

À PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTINÓPOLIS

EM RESPOSTA À MGI CONSTRUTORA E ENGENHARIA LTDA – EPP

Ref.: Concorrência Pública nº 02/2014.

Em resposta à manifestação feita à prefeitura, DECLARO que os argumentos utilizados para se eximir da responsabilidade do fato ocorrido não procedem.

Seguem razões:

- 1) Foi realizado um laudo pericial e foi constatado falhas na execução das tesouras e dos apoios das mesmas nas vigas. Também não haviam terças no telhado e nem encaixes nas emendas das peças de madeira.
- 2) Os forros de PVC, inclusive estrutura para fixação representam uma carga muito pequena comparado ao peso do telhado.
- 3) As coberturas de policarbonato representam, assim como os forros de PVC, uma carga muito pequena em relação à cobertura. Além do mais, estas coberturas (policarbonato) foram engastadas em apenas um pilar de cada lado do pátio, ou seja, apenas 25% de seu peso estava sobre um dos pilares que pendeu.
É muito comum a utilização dessas coberturas em estruturas já existentes, justamente pelo fato de serem leves e não representar riscos de sobrepeso.

Como considerações adicionais, segue o cálculo do peso da cobertura e dos forros instalados:



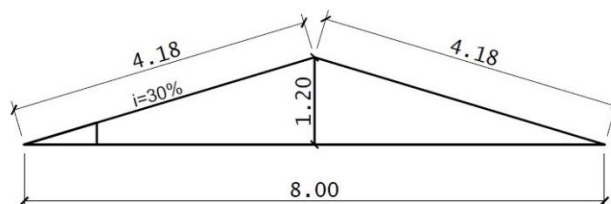
Os caibros estavam espaçados a cada 50 cm entre eixos. Suas dimensões eram de 5 x 15 cm. Podemos estimar uma quantidade de 33 caibros de cada lado, distribuídos nos 16,50 metros de vão:

$$\frac{16,50 \text{ m}}{0,50 \text{ m}} = 33$$

A madeira peroba rosa tem um peso específico aproximadamente entre 7 e 8 kN/m³. Dessa forma, considerando as dimensões de sua seção transversal e o peso específico de 8kN/m³, teremos:

$$8,0 \times 0,15 \times 0,05 = 0,06 \text{ kN/m}$$

O que representa 0,06 kN para cada metro linear de caibro.



Considerando que cada dupla de caibros possui 8,36 m, o peso dos caibros sobre a estrutura é da ordem de:

$$8,36 \text{ m} \times 0,06 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 33 \approx 16,55 \text{ kN} \approx 1,66 \text{ tonelada força (tf)}$$

O pátio coberto possuía área de:

$$8,00 \text{ m} \times 16,50 \text{ m} = 132,00 \text{ m}^2$$

O que dá uma carga por área de:

$$\frac{1,66 \text{ tf}}{132 \text{ m}^2} = 0,0125 \frac{\text{tf}}{\text{m}^2} \approx 0,125 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Equivalente a aproximadamente 12,5 quilograma-força por metro quadrado (somente dos caibros).

Para calcular o peso das telhas, será considerado a tabela 5 da NBR 6120/2019:

Tabela 5 – Telhas

Material	Peso na superfície inclinada kN/m ²
Telha cerâmica em geral (exceto tipo germânica e colonial)	0,45
Telha cerâmica tipo germânica ou colonial	0,60
Telha de fibrocimento ondulada com espessura 4 mm	0,14
Telha de fibrocimento ondulada com espessura 5 mm	0,16
Telha de fibrocimento ondulada com espessura 6 mm	0,18
Telha de fibrocimento ondulada com espessura 8 mm	0,24
Telha de fibrocimento modulada com espessura 8 mm	0,26
Telha de fibrocimento tipo canaleta com espessura 8 mm	0,25
Telha de alumínio com espessura 0,6 mm	0,025
Telha de alumínio com espessura 0,8 mm	0,035
Telha plástica em geral (exceto tipo colonial)	0,05
Telha plástica tipo colonial	0,15
Telha de aço ondulada ou trapezoidal com espessura 0,5 mm	0,06
Telha de aço ondulada ou trapezoidal com espessura 0,8 mm	0,10
Telha de aço ondulada ou trapezoidal com espessura 1,25 mm	0,14
Telha de vidro	0,45

NOTA Peso por metro quadrado de telhas, na superfície inclinada, incluindo a superposição, elementos de fixação e absorção de água.

