que a regularidade estabelece é que a solicitação foi distribuída ao longo da linha, e não concentrada, o que afasta a hipótese de impacto localizado.



Fotografia 31 — Outro trecho da mesma linha de fixação arrancada.

Análise técnica: O trecho confirma o padrão da Fotografia 30 em extensão diversa do perímetro. Em alguns pontos o arrancamento levou consigo lascas do cobrimento da placa; em outros restou apenas a mancha de oxidação. A variação é compatível com diferenças locais de embutimento e de qualidade do substrato, e não altera a leitura do conjunto.



Fotografia 32 — *Passo regular dos pontos arrancados ao longo da junta.*

Análise técnica: Este registro é o mais legível do bloco: os pontos de oxidação sucedem-se em passo visivelmente constante ao longo de toda a extensão enquadrada. É a evidência mais clara de que a fixação de borda da cobertura foi arrancada em conjunto, por solicitação distribuída de sucção, e não removida ponto a ponto.



Fotografia 33 — *Condutor pluvial e respectivo suporte no topo do fechamento, ainda fixados.*

Análise técnica: O condutor e o seu suporte metálico permanecem no lugar, o que é informativo: a fixação do condutor, que é leve e tem pouca área exposta, resistiu, enquanto a fixação do arremate de cobertura, que tem grande área exposta à sucção, não resistiu. A diferença está na solicitação, não na qualidade da fixação. Confirma que o que venceu a linha de borda foi a área, e não um defeito pontual.



Fotografia 34 — Vista do topo do fechamento com painel rompido e montante galvanizado exposto, e a pista ao fundo.

Análise técnica: Um painel do remate está rompido e deixa à vista o montante galvanizado interno. À esquerda e à direita, a linha de fixadores arrancados prossegue. Ao fundo, a cabeceira da pista com a numeração pintada no pavimento e o entorno gramado, que confirmam a caracterização de rugosidade da Fotografia 09. Dois condutores pluviais permanecem fixados às placas.

Bloco F — O interior do hangar

O que restou dentro, e o que o estado do interior diz sobre a direção em que a solicitação atuou.



Fotografia 35 — Interior do hangar: viga de concreto aparente, cabos elétricos soltos e céu aberto acima.

Análise técnica: A viga e a placa superior em concreto aparente estão íntegras. Dos seus pontos de passagem pendem cabos elétricos vermelhos, soltos e seccionados, objeto da medida de urgência R-00.5. Na borda superior, arremates metálicos brancos rasgados permanecem pendurados, objeto de R-00.3. À direita, o bloco de escritórios com caixilhos e vidros íntegros e aparelho de ar-condicionado no lugar. Acima de tudo, o céu.



Fotografia 36 — Interior do hangar, enquadramento mais amplo: bloco de escritórios íntegro sob a cobertura ausente.

Análise técnica: O bloco de escritórios, construído em painéis sobre estrutura metálica leve e muito mais frágil do que a cobertura perdida, está íntegro. Esse contraste é relevante no diagnóstico: a solicitação que removeu a cobertura não danificou o bloco interno quando a cobertura se abriu, o que é coerente com uma solicitação concentrada na interface de apoio, e não distribuída pela edificação. À esquerda, a placa de concreto aparente com um pilar aparente e arremates rasgados pendurados.



Fotografia 37 — Piso interno com tubulação hidráulica aparente, detritos e acúmulo de material fino.

Análise técnica: Veem-se tubulação hidráulica com registro, conduítes amarelos, pontas de espera e acúmulo de material fino trazido pela água sobre o piso. No alto à direita, o arremate metálico rasgado e um cabo vermelho pendente. O acúmulo de sedimento junto à base da parede indica entrada de água em volume durante e após o evento, coerente com a cobertura ausente e a chuva registrada.



Fotografia 38 — Junta entre o concreto aparente e peça metálica, com fragmentos soltos.

Análise técnica: A junta apresenta abertura com fragmentos de concreto e de argamassa soltos. Uma lasca de material fibroso escuro aparece encravada na fresta. O dano é superficial e de acabamento, sem comprometimento da peça estrutural, e está contemplado na intervenção T-08.

Bloco G — O portão do hangar: a abertura dominante

Na vistoria de 09/10/2026, as folhas do portão estavam no pátio e no gramado, desmontadas e empilhadas, depois de removidas do interior, onde, segundo a contratante, foram encontradas na manhã de 30/09. O laudo registra o estado e declara o que não é possível estabelecer.



Fotografia 39 — Folha completa do portão caída sobre o gramado, com os ganchos de suspensão na borda superior.

Análise técnica: A folha está íntegra no conjunto, com o quadro metálico perimetral, o preenchimento em telha trapezoidal e os ganchos de suspensão alinhados na borda superior. Ela não está amassada como ficaria se tivesse sido atingida por carga concentrada; está desprendida. Ao fundo, o pátio pavimentado com destroços espalhados e a edificação vizinha. Uma folha de portão de hangar tem grande área e pequena massa: é um elemento particularmente exposto à ação do vento. A posição sobre o gramado é posterior à remoção: segundo a contratante, na manhã de 30/09 as folhas estavam dentro do hangar (seção 9.10).



Fotografia 40 — *Folha empilhada com a calha-guia deformada e ferragens de rolamento.*

Análise técnica: A calha-guia aparece amassada e deslocada do alinhamento, e a ferragem de rolamento permanece presa ao quadro. A deformação da guia é o dado útil: guia de portão é perfil de chapa dobrada dimensionado para carga vertical de rolamento, e não para tração transversal. Deformação ali é compatível com a folha ter sido solicitada perpendicularmente ao seu plano.



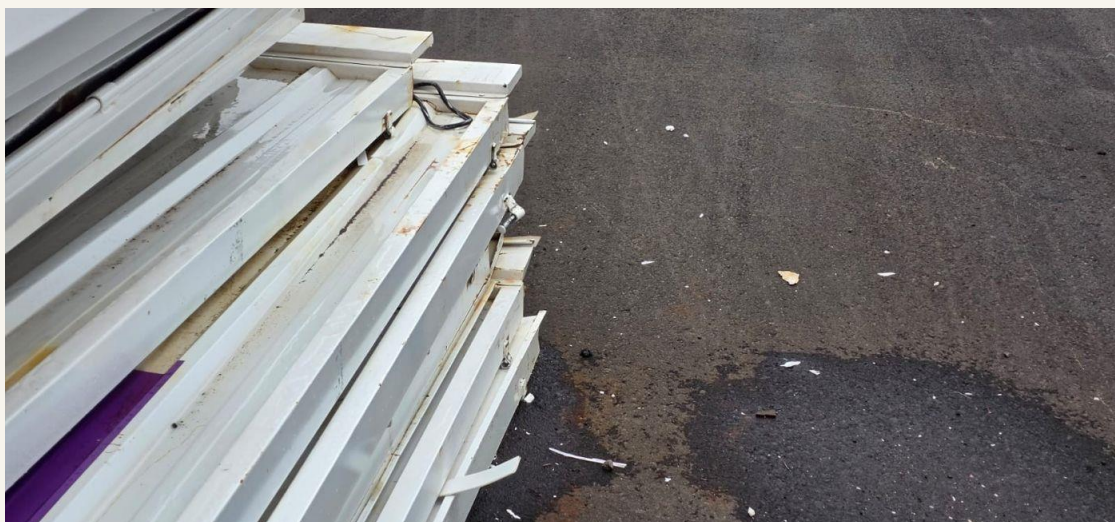
Fotografia 41 — *Perfis do quadro das folhas, empilhados sobre o pavimento.*

Análise técnica: Os perfis apresentam oxidação superficial em faixas, concentrada nas dobras e nas sobreposições, compatível com acúmulo de água após o evento. As ferragens remanescentes estão presas. Não há deformação plástica generalizada nos perfis deste enquadramento.



Fotografia 42 — Folhas do portão empilhadas, com uma folha de identificação visual da contratante na pilha.

Análise técnica: A pilha inclui uma folha com o painel na cor institucional da contratante, o que identifica o conjunto como o fechamento da fachada frontal. Veem-se as ferragens de rolamento e os tirantes de travamento. As peças estão separadas nas junções, e não dobradas em conjunto.



Fotografia 43 — Pilha de folhas e perfis no pátio pavimentado.

Análise técnica: O conjunto está empilhado de forma ordenada sobre o pavimento, com cabo elétrico enrolado sobre as peças. A disposição ordenada indica manuseio posterior ao evento, provavelmente pela equipe da contratante para liberar o acesso, o que é a razão de o laudo não inferir, a partir desta cena, a posição original das folhas.



Fotografia 44 — *Extremidade de perfil tubular rompida, com oxidação na superfície de fratura.*

Análise técnica: A extremidade do perfil está rompida com superfície de fratura irregular e escorrimento de produto de oxidação. A fratura apresenta estiramento, compatível com ruptura por tração, e não com corte. É o mesmo padrão observado nas ligações da cobertura no Bloco C.



Fotografia 45 — *Folhas e ferragens de rolamento sobre o gramado, junto à pilha.*

Análise técnica: Veem-se as roldanas e os eixos de rolamento soltos ao lado das folhas, além de tirantes com oxidação. A presença das ferragens soltas, e não presas às guias, indica que as folhas se separaram do sistema de rolamento, seja durante o evento, seja na desmontagem posterior. Este laudo não estabelece qual das duas; a seção 9.12 trata do papel do portão na dinâmica do colapso.

