



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

RELATÓRIO TÉCNICO

Nota técnica: 01/2008

Trabalho realizado para:
DECATHLON Portugal

Trabalho realizado por:
Débora Ferreira
Paulo Piloto
Luísa Barreira
Eduarda Luso
Octávio Pereira
João Pires
Hermínia Morais

LABORATÓRIO DE ESTRUTURAS E RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

Bragança, 30 de Abril de 2008

Índice

1 - Introdução.....	1
2 - Descrição dos trabalhos.....	1
3 - Procedimentos realizados “in situ”	1
3.1 - Medição efectuadas na cobertura	1
3.2 - Inspeção visual da estrutura	3
3.3 - Verificação do estado dos materiais	5
4 - Ensaios realizados em laboratório	6
5 - Simulações numéricas para verificação do projecto	6
6 - Considerações finais.....	12
6.1- Segurança estrutural	12
6.1.1 – Estrutura porticada de betão armado	12
6.1.2 – Laje térrea.....	12
6.1.3 – Cobertura.....	12
6.2- Impermeabilização	12
7 - Referências bibliográficas.....	13

RELATÓRIO TÉCNICO

1 - Introdução

O presente relatório tem como objectivo a elaboração de um parecer técnico sobre a verificação de segurança da estrutura de um pavilhão situado no Alto das Cantarias em Bragança. O pavilhão de um único nível, com cota de 3.30[m] acima da Avenida das Cantarias.

Os trabalhos efectuados decorreram de modo a dar resposta aos itens solicitados pela empresa, nomeadamente a análise à estrutura de betão armado e à cobertura metálica autoportante.

O presente relatório está dividido em cinco partes distintas. Na primeira parte são descritos os trabalhos necessários à realização deste parecer. Numa segunda fase, são apresentados os procedimentos realizados “in situ” seguidos dos ensaios realizados em laboratório. Faz parte deste relatório uma simulação numérica da cobertura, apresentando-se os resultados numa quarta parte. Por último são feitas as considerações finais referentes aos estudos efectuados.

2 - Descrição dos trabalhos

Foram efectuadas duas visitas ao local para verificação do estado da estrutura, medições e extracção de amostras para caracterização dos materiais.

Para o efeito, deslocou-se ao local a equipa técnica necessária à realização do estudo pertencente ao Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais (L.E.R.M.) e Laboratório de Materiais de Construção (L.M.C.) da Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança (E.S.T.I.G.).

Durante o decorrer dos trabalhos foram efectuadas algumas fotografias que, para o presente relatório, ilustram e auxiliam na compreensão dos procedimentos efectuados.

3 - Procedimentos realizados “in situ”

3.1 - Medição efectuadas na cobertura

Para analisar a posição vertical da cobertura, foram efectuadas medições em 3 zonas diferentes, recorrendo a um sistema laser. Em todos os casos foram recolhidas leituras espaçadas de 1 [m] entre si, desde o ponto inicial j_0 até ao ponto final localizado a 20 [m] do primeiro (ver Anexo I).

As medições foram realizadas ao longo das linhas L1, L2 e L3 (ver Anexo II).

Na tabela 1 são apresentados os resultados das medições obtidos nos 3 diferentes alinhamentos.

Tabela 1: Medições da posição da cobertura.

Distância a partir do ponto inicial	L1 [m]	L2 [m]	L3 [m]
h1	5,897	5,894	5,879
h2	6,217	6,228	6,180
h3	6,466	6,469	6,446
h4	6,708	6,700	6,688
h5	6,887	6,894	6,885
h6	7,021	7,053	7,037
h7	7,155	7,175	7,144
h8	7,240	7,242	7,229
h9	7,277	7,287	7,279
h10	7,277	7,315	7,300
h11	7,267	7,298	7,262
h12	7,212	7,254	7,213
h13	7,120	7,158	7,129
h14	7,008	7,061	7,006
h15	6,838	6,881	6,865
h16	6,652	6,674	6,679
h17	6,420	6,488	6,430
h18	6,172	6,190	6,152

No gráfico da Figura 1 é representada a posição na cobertura ao longo dos 3 alinhamentos L1, L2 e L3. No gráfico, não se verifica qualquer diferença de posição da cobertura.