Tabela 5 da NBR 6120/2019

Para uma telha cerâmica em geral, considera-se 0,45 kN/m². O que equivale a 0,045 tf/m² ou 45 quilograma-força por metro quadrado.

Somando o peso dos caibros e telhas, tem-se: 0,045 + 0,0125 = 0,0575 tf/m².
Para simplificar os cálculos, será acrescentado cerca de 15% de carga para considerar as 3 tesouras, a cumeeira e as ripas.

Dessa forma podemos estimar o telhado como tendo cerca de:

$$0,0575 \times 1,15 = \mathbf{0,066 \text{ tf/m}^2}$$

Valor compatível com a tabela 6 da NBR 6120/2019:

Tabela 6 – Telhados

Composição	Peso na superfície horizontal kN/m ²
Com telhas cerâmicas em geral (exceto tipo germânica e colonial) e estrutura de madeira com inclinação ≤ 40 %	0,7
Com telhas cerâmicas (tipo germânica e colonial) e estrutura de madeira com inclinação ≤ 40 %.	0,85
Com telhas de fibrocimento onduladas (com espessura até 5 mm) e estrutura de madeira	0,4
Com telhas de alumínio (com espessura até 0,8 mm) e estrutura metálica de aço	0,3
Com telhas de alumínio (com espessura até 0,8 mm) e estrutura metálica de alumínio	0,2
Com telhas de fibrocimento tipo canaleta (com espessura 8 mm) e estrutura de madeira	0,35
NOTA Peso por metro quadrado de telhado, na superfície horizontal, incluindo a estrutura de suporte (tesouras, terças, caibros e ripas).	

Tabela 6 da NBR 6120/2019.

Neta tabela a carga de telhado por metro quadrado é considerada como sendo 0,07 tf/m² ou 0,7 kN/m² ou 70 quilograma-força por metro quadrado.

Considerando o peso mais leve calculado (vista que não haviam terças na estrutura de madeira), o telhado exercia sobre a estrutura uma carga de 0,066 tf/m², que se multiplicada pela metragem do telhado, daria:

$$0,066 \frac{tf}{m^2} \times 132 m^2 = \mathbf{8,71 tf}$$

Ou seja, 8,71 tonelada-força ou 8.710,00 quilograma-força.

COMPARAÇÃO DA CARGA DO TELHADO EM RELAÇÃO AO FORRO DE PVC

Ainda segundo NBR 6120/2019, a carga de um forro de PVC, já considerando a estrutura de fixação, é de **0,10 kN/m²**

Multiplicando essa carga pela área do pátio da escola, tem-se:

$$0,01 \frac{tf}{m^2} \times 132 m^2 = \mathbf{1,32 tf}$$

Ou seja, 1,32 tonelada-força ou 1.132,00 quilograma-força.

Tabela 8 – Forros, dutos e *sprinkler*

Material	Peso kN/m ²
Forro de fibra mineral, inclui estrutura de suporte	0,10
Forro de gesso acartonado, inclui estrutura de suporte	0,25
Forro de gesso em placas, inclui estrutura de suporte	0,15
Forro de PVC, inclui estrutura de suporte	0,10
Forro de placas de alumínio, inclui estrutura de suporte	0,10
Dutos de ventilação, sem isolamento térmico	0,20
Dutos de ar-condicionado, com isolamento térmico	0,30
Rede de distribuição de chuveiros automáticos (<i>sprinkler</i>) com diâmetro nominal de até 65 mm	0,10
Rede de distribuição de chuveiros automáticos (<i>sprinkler</i>) com diâmetro nominal de até 80 mm	0,15

Tabela 8 da NBR 6120/2019

Para calcular a carga das estruturas de policarbonato, foi consultado um site de empresa especializada, conforme link abaixo:

<https://www.vick.com.br/arquitetura-e-construcao-civil/policarbonato-compacto/>

ESPESSURAS x PESO PC x PESO VIDRO

ESPESSURA (mm)	Peso PC (Kg/m ²)	Peso Vidro (Kg/m ²)
2	2,4	4,8
3	3,6	7,2
4	4,8	9,6
5	6,0	12,0
6	7,2	14,4
8	9,6	19,2
10	12,0	24,0

Tabela extraída do site acima mencionado.