Bloco H — O bloco de escritórios, os painéis e as instalações

Danos de menor monta, registrados pela integralidade do acervo e por servirem ao orçamento de recuperação. Nenhum deles participa da cadeia causal da ruína.



Fotografia 46 — Nicho no topo de placa, com inserto metálico embutido e peça de madeira deteriorada.

Análise técnica: No topo da placa vê-se um nicho com um inserto metálico embutido, reconhecível pelo plugue circular claro, e ao lado uma peça de madeira em avançado estado de deterioração, encravada na reentrância. Abaixo, o acabamento branco está destacado em escamas ao longo da borda. A peça de madeira é compatível com calço de montagem deixado no local, prática construtiva que convém corrigir na reconstrução: madeira embutida em junta de elemento pré-moldado absorve umidade, incha e perde volume ciclicamente, e não constitui apoio permanente.



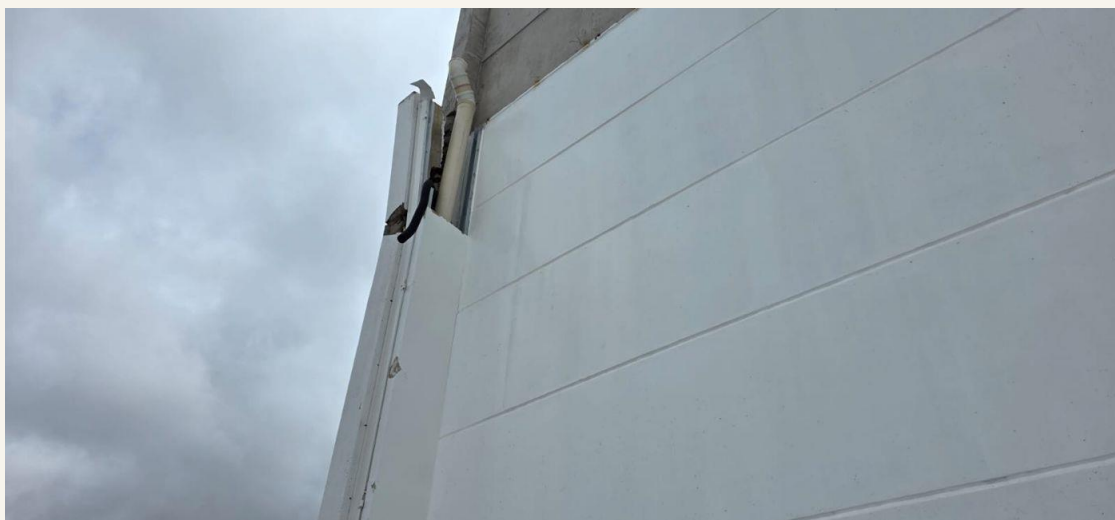
Fotografia 47 — Fissura vertical no encontro entre painéis, no bloco de escritórios.

Análise técnica: A fissura acompanha a junta entre dois elementos e tem abertura fina e constante. É fissura de interface entre materiais de rigidez distinta, agravada pela movimentação a que o bloco ficou sujeito após a perda da cobertura. Não tem significado estrutural e está contemplada na intervenção T-08.



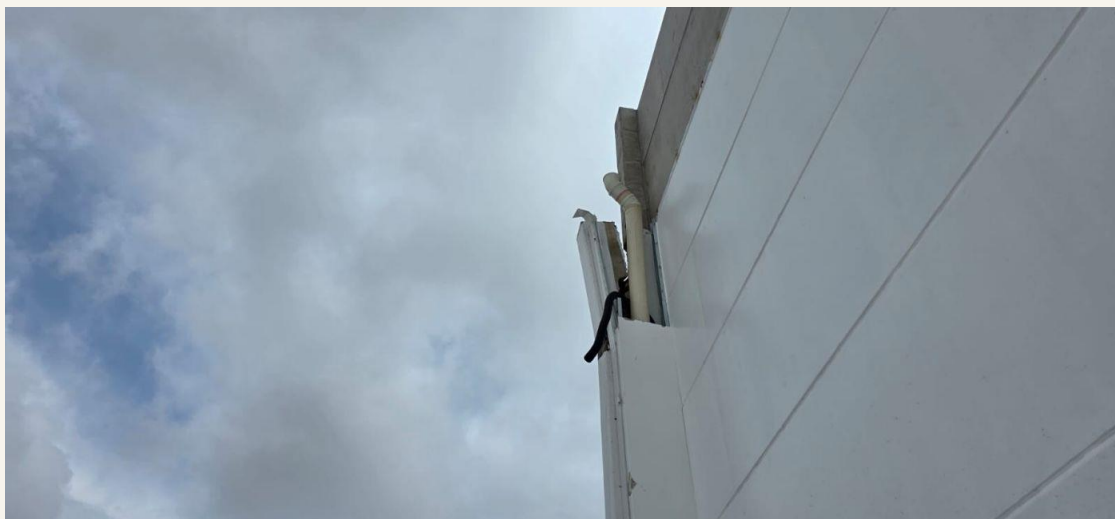
Fotografia 48 — Junta horizontal aberta entre elemento de concreto e peça metálica.

Análise técnica: A junta apresenta abertura com destacamento do material de rejunte e pequenos fragmentos soltos. Um fragmento escuro permanece encravado. Dano de acabamento, sem significado estrutural.



Fotografia 49 — Canto do bloco de escritórios com painel rompido e conduíte descolado.

Análise técnica: O painel do canto está rompido na borda superior, expondo o perfil metálico interno, e o conduíte corrugado preto está descolado do seu percurso. Ao fundo, o condutor pluvial e a placa de concreto. Os painéis do corpo permanecem íntegros, com as juntas horizontais regulares.



Fotografia 50 — O mesmo canto da Fotografia 49, visto de baixo contra o céu.

Análise técnica: O enquadramento de baixo mostra a extensão do rompimento no topo do painel e a continuidade do conduíte descolado. Confirma que o dano se concentra na borda superior, que é onde o arremate de cobertura estava ancorado, e não se propaga para o corpo do painel.



Fotografia 51 — Painel rompido com montante galvanizado exposto e conduíte corrugado.

Análise técnica: O rompimento do painel deixa à vista o montante galvanizado da estrutura interna e o conduíte corrugado preto que ali passava. O montante está íntegro e no prumo. O dano é de revestimento, e a substituição do trecho de painel está contemplada na intervenção T-08.



Fotografia 52 — O mesmo trecho da Fotografia 51, com o concreto fraturado visível atrás do painel.

Análise técnica: Atrás do painel rompido vê-se concreto fraturado, o que relaciona este dano ao fendilhamento documentado no Bloco D: o painel se rompeu porque o elemento de concreto que ele revestia se abriu. É a razão de a intervenção T-08 só poder ser executada depois de T-02.



Fotografia 53 — Fissura fina em junta de painel, no interior do bloco de escritórios.

Análise técnica: Fissura de espessura capilar acompanhando a junta entre painéis, com traçado retilíneo. Sem significado estrutural; tratamento de acabamento.



Fotografia 54 — *Fissura em canto interno, junto ao cordão de selante.*

Análise técnica: A fissura acompanha o encontro entre dois planos, junto ao cordão de selante que se destacou parcialmente. É movimentação de interface, agravada pela exposição do bloco após a perda da cobertura. Sem significado estrutural.



Fotografia 55 — *Corrimão da escada interna, com fissura fina na superfície atrás.*

Análise técnica: O corrimão metálico apresenta pontos de oxidação incipiente na superfície e está firme no suporte. Na parede atrás, uma fissura capilar de traçado irregular. Ambos são itens de acabamento.



Fotografia 56 — Outro trecho do corrimão, com a fissura capilar prosseguindo.

Análise técnica: O trecho confirma a continuidade da fissura capilar e o estado do corrimão, com oxidação incipiente concentrada na face superior. O suporte de parede está firme. Itens de acabamento, sem reflexo estrutural.

Bloco I — O entorno do aeródromo e a aeronave abrigada

A extensão dos danos no sítio aeroportuário, que dimensiona a severidade do evento, e a ficha técnica do modelo de aeronave indicado como o abrigado. As Fotografias 57 e 58 derivam do mesmo vídeo, recebido em 11/10/2026.



Fotografia 57 — Hangar vizinho, de alvenaria de tijolo cerâmico, com o telhamento integralmente removido. Quadro extraído de vídeo recebido em 11/10/2026.

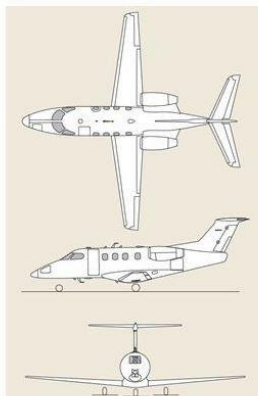
Análise técnica: A edificação vizinha, de concepção construtiva inteiramente distinta da do hangar da contratante, perdeu da mesma forma todo o telhamento, restando as treliças retorcidas sobre a alvenaria. Sob os destroços vê-se uma aeronave de pequeno porte destruída. O dado é duplamente útil: confirma a severidade do evento no sítio e mostra que a interface cobertura-apoio é ponto de atenção também em outras edificações, o que sustenta a recomendação de revisão da seção 10.6. Não autoriza conclusão sobre a capacidade da edificação vizinha, cujo projeto não se conhece.



Fotografia 58 — Aeronave de pequeno porte destruída sob os destroços da cobertura do hangar vizinho. Quadro extraído do mesmo vídeo da Fotografia 57, recebido em 11/10/2026.