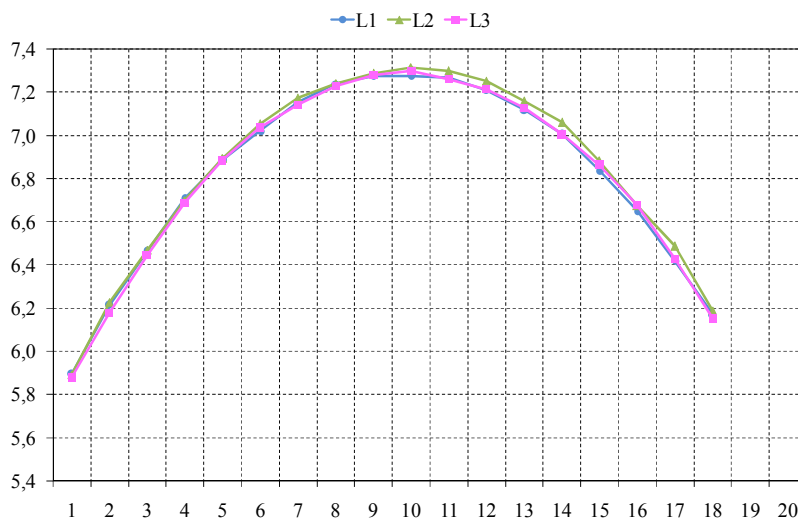


Figura 1: Representação gráfica do deslocamento da cobertura em três localizações.

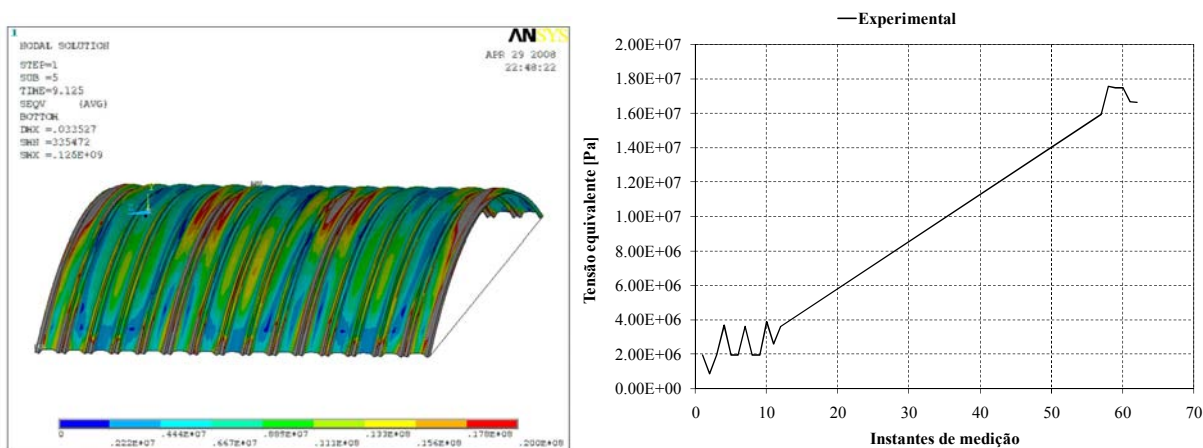
Através do sistema laser, foi ainda verificada a largura e o comprimento total do pavilhão tendo-se verificado que as dimensões reais do pavilhão correspondem às consideradas no projecto.

Durante a fase de inspecção da cobertura, foi decidido efectuar a medição das tensões instaladas na superfície inferior, utilizando o método de medição das tensões residuais (não destrutivo), por aplicação de extensómetros adequados, modelo HBM 1-RY61-1.5/120, ver Figura 2.



Figura 2: Medição de tensões instaladas na cobertura.

Das medições foi possível validar o estado de tensão correspondente ao ELS (Estado Limite de Serviço