Segundo catálogo da empresa, considerando espessura de 4 mm, o peso é cerca de 4,8 kg/m², ou seja, 0,0048 tf/m² ou 0,048 kN/m².

Considerando a cobertura de policarbonato com 15,00 m² em cada lado, e considerando que metade dessa carga está nos pilares da estrutura da escola (não o pátio que desabou), a influência sobre o pilar do pátio será de:

$$0,0048 \frac{tf}{m^2} \times \frac{15,00 m^2}{2 (metade da carga)} \times 2(lados) = 0,0048 \times 15,00 = 0,072 tf$$

Ou seja, 0,072 tf ou 0,72 kN ou 72 quilograma-força.

Em resumo, as cargas atuantes sobre a estrutura da cobertura são:

Carga	tf	tf / m ²	kN	kN / m ²
Telhado + estrutura de madeira	8,71	0,066	87,10	0,66
Forro PVC	1,32	0,01	13,20	0,10
Estrutura policarbonato	0,072	0,0048	0,72	0,05
SOMA	10,10	0,081	101,0	0,81

Por fim, conclui-se que a carga aumentada na estrutura do telhado foi cerca de **15%** de seu peso original, o que estaria com folga dentro do coeficiente de segurança que a estrutura deveria ter.

Estrutura original: 8,71 tonelada-força

Estrutura após instalações do forro de PVC e cobertura de policarbonato: 10,10 tonelada-força.

Aumento de cerca de 15%.

ANÁLISE DA ESTRUTURA

A estrutura da cobertura foi modelada no TQS (software de cálculo estrutural) e foi encontrado os seguintes resultados.

Foi considerado o peso total da cobertura, incluindo os forros, que dá 10,1 tf.

Esta carga foi distribuída nas vigas laterais de ambos os lados:

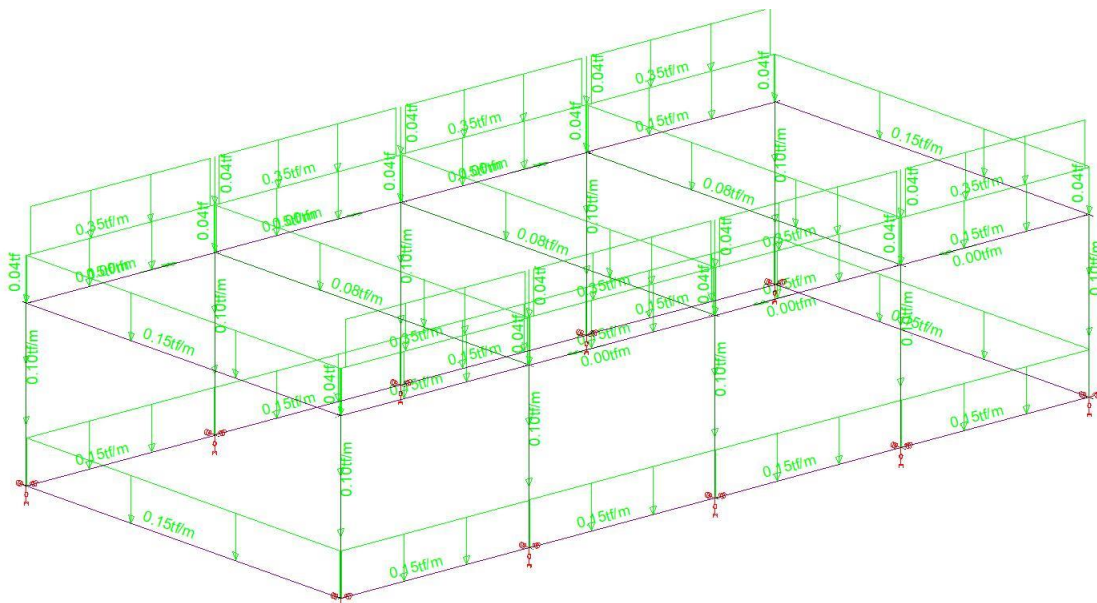
$$\frac{10,1}{2 \text{ lados}} = 5,05 \text{ tf em cada lado}$$