Análise técnica: A asa e a fuselagem da aeronave aparecem esmagadas sob chapas e perfis da cobertura. Registro que dimensiona a consequência material da falha de uma cobertura de hangar e que justifica o grau de urgência atribuído às medidas da seção 8.9: o conteúdo abrigado num hangar costuma valer muito mais do que a estrutura que o abriga. A aeronave desta imagem é a do hangar vizinho, não a da contratante.

PHENOM 100



Fabricante: Embraer
envergadura: 12,3 m
Comprimento: 12,82 m
Altura: 4,35 m

Fotografia 59 — Ficha técnica do Embraer EMB-500 Phenom 100, modelo indicado como o abrigado no hangar. Reprodução documental.

Análise técnica: A ficha do fabricante registra envergadura de 12,3 m, comprimento de 12,82 m e altura de 4,35 m. Confrontadas com os 25,00 m por 23,00 m da cobertura e com os 7,00 m do apoio, essas dimensões mostram que o hangar comporta o modelo com folga. A ficha comprova as dimensões do modelo, não a presença nem a identidade de uma aeronave determinada no hangar na data do evento, que permanecem pendentes da providência 10.5(j). Documento complementar do acervo registra que a operadora avaliava, em novembro de 2025, a aquisição de aeronave de maior porte.

Bloco J — O hangar no período de obra: o vão do portão, a estrutura de fachada e a borda da cobertura

Registros anteriores ao evento, recebidos em 14 e 15/10/2026, sem metadado de data nem de autor. Mostram a configuração da fachada do portão e da borda da cobertura durante a montagem. Não demonstram, por si, a configuração final entregue, e assim são lidos. As marcações coloridas em algumas imagens foram feitas por terceiro e estão preservadas como recebidas.



Fotografia 60 — Vão do portão visto de fora, durante a obra: a faixa da cobertura junto à fachada aparece sem forro, as folhas do portão estão recolhidas à esquerda e há equipe sobre plataforma elevatória no topo do vão.

Análise técnica: A imagem mostra o arranjo que a dinâmica do colapso exige entender. Acima do vão há uma faixa de estrutura metálica aparente, com tesouras, terças e a face inferior das telhas; logo atrás começa o forro. A equipe trabalha justamente na borda superior do vão, onde o topo das folhas do portão precisa de guia ou travamento. Seja qual for a peça que ali se instalou, ela só pode se apoiar na estrutura metálica da cobertura, porque não há outro elemento acima do vão. É o ponto em que o portão e a cobertura deixam de ser sistemas independentes. O pilar à direita está revestido com telha trapezoidal branca, a mesma do fechamento superior da fachada.



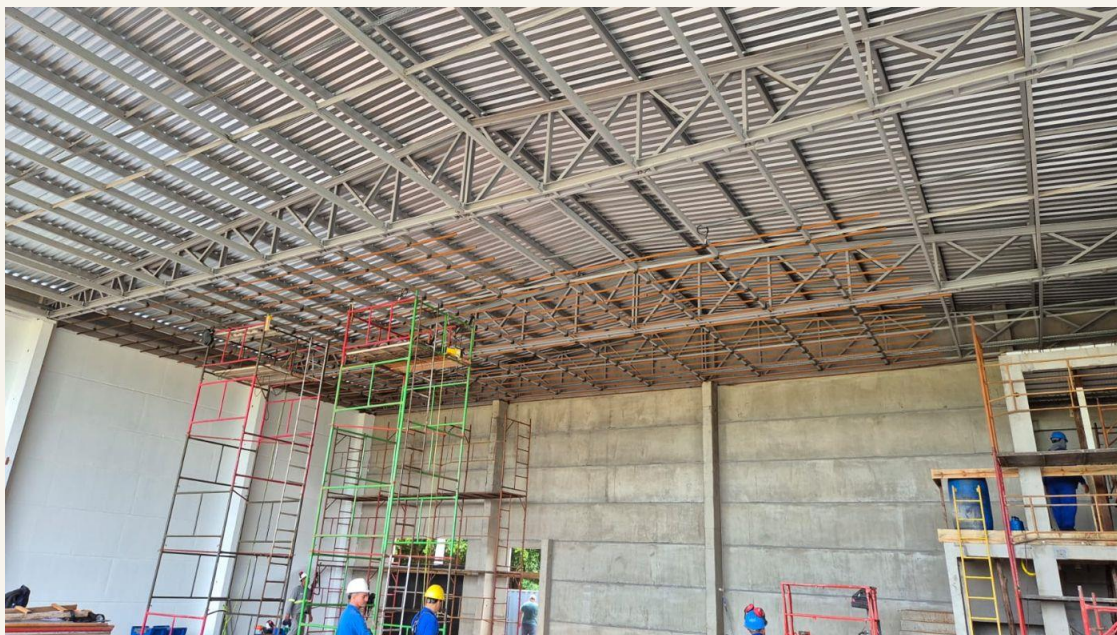
Fotografia 61 — *Quadro de vídeo: o interior visto em direção ao vão do portão, com a estrutura da cobertura aparente na faixa frontal e as folhas recolhidas junto à parede lateral.*

Análise técnica: A faixa frontal da cobertura aparece como grelha de tesouras e terças sem forro, até a borda superior do vão. As folhas do portão estão empilhadas junto à parede lateral, o que é a posição de portão aberto, e não a da noite do evento, em que o portão estava fechado segundo a contratante. O vão ocupa praticamente toda a fachada. Pixel não é cota, e a largura e a altura do vão não são medidas aqui: elas entram na memória de cálculo da seção 9.11 como faixa, à espera do projeto do portão.



Fotografia 62 — *Quadro do mesmo vídeo: o forro liso encontra as folhas do portão recolhidas, com quadro metálico e preenchimento em chapa trapezoidal.*

Análise técnica: As folhas são painéis altos, com quadro metálico e travessas horizontais, preenchidos com chapa trapezoidal. É o mesmo tipo de folha que, depois do evento, foi encontrado caído no piso do hangar (Fotografias 70 e 71). O forro, de superfície contínua, termina sob a faixa frontal. Faixas brancas pendentes junto às paredes, vistas na Fotografia 70, são compatíveis com restos desse forro, arrancado quando a cobertura se foi.



Fotografia 63 — Interior durante a obra: tesouras treliçadas, terças, contraventamento e o bloco de escritórios em execução.

Análise técnica: As tesouras aparecem retas e alinhadas, com terças regularmente espaçadas e barras de contraventamento em X visíveis em alguns vãos. As barras de contraventamento são esbeltas, compatíveis com o ferro redondo de 5/16" que as pranchas 03/41 e 32/41 especificam. Esse dado entra na verificação do caminho da reação do portão (seção 9.11, MC-3): barra desse diâmetro foi concebida para estabilizar a cobertura, e não para levar ao apoio a reação horizontal de um portão de grande vão.



Fotografia 64 — Parede interna e estrutura da cobertura durante a obra, com marcação em verde sobre a placa de fechamento.

Análise técnica: A marcação em verde foi feita por terceiro e o seu significado não foi informado; o laudo não a interpreta. Acima, a estrutura da cobertura apoia-se sobre o topo do fechamento, com a faixa clara das telhas vistas por baixo. À direita, andaime metálico. O registro serve para documentar que, na obra, a cobertura estava montada sobre as placas e pilares pré-moldados na configuração das pranchas.



Fotografia 65 — *Topo da parede lateral visto de dentro, com traço verde de terceiro ao longo da linha em que a luz passa entre as ondas da telha.*

Análise técnica: Ao longo do topo da parede, entre a viga pré-moldada e a telha, a luz atravessa as ondas da telha trapezoidal: a borda da cobertura estava aberta nesse trecho, sem peça de vedação das ondas, no momento do registro. Pelas ondas abertas, o vento externo alcança a face inferior da telha na borda. Não se sabe se a vedação foi instalada depois; por isso o registro documenta o período de obra e não a condição final.



Fotografia 66 — *Mesma parede lateral, outro trecho: tesouras chegando ao topo dos pilares e ondas da telha abertas na borda.*

Análise técnica: Vê-se a chegada das tesouras sobre os pilares pré-moldados, com os condutores pluviais em cor laranja descendo junto a eles. Na borda, a mesma linha de luz entre as ondas. O condutor colado ao pilar é relevante para a seção 9.13: em ao menos uma cabeça de pilar o condutor atravessa o concreto, e não corre por fora (Fotografias 27, 94 e 95).



Fotografia 67 — Detalhe da borda da cobertura sobre a parede lateral, com contorno laranja de terceiro sobre as ondas abertas da telha.

Análise técnica: O contorno destaca a mesma condição das Fotografias 65 e 66: ondas abertas na borda, sem vedação. Como permeabilidade, essas aberturas ficam nas faces laterais, que, com vento incidindo pela fachada do portão, estão sob sucção externa; elas reduzem, e não aumentam, a pressão interna. Como ponto de ataque local, expõem a borda da telha ao escoamento. O efeito de cada uma delas sobre a dinâmica do colapso é tratado na seção 9.11.



Fotografia 68 — Beiral da cobertura visto de baixo, pelo lado externo, com setas de terceiro sobre os suportes junto à borda.

Análise técnica: As setas apontam peças de suporte na borda da cobertura, sobre o topo do fechamento. Pela imagem não se determina se são suportes de terço, presilhas ou fixações de rufo, e o laudo não as identifica. O registro confirma que a borda da cobertura avançava sobre a parede, o que a expõe à sucção mais severa, a de borda.



Fotografia 69 — Encontro entre a borda da cobertura e o topo do fechamento lateral, com seta de terceiro sobre a junta.

Análise técnica: A seta aponta a junta entre a face inferior da cobertura e o topo da placa de fechamento, com a calha ao alto. É a interface em que, depois do evento, a linha de fixação apareceu arrancada em toda a extensão (Bloco E). O registro de obra mostra que a borda da cobertura e o fechamento eram peças independentes, ligadas apenas pelos arremates e fixadores dessa junta.

Bloco K — O portão: onde as folhas caíram e como se soltaram

Duas imagens de terceiros, do dia seguinte ao evento, e registros das folhas recebidos em 15/10/2026. Segundo a contratante, o portão estava fechado na noite do evento e as folhas foram encontradas, na manhã de 30/09, dentro do hangar; a remoção para o pátio veio depois. As imagens de terceiros são identificadas pela fonte e não pela data de captura, que não está estabelecida.



Fotografia 70 — Fachada do portão no dia seguinte: folhas do portão caídas no piso, junto ao vão, uma delas sobre a ponta da asa da aeronave dianteira; estrutura frontal da cobertura deformada e sem telhas; faixas de forro pendentes.

Análise técnica: É a imagem que fixa a direção da queda. As folhas estão deitadas no piso, na linha do vão e para dentro dele, e uma delas, com a faixa roxa da identidade visual, apoia-se sobre a extremidade da asa da aeronave da frente. Folhas que caem para dentro foram empurradas para dentro, o que é o efeito da pressão do vento sobre a face externa do portão fechado, e não o de sucção. As folhas estão inteiras, com o quadro reto: não há folha dobrada, amassada ou partida. A estrutura treliçada da faixa frontal permanece sobre o vão, deslocada e deformada, sem telhamento. As duas aeronaves estão dentro do hangar, sob o céu aberto.



Fotografia 71 — Imagem aérea: hangar sem cobertura, duas aeronaves no interior, folha do portão com o logotipo caída para dentro, sobre a asa de uma aeronave, e demais folhas já no pátio, junto a um guindaste.

Análise técnica: A vista de cima confirma a Fotografia 70 e acrescenta três dados. Primeiro: a folha com o logotipo está no piso interno, sobre a asa de uma das aeronaves, o que confirma que ela caiu para dentro do hangar. Segundo: o interior está inteiramente descoberto, e a estrutura remanescente está arriada sobre a parede do fundo e sobre o bloco de escritórios, do lado oposto ao portão, que é o lado para onde a cobertura foi lançada, segundo a contratante. Terceiro: uma barra metálica pende, inclinada, junto ao topo da parede lateral direita. Uma das aeronaves exibe marcação de matrícula legível como PR-DZZ, dado que a contratante deve confirmar (providência 10.5(j)). As folhas já levadas ao pátio indicam que a imagem é posterior ao início da remoção.



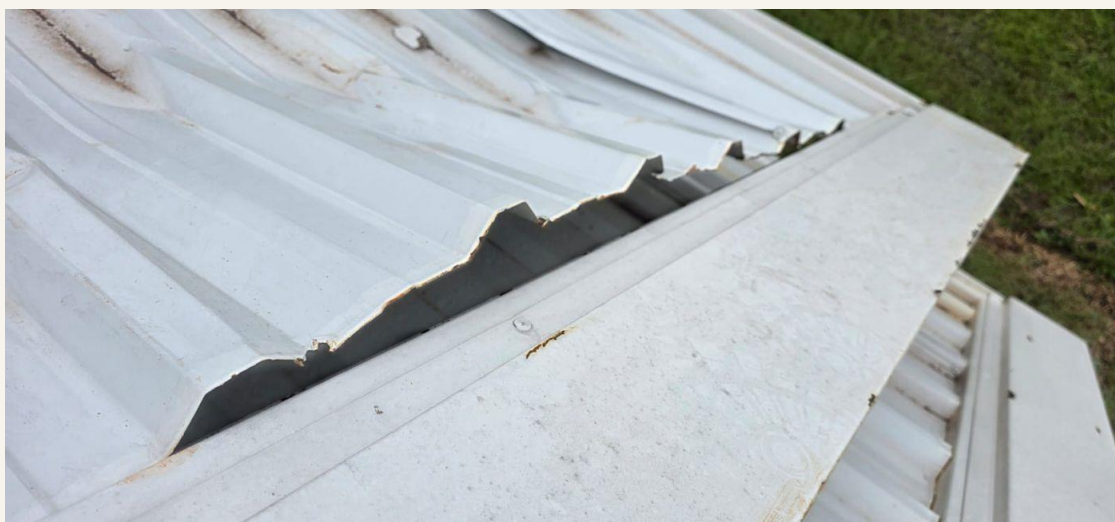
Fotografia 72 — Topo de uma folha do portão: a chapa trapezoidal rasgou-se ao longo da linha de parafusos que a prendia à travessa superior do quadro.

Análise técnica: É o "painel metálico do topo do portão que se desprendeu". A chapa não se soltou dos parafusos: rompeu-se em torno deles, com a borda rasgada seguindo, onda a onda, a linha de fixação, e com o parafuso remanescente ainda na travessa. A seção 9.15 mostra por cálculo (MC-7) que a pressão estática do vento sobre a chapa, mesmo no vento de projeto, solicita cada parafuso com uma fração pequena da força necessária para rasgá-la. Rasgamento assim exige um deslocamento imposto entre a chapa e o quadro: o topo da folha arrastado pela peça a que estava travado, ou o impacto da queda. É marca de consequência, e não de início.



Fotografia 73 — Outro trecho da mesma linha: chapa rasgada junto ao parafuso, com o parafuso ainda fixado na travessa.

Análise técnica: O padrão se repete: o parafuso permanece, a chapa abre-se em torno dele. Repetido ao longo da linha, o rasgamento é contínuo, e não pontual. Não há sinal de que os parafusos estivessem ausentes ou frouxos antes do evento; a fixação da chapa ao quadro funcionou até o limite da própria chapa.



Fotografia 74 — Chapa de folha do portão rasgada ao longo da travessa, vista de outro ângulo, com a folha sobre o gramado.

Análise técnica: A borda rompida está levemente virada, acompanhando o sentido em que a chapa foi puxada em relação à travessa. As ondas fora da linha de fixação estão retas: a chapa não foi amassada por impacto no campo, o que reforça a leitura de esforço concentrado na linha de parafusos.



Fotografia 75 — Travessa de folha do portão com a chapa descolada e rasgada por baixo dela, e gotas de chuva sobre a pintura.

Análise técnica: A chapa foi arrancada de sob a travessa, com a pintura da travessa íntegra e pontos de oxidação apenas na borda recém-exposta. Travessa íntegra e chapa rasgada indicam, outra vez, que o elo que cedeu foi a chapa fina em torno dos fixadores, e não o quadro.



Fotografia 76 — Folha do portão vista de cima: quadro e travessas retos; chapa descolada da travessa central; pinos-guia salientes na borda superior.

Análise técnica: O quadro da folha está reto e esquadrado: a folha, como peça, está íntegra, o que confirma a observação da gerência de engenharia da contratante de que o portão está "intacto". Os pinos-guia da borda superior estão inteiros e salientes, mas alguns apresentam leve desalinhamento. O quadro íntegro mostra que a folha não foi vencida por flexão sob a pressão do vento; o que cedeu foram os vínculos que a prendiam no vão.



Fotografia 77 — Roldanas e pinos-guia na extremidade de folhas empilhadas no pátio, com escorrimentos de oxidação na pintura.

Análise técnica: As roldanas estão no lugar e giram sobre os seus eixos; os pinos-guia aparecem inclinados em relação ao plano da folha. Pino inclinado é a marca de que a folha saiu da guia por movimento transversal ao seu plano, isto é, foi empurrada para fora da linha do trilho. Os escorrimentos de oxidação na superfície pintada são compatíveis com água parada sobre as folhas empilhadas ao tempo, desde 30/09.



Fotografia 78 — Canto superior de folha sobre o gramado: pino-guia dobrado e tubo do quadro com a extremidade aberta.

Análise técnica: O pino está dobrado, com a curvatura concentrada junto à base, que é a deformação de um pino solicitado transversalmente com a folha presa na guia. É evidência material de que, no momento da saída, a folha estava encaixada no trilho e foi forçada para fora dele. O sentido da dobra em relação à folha não se determina na peça já removida.



Fotografia 79 — Folhas empilhadas sobre o gramado: pino-guia dobrado e escorrimento de oxidação no quadro.

Análise técnica: Mais um pino dobrado na mesma posição relativa. A repetição em mais de uma folha afasta defeito isolado de peça e indica solicitação comum a várias folhas, que é o que se espera de pressão de vento distribuída sobre todo o portão.



Fotografia 80 — Detalhe do quadro de uma folha: chapa trapezoidal fixada ao montante por parafusos autobrocantes, sem rasgamento neste trecho.

Análise técnica: Neste trecho a fixação está íntegra: parafusos com arruela, chapa assentada, sem ovalização dos furos. Serve de referência para as Fotografias 72 a 75: a mesma fixação, onde não houve deslocamento imposto, permaneceu íntegra.



Fotografia 81 — *Montante e chapa de folha do portão, com escorrimentos de oxidação nas ondas e pontos de fixação íntegros.*

Análise técnica: As linhas de oxidação acompanham as ondas, no sentido do escoamento da água, e partem de bordas cortadas e de furos. São compatíveis com exposição ao tempo depois do evento e não indicam corrosão anterior que tenha participado da ruptura.