Fazendo os 5,05 tf ao longo dos 16,50 metros de comprimento da estrutura, temos:

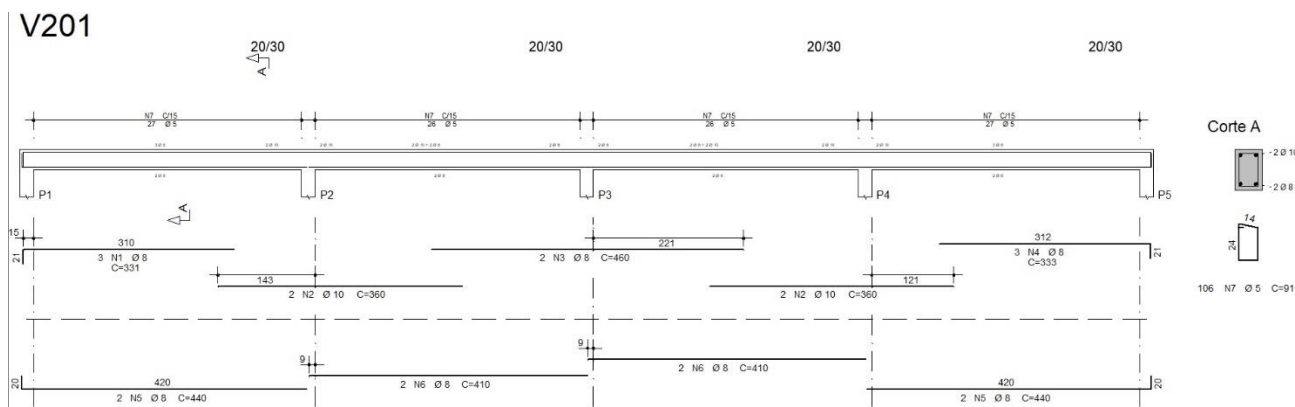
$$\frac{5,05}{16,50} = 0,31 \frac{\text{tf}}{\text{m}}$$

Ainda sim, foi lançado a carga de 0,35 tf/m para considerar algum sobrepeso.

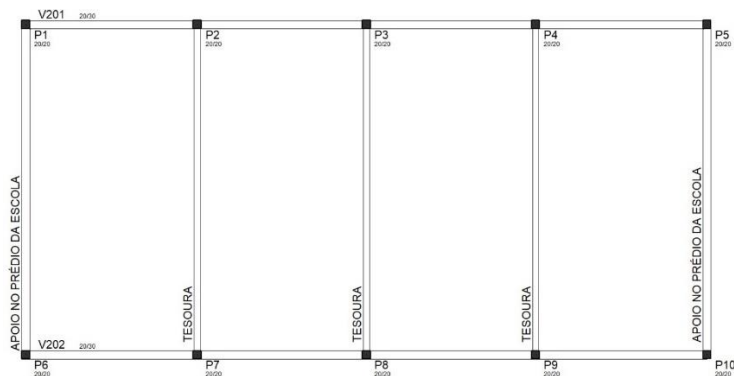
Segue as cargas lançadas e os resultados obtidos:



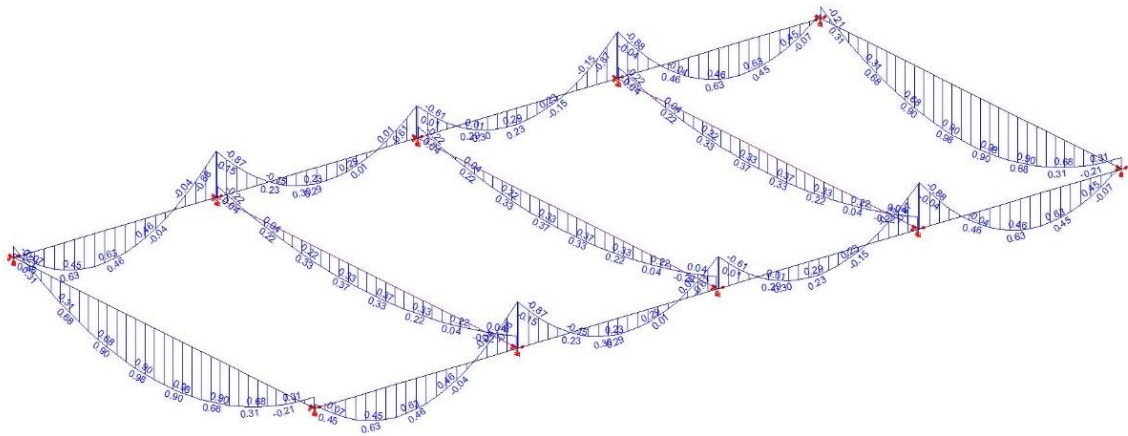
Esquema do carregamento na estrutura.



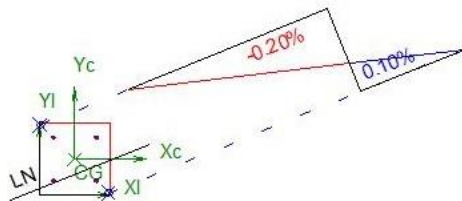
Viga calculada para a estrutura lançada, compatível com a que está executada.



Planta de formas da estrutura lançada.



Diagramas de momento fletor na estrutura.



Concreto

=====
 Área total..... 400.0 cm²
 Área por elemento..... 1.000 cm²
 Número de elementos..... 400
 f_{ck}..... 25 MPa
 GamaC..... 1.40

Aço

=====
 Área total..... 3.1 cm²
 Número de elementos..... 4
 f_{yk}..... 500 MPa
 Tipo de aço..... A
 GamaS..... 1.15
 Módulo de elasticidade.... 210000. MPa

Resultado do cálculo

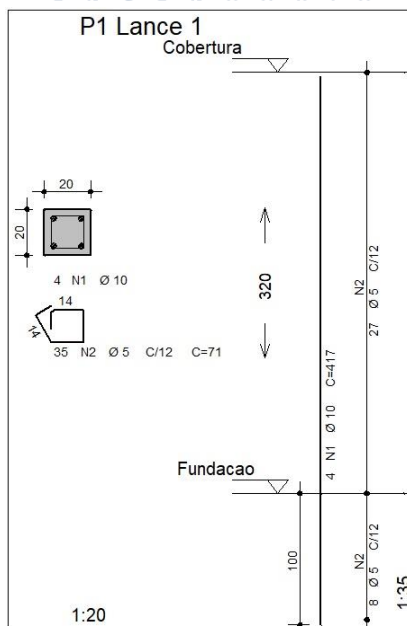
=====
 Dimensionamento..... OK
 Carregamento de As máximo 5
 Força normal 2.53 tf
 Momento M_x 0.70 tfm
 Momento M_y 0.33 tfm
 As existente 3.14 cm² (0.79%)
 As necessário (mínimo)..... 1.60 cm² (0.40%)

Lista de carregamentos

=====
 =====

Caso/Comb	Sistema	Fz	Mx	My	Sd/Rd	Seção
	tf	tfm	tfm			
1 M1d,min	Central	2.53	0.09	0.00	0.05 OK	-
2 M1d,min	Central	2.53	-0.09	0.00	0.05 OK	-
3 M1d,min	Central	2.53	0.00	0.09	0.05 OK	-
4 M1d,min	Central	2.53	0.00	-0.09	0.05 OK	-
5 7	Central	2.53	0.70	0.33	0.57 OK	Topo
6 3	Central	2.53	-0.34	-0.16	0.23 OK	Base
7 M1d,min	Central	2.53	-0.06	0.06	0.06 OK	-
8 M1d,min	Central	2.53	0.06	-0.06	0.06 OK	-

Análise do pilar P9, modelando-o como se houvesse carga da cobertura, forro de PVC e cobertura de policarbonato. Mostra que não mudaria da atual configuração que se encontra executado. Na verdade, ainda sobraria para carregá-lo. Detalhe para a As (área de aço) existente e As (área de aço) necessário.