Fotografia 82 — *Junção entre montante e chapa, com fresta aberta ao longo da borda e um ponto de oxidação junto a parafuso.*

Análise técnica: A chapa afastou-se do montante em parte da altura, abrindo fresta, sem rasgar. É deformação compatível com a folha torcida durante a saída da guia ou durante a queda. Não altera a leitura do conjunto.



Fotografia 83 — Chapa trapezoidal de folha do portão com faixas de oxidação ao longo das ondas, sobre o gramado.

Análise técnica: As faixas de oxidação seguem linhas de contato e de acúmulo de água, e estão na superfície da pintura. Não há perda de seção visível. O registro documenta o estado das folhas armazenadas ao tempo e reforça a medida R-00.4, de guardá-las em local coberto.

Bloco L — O primeiro pilar junto ao portão e as demais cabeças de pilar

Registros recebidos em 15/10/2026. Conforme identificação do subscritor, feita na vistoria, as Fotografias 84 a 87 correspondem ao primeiro pilar junto ao portão, que se rompeu na cabeça. As demais mostram cabeças de pilar e placas com fissuração e fendilhamento, incluindo o pilar com condutor pluvial embutido.



Fotografia 84 — Primeiro pilar junto ao portão: fenda vertical larga, em zigue-zague, na face do pilar, com fissuras finas horizontais e a junta com a placa vizinha aberta.

Análise técnica: A fenda é a mais aberta de todo o acervo: atravessa a face em traçado vertical, contornando os agregados, nitidamente aberta, com abertura que o laudo não mede. O traçado vertical, paralelo ao eixo do pilar e à direção em que os chumbadores puxam, é a assinatura do fendilhamento por força de tração concentrada no topo. As fissuras horizontais que partem dela indicam que houve também solicitação transversal. À esquerda, a junta entre o pilar e a placa está aberta em toda a altura visível: o pilar e a placa deslocaram-se um em relação ao outro.



Fotografia 85 — Primeiro pilar junto ao portão: o topo destacou-se em cunha, expondo duas barras longitudinais nervuradas e um estribo, junto ao perfil branco do fechamento da fachada.

Análise técnica: A cunha de concreto destacou-se do canto do pilar segundo um plano inclinado, o que é a geometria típica da ruptura de borda: o concreto entre os elementos de ancoragem e a face livre mais próxima é arrancado quando a ancoragem é puxada ou empurrada em direção a essa face. Uma ruptura assim não decorre de compressão nem de flexão do fuste, que deixariam outro desenho. É a mesma posição registrada na Fotografia 25, agora em aproximação. O perfil branco à direita é o fechamento da fachada do portão, o que situa o pilar na linha do vão.



Fotografia 86 — Aproximação da Fotografia 85: barra longitudinal curvada para fora, concreto fraturado com agregado gráúdo exposto e fissura atravessando a seção.

Análise técnica: A barra está curvada na região da ruptura, afastando-se do plano da face. Barra longitudinal curvada para fora é sinal de que o cobrimento foi arrancado com força suficiente para deslocá-la, o que reforça a leitura de ruptura de borda com componente transversal. A fratura atravessa o agregado e a argamassa, sem superfície lisa de junta, com aspecto de fratura recente.



Fotografia 87 — Outra aproximação do mesmo topo: barra nervurada exposta junto à face, com a pintura branca rompida na borda da cunha.

Análise técnica: A barra exposta fica junto à face lateral, com cobrimento pequeno, compatível com os 2 cm das notas do projeto de pré-moldado. A linha de rompimento da pintura delimita a cunha destacada. O conjunto das Fotografias 84 a 87 mostra que o primeiro pilar junto ao portão sofreu, na cabeça, a ruptura mais severa do acervo, com componentes de tração e de esforço transversal.



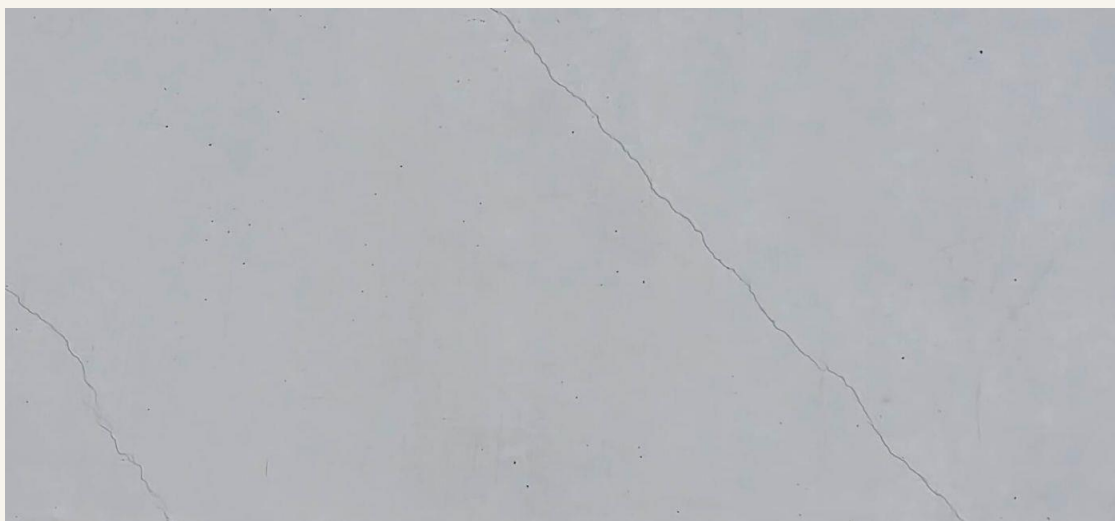
Fotografia 88 — Fissura inclinada na placa de concreto chegando à cantoneira que fixa o batente do portão ao pré-moldado, junto à guia superior.

Análise técnica: A fissura desce em diagonal e termina exatamente na extremidade da cantoneira parafusada ao concreto, que prende o batente do portão. Fissura que nasce num ponto de fixação marca o ponto por onde uma força entrou no concreto. É indício de que o portão, fechado, transmitiu esforço ao pré-moldado através das suas fixações laterais, além do que transmitiu pelo topo. Sem ensaio, não se exclui que a fissura seja anterior; a sua posição, porém, é a do caminho da força.



Fotografia 89 — Fissuras finas inclinadas cruzando placas e o encontro com o pilar, com uma junta vertical parcialmente aberta.

Análise técnica: As fissuras são finas, inclinadas, e cruzam a junta entre peças. Inclinação dessa ordem é compatível com esforço de cisalhamento no plano da placa, isto é, com a placa trabalhando para travar o conjunto depois de perdido o travamento da cobertura, ou com movimento relativo entre pilar e placa. Não têm o padrão do fendilhamento por ancoragem e não participam da cadeia de ruptura; entram no reparo T-08.



Fotografia 90 — Fissuras finas inclinadas, paralelas entre si, na superfície pintada de uma placa.

Análise técnica: Duas fissuras paralelas, finas e contínuas. O paralelismo indica a mesma origem, compatível com o esforço de cisalhamento descrito na Fotografia 89. Registro para o mapeamento de fissuras previsto em 10.1.



Fotografia 91 — Cabeça de pilar com o cobrimento destacado ao longo de uma barra, exposta em toda a altura visível, e fissuras ramificadas em volta.

Análise técnica: O concreto abriu-se e destacou-se exatamente ao longo da linha da barra, com fissuras que partem dela em várias direções. É o fendilhamento ao longo da armadura: a força de tração transmitida à barra, ou a uma ancoragem paralela e próxima a ela, rompeu o cobrimento por tração transversal. O padrão é o mesmo das Fotografias 24, 26 e 28 e confirma a extensão do fenômeno a mais de um pilar.



Fotografia 92 — Mesmo pilar, com a quina chanfrada à direita: a abertura acompanha a barra e uma fissura horizontal corta a face até a quina.

Análise técnica: A fissura horizontal que atravessa a face até a quina indica que, além da abertura ao longo da barra, a cabeça trabalhou como bloco que tende a se separar do fuste. É coerente com tração aplicada no topo, a partir do apoio da cobertura.



Fotografia 93 — Outra tomada do mesmo pilar: barra nervurada exposta no fundo da abertura e fissura descendo até a borda inferior da imagem.

Análise técnica: A barra está íntegra, sem estricção nem ruptura, e o que se rompeu foi o concreto à sua volta. A ruptura no concreto, e não no aço, é o que a geometria da ancoragem projetada, junto à face e sem fretagem, fazia esperar (seção 8.4).



Fotografia 94 — Cabeça de pilar com o condutor pluvial de PVC saindo de dentro do concreto e a fenda aberta junto a ele, com barra exposta.

Análise técnica: O condutor não corre por fora do pilar: ele sai do concreto, isto é, está embutido na cabeça. A fenda abre-se exatamente junto ao tubo. Um tubo embutido reduz a seção de concreto e cria um plano preferencial de ruptura justamente na região em que os chumbadores da cobertura introduzem a tração. É a mesma condição da Fotografia 27. Nenhuma prancha fornecida mostra a verificação da cabeça do pilar com esse vazio.



Fotografia 95 — Mesmo pilar: fragmento de concreto com barra, solto na abertura, marca circular à esquerda e fissuras em mapa.