Dimensionamento do pilar com todas as cargas. Seria igual ao pilar que se encontra no local.

CONCLUSÃO:

Conforme mencionado no laudo pericial, reitero que a estrutura foi a colapso devido à má execução das tesouras do madeiramento, bem como dos apoios errados dentro da viga, o que realmente causou a torção da mesma, e por fim a falta dos encaixes nas emendas das madeiras.

Reforço veemente que a estrutura da cobertura não foi a colapso por conta da instalação do forro de PVC e nem da cobertura de policarbonato apoiada nos pilares e sim por conta dos erros na execução do telhado. Ainda reforço que é absolutamente comum a execução de forros de PVC e estruturas de policarbonatos em coberturas com madeiramento aparente, justamente por conta da pouca carga que eles representam para a estrutura.

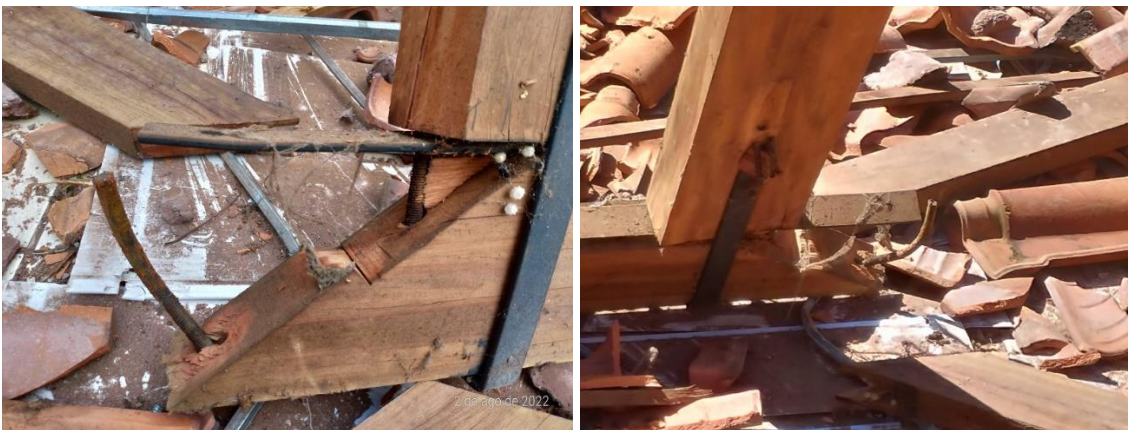
Segue algumas fotos das falhas na estrutura:



Esquerda: falta de encaixa na tesoura. Direita: emenda lisa na cumeeira, com apoio de apenas dois pregos, sem encaixe.



Imagens da estrutura do telhado dos prédios próximos, construídos pela mesma construtora, sem encaixes nas emendas. Necessário reforço do madeiramento.



Parafuso rompido.



Tesouras apoiadas nas vigas, adentrando cerca de 5 cm e causando torção na mesma. Execução em desacordo com as recomendações e segurança. Tal apoio causou dois fenômenos, o da torção da viga e o da dilatação térmica, fazendo com que a madeira expandisse e empurrasse a viga. Um dos dois fenômenos ou mesmo a combinação de ambos podem ter feito com que a tesoura, que estava com pouco apoio escorregasse da estrutura e a colapsasse.

A movimentação da estrutura devido à falta de encaixe nas emendas das peças de madeira também colaborou para o evento.

Sem mais a declarar.

Altinópolis, 04 de agosto de 2022.

José Wilson Pollo Junior
Engenheiro Civil
CREA: 5.070.210.472