Análise técnica: A marca circular à esquerda é compatível com bocal de tubo embutido ou tampão de furo; a sua natureza não se determina pela imagem e deve ser verificada na inspeção (providência 10.5(d)). O fragmento solto com barra é o cone de concreto que se destacou. Peça solta a 7 m de altura é exatamente o que a medida R-00.3 manda remover.

Bloco M — A fixação da base das tesouras no topo dos pilares

Registros recebidos em 15/10/2026. Mostram chapas de ligação remanescentes no topo de pilares, depois que a cobertura se foi.



Fotografia 96 — Chapa de ligação no topo de pilar: quatro furos de contorno alongado em dois pares, um único fixador remanescente com porca, e a borda da chapa dobrada para cima.

Análise técnica: A função da peça, se chapa de base da tesoura, chapa de apoio ou cantoneira de fixação, não se confirma pela imagem. Com essa ressalva, há quatro achados. (1) A chapa tem quatro furos, e não os seis chumbadores da chapa CH 01 da prancha 01/41: ou a peça não é a CH 01, e então é a chapa da base da tesoura, cuja ligação à CH 01 o projeto não detalha, ou o apoio foi executado diferente do projeto. (2) Os furos têm contorno alongado; se são furos oblongos de fabricação, a ABNT NBR 8800 exige arruela sobre furo alongado em chapa externa, e arruela de chapa de pelo menos 8 mm sobre furo muito alongado, e não se vê aqui arruela de chapa; se o alongamento vem da própria ruptura, é marca de esforço concentrado nos fixadores. (3) Dos quatro furos, só um conserva o fixador: os outros três estão vazios. (4) A borda da chapa está dobrada para cima, o que é a deformação de uma chapa flexível puxada pela tesoura, com o efeito de alavanca descrito na seção 7. Espessura, diâmetros e tipo de fixador só se determinam na peça (providência 10.5(e)).



Fotografia 97 — A mesma chapa, em outro enquadramento: linha escura dividindo-a ao meio, furos alongados vazios com marca de oxidação ao redor e o fixador remanescente.

Análise técnica: A linha escura que atravessa a chapa é compatível com cordão de solda ou junta entre duas peças; não se determina pela imagem. As marcas escuras em volta dos furos vazios desenham a pegada das porcas ou arruelas que ali estiveram. Furo vazio com pegada de porca significa que o fixador saiu com a peça de cima, ou se rompeu: a ligação cedeu nos fixadores, e não na chapa.



Fotografia 98 — Outra chapa de ligação no topo de pilar, dobrada, com dois furos alongados e dois fixadores remanescentes de cabeça arredondada, sobre concreto com marcas de desgaste.

Análise técnica: A mesma tipologia em outro apoio: chapa fina dobrada, furos alongados, fixadores remanescentes parciais. Se as duas peças pertencem a apoios de tesoura, a repetição indica que a deficiência é do detalhe de ligação, e não de uma peça isolada. A superfície do concreto ao redor mostra arranhões no sentido do deslocamento da chapa.

Bloco N — A cobertura lançada para trás do hangar

Quadros de dois vídeos recebidos em 14/10/2026, sem metadado de data. Segundo a contratante, mostram a estrutura da cobertura deste hangar caída no terreno atrás da edificação, do lado oposto ao portão, durante o desmonte com corte a maçarico.



Fotografia 99 — Trecho de tesoura tombado sobre o terreno, com três suportes de terço soldados ao banzo, sem as terças, e telhas ainda presas à estrutura ao fundo.

Análise técnica: Os suportes de terço, cantoneiras curtas com dois furos, estão inteiros, planos e soldados ao banzo, com os furos vazios: as terças se separaram da tesoura nesse trecho, pelos parafusos, ou foram desaparafusadas no desmonte; o vídeo não permite distinguir. Não se vê cordão de solda rompido nesses suportes, o que é coerente com a informação do responsável pelo desmonte de que as soldas estavam íntegras. A estrutura percorreu, inteira, a distância entre o hangar e o terreno, por cima do fechamento de até 9,00 m, o que exige soerguimento total da cobertura, e não apenas o descolamento de telhas.



Fotografia 100 — Equipe cortando a estrutura tombada; ao fundo, a sequência de tesouras com telhas ainda fixadas.

Análise técnica: As telhas permaneceram presas às terças em extensões contínuas. Isso significa que a cobertura voou como corpo, com o telhamento ligado à estrutura: o elo que cedeu primeiro, nesses trechos, não foi a fixação da telha, mas a ancoragem da estrutura aos pilares. É dado relevante contra a leitura de que o telhamento se foi antes da estrutura em toda a cobertura.



Fotografia 101 — *Tesouras deitadas no terreno, deformadas, com retalhos de telha espalhados.*

Análise técnica: As tesouras estão tombadas lado a lado, na posição relativa em que estavam na cobertura, o que indica deslocamento em bloco e não dispersão peça a peça. Os retalhos de telha espalhados vêm das bordas, onde as telhas se rasgaram.



Fotografia 102 — *Trecho de tesoura de pé sobre o terreno, com os suportes de terço no topo, cilindros de corte ao lado; ao fundo, linha de postes e placa de rodovia.*

Análise técnica: Os suportes de terço e os nós visíveis da tesoura estão inteiros, sem cordão de solda rompido. A tesoura chegou ao terreno como peça, e não em pedaços: o que a separou do pilar foi a ligação de apoio, e não uma solda da própria tesoura. O corte a maçarico em andamento altera as peças, e cada corte deve ser registrado para não ser confundido com ruptura (R-00.4). A placa de rodovia ao fundo situa o local junto à faixa da PR-182.



Fotografia 103 — Segundo vídeo: tesouras tombadas formando um amontoado inclinado, com telhas brancas presas ao alto.

Análise técnica: Mostra o mesmo conjunto por outro ângulo. A estrutura conserva a forma das tesouras, com banzos e diagonais retos fora dos pontos de impacto, o que confirma, em escala maior, a leitura da seção 8.3: as barras não foram vencidas por esforço global; foram arrastadas pela perda das ligações.



Fotografia 104 — Banzo de tesoura em primeiro plano, com pequena chapa de ligação furada, sobre o terreno.

Análise técnica: A chapa presa ao banzo, com furo, é compatível com suporte de terça. O registro serve à catalogação: essas peças devem ser identificadas e guardadas antes do corte, e, em especial, as extremidades das tesouras com as suas chapas de base, porque são elas que mostram como a tesoura estava presa ao pilar (R-00.4 e providência 10.5(e)).



Fotografia 105 — Equipe de corte junto aos destroços; terças, telhas galvanizadas e brancas amassadas em primeiro plano.

Análise técnica: As telhas amassadas e as terças dobradas resultam do impacto no solo. O desmonte por corte a maçarico, em andamento, destrói ligações que ainda podiam ser medidas; o laudo registra a necessidade de catalogar antes de cortar (providência 10.5(e)).

Bloco O — O entorno no aeródromo

Registro recebido em 15/10/2026.



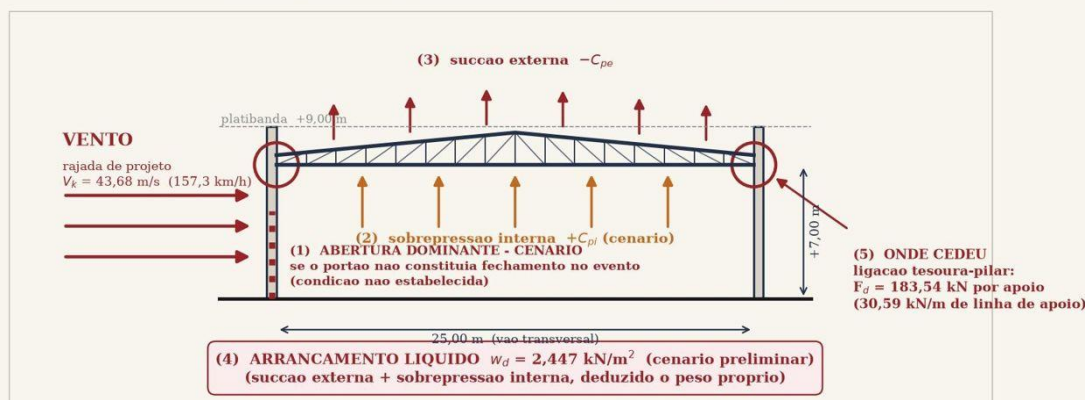
Fotografia 106 — Pátio molhado e hangar vizinho de portões verdes, com os portões no lugar, e aeronave estacionada ao fundo.

Análise técnica: O hangar vizinho aparece com os portões fechados e alinhados, sem dano visível na fachada. Não se conhecem a sua estrutura, o seu projeto nem a sua orientação exata em relação ao vento, e o laudo não tira dele conclusão quantitativa. Registra-se apenas que, no mesmo sítio e no mesmo evento, houve portões de grande vão que permaneceram no lugar, o que é coerente com o levantamento da Prefeitura de que alguns hangares não sofreram grandes danos (seção 3.4).

Anexo B — Desenhos esquemáticos do mecanismo, do apoio projetado, da solução e da dinâmica do colapso

Os sete desenhos abaixo são esquemáticos e sem escala, e assim devem ser lidos. As cotas que neles aparecem são dados de projeto, lidos do projeto arquitetônico aprovado, da malha do pré-moldado e das pranchas do projeto de estrutura metálica; nenhuma foi extraída de fotografia. Os esforços são os do registro de cálculo do caso, reproduzidos na seção 9, e pertencem ao cenário preliminar ali declarado. O Desenho 7 foi acrescentado nesta emissão.

Desenho 1 — Mecanismo da ruína da cobertura

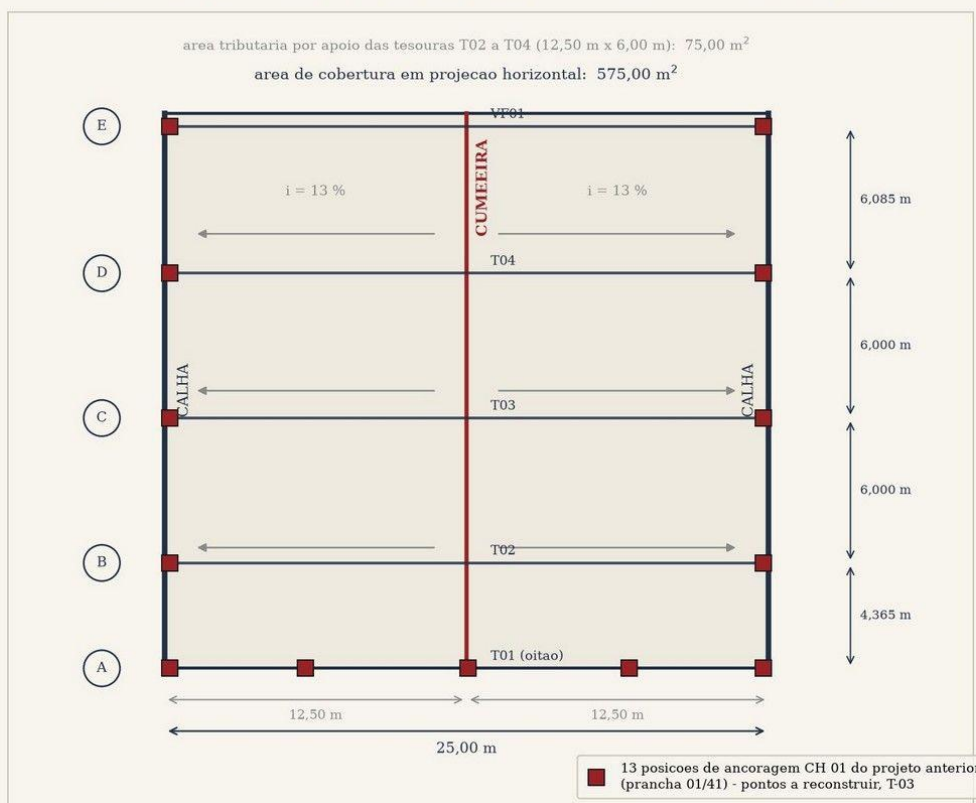


Croqui esquemático, SEM ESCALA. Cotas de altura e vão do projeto arquitetônico aprovado (D085/D087); altura da tesoura da prancha 20/41; esforços de cálculos.json, cenário preliminar. Nenhuma dimensão foi extraída de fotografia.

Desenho 1 — Mecanismo da ruína da cobertura

Leitura do desenho: O croqui percorre a sequência provável da seção 9.7: o vento incide sobre a fachada (1); se o portão não constituía fechamento, o interior pressuriza (2), condição não estabelecida; a sucção externa atua sobre a cobertura de baixa declividade (3); a resultante é o arrancamento líquido (4); e o caminho da força termina na ligação tesoura-pilar, que é onde cedeu (5). Este desenho representa a sequência da segunda emissão, mantida por rastreabilidade; a sequência revisada está no Desenho 7.

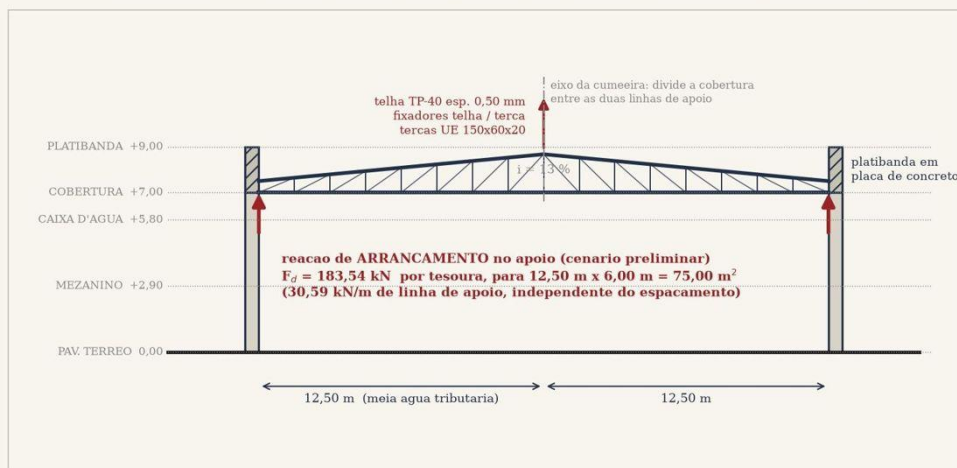
Desenho 2 — Planta de locação das tesouras e das ancoragens



Desenho 2 — Planta de locação das tesouras e das ancoragens

Leitura do desenho: Contorno e caimentos do projeto arquitetônico aprovado; eixos A a E, vãos entre tesouras e as 13 posições de ancoragem CH 01 lidos na prancha 01/41 do projeto de estrutura metálica. Os quadrados assinalam os pontos a reconstruir conforme a intervenção T-03. A prancha 03/41 cota os mesmos vãos com diferença de até 285 mm no vão A-B, sem efeito sobre o espaçamento de 6,00 m adotado na seção 9.5 para as tesouras T02 a T04.

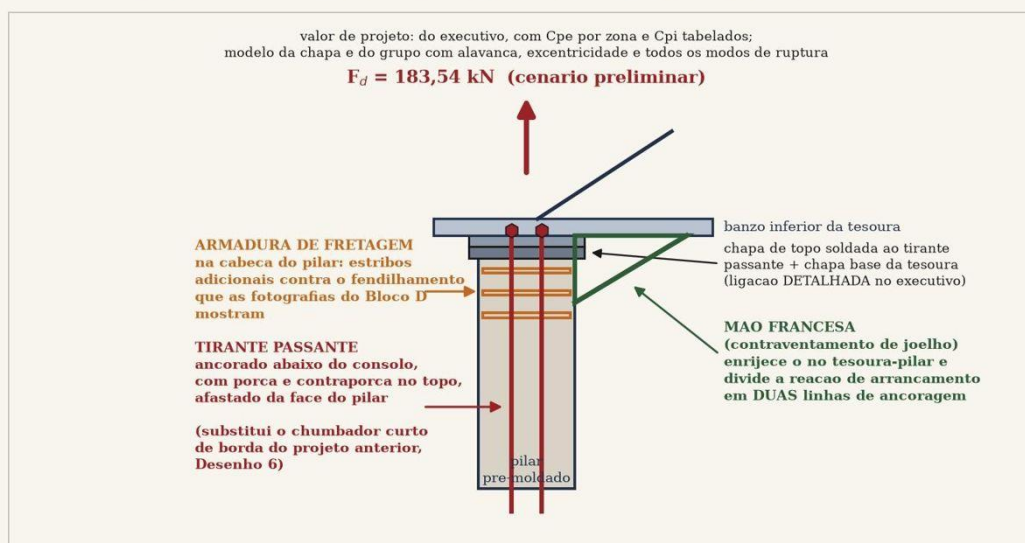
Desenho 3 — Corte transversal, eixo de reação e caminho da força



Desenho 3 — Corte transversal, eixo de reação e caminho da força de arrancamento

Leitura do desenho: Níveis do projeto arquitetônico aprovado e altura da tesoura da prancha 20/41. O desenho mostra o eixo da cumeeira, que divide a cobertura entre as duas linhas de apoio, o caminho que a tração percorre da telha ao apoio, e a reação de arrancamento que a ancoragem precisa resistir em cada apoio, com a área tributária explícita. A platibanda em placa de concreto, acima do plano da cobertura, aparece hachurada.

Desenho 4 — Detalhe da ligação tesoura-pilar a reconstruir

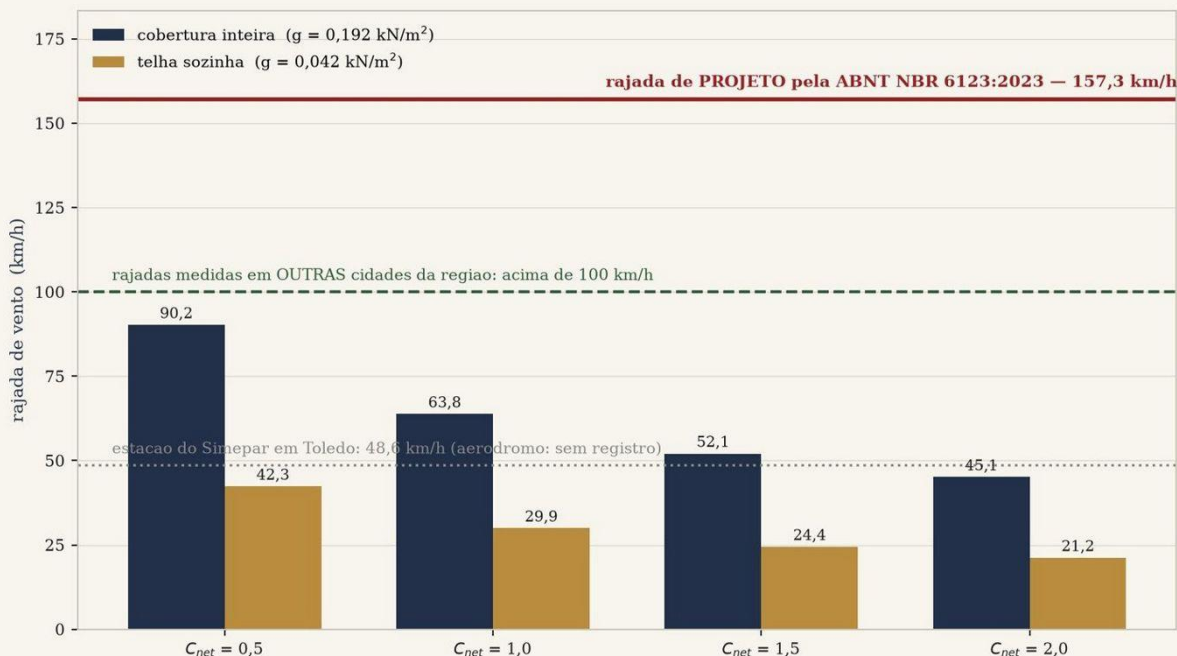


Esquemático, SEM ESCALA e SEM COTAS: diâmetros, profundidade de ancoragem e seções são objeto do projeto executivo. Esforço de cálculos, json, cenário preliminar.

Desenho 4 — Detalhe da ligação tesoura-pilar a reconstruir

Leitura do desenho: Concepção das intervenções T-02, T-03 e T-04: armadura de fretagem na cabeça do pilar, tirante passante ancorado abaixo da região fendilhada e afastado da face, em substituição ao chumbador curto de borda do projeto anterior, e mão francesa no nó. O desenho é sem cotas de propósito: diâmetros, profundidade de ancoragem e seções são objeto do projeto executivo, conforme a seção 10.4, e a força de projeto é a que o executivo obtiver com os coeficientes tabelados.

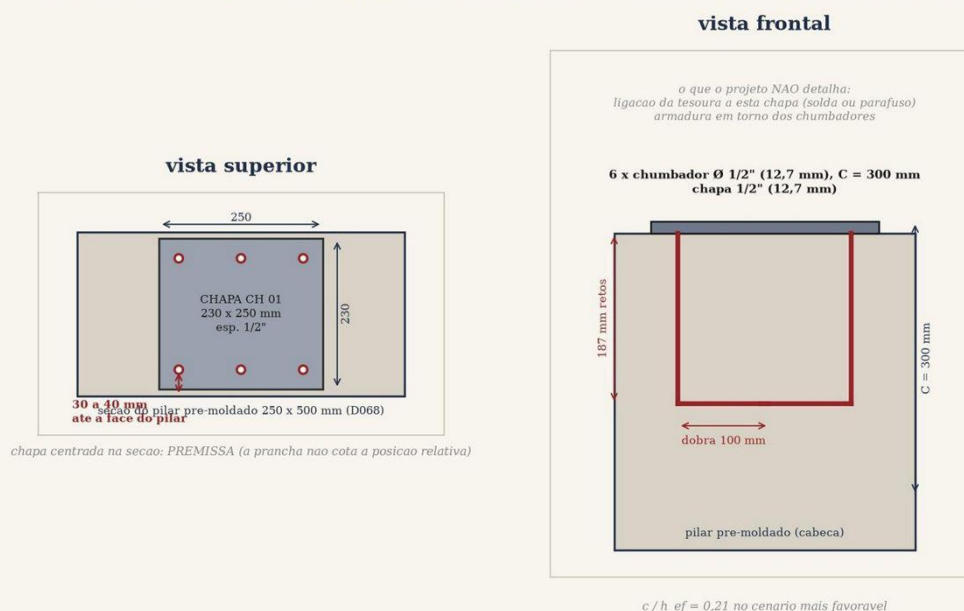
Desenho 5 — Rajada em que a sucção iguala o peso próprio, contando apenas com ele



Desenho 5 — Rajada em que a sucção iguala o peso próprio, contando apenas com ele

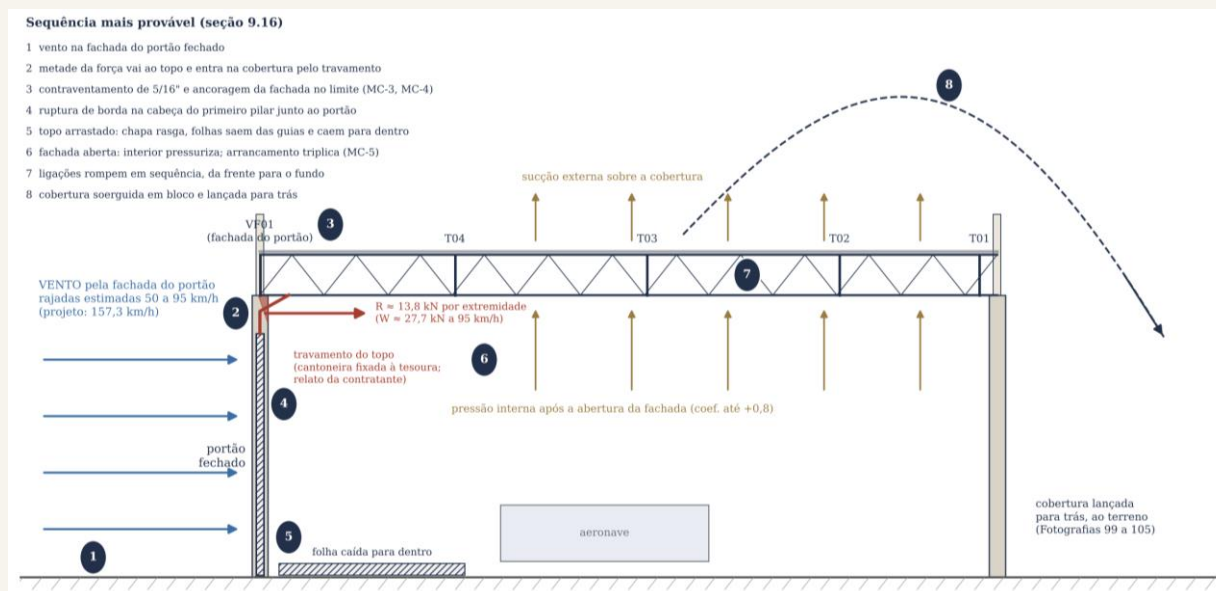
Leitura do desenho: O gráfico é a representação da seção 9.3. Compara a rajada de projeto da ABNT NBR 6123:2023 e as rajadas registradas, com a cidade de cada medição, com a rajada em que a sucção iguala o peso próprio da cobertura e o da telha isolada, para quatro valores de coeficiente de pressão líquida. É o dado que define o caso: acima de rajadas modestas, a estabilidade da cobertura dependia inteiramente da ancoragem.

Desenho 6 — O apoio como projetado: chapa CH 01 e chumbadores (prancha 01/41)



Desenho 6 — O apoio como projetado: chapa CH 01 e chumbadores

Leitura do desenho: Reprodução esquemática do detalhe da prancha 01/41: chapa de 230 mm por 250 mm e meia polegada, com seis chumbadores de meia polegada e 300 mm, em duas colunas de três, a 30 mm das bordas da chapa, com 187 mm retos sob a chapa e dobra de 100 mm. Sobre a seção de 25 cm por 50 cm do pilar, com a chapa centrada, a linha de chumbadores fica a 30 a 40 mm da face. É o apoio que a vistoria encontrou rompido, e o que a intervenção T-03 substitui. A centragem é premissa; a ligação da tesoura à chapa e a armadura em torno dos chumbadores não constam do projeto.



Desenho 7 — Dinâmica do colapso pela fachada do portão

Leitura do desenho: Corte esquemático perpendicular à fachada do portão, sem escala. O vento incide pela fachada do portão fechado (1). Metade da força sobre as folhas sobe ao travamento do topo, fixado à tesoura, e entra horizontalmente na estrutura da cobertura (2). O contraventamento leve e a ancoragem dos apoios da fachada atingem o limite (3), e a cabeça do primeiro pilar junto ao portão sofre ruptura de borda (4). O topo do portão é arrastado, a chapa rasga, as folhas saem das guias e caem para dentro (5). Aberta a fachada, o interior pressuriza e a força de arrancamento triplica (6). As ligações rompem em sequência, da frente para o fundo (7), e a cobertura é soerguida em bloco e lançada para trás (8). Os valores indicados são os da seção 9.11, para rajada de 95 km/h, altura de portão de 6,0 m e largura de 24,0 m, estas duas a confirmar.

Anexo C — Qualificação do responsável técnico

Luciano Andrey Schädler é engenheiro civil formado pela Universidade Estadual de Ponta Grossa em 1996, registrado no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná sob o nº 29.232/D.

Atua como perito judicial da Justiça Federal e da Justiça Estadual no Paraná e é professor de perícias e avaliações de engenharia na FAG, em Cascavel. Essa qualificação é histórico profissional: neste trabalho não há nomeação judicial, e o subscritor atua como responsável técnico contratado.

Elaborou pessoalmente mais de mil laudos periciais e tem mais de quinhentas obras executadas.

A elaboração deste laudo observou a ABNT NBR 13752:2024. As conclusões são técnicas e independentes de quem contrata, conforme declarado na seção 16.

L.A. Schädler Engenharia · Schadler Tech Ltda. — CNPJ 66.838.238/0001-07 — luciano@vxtech.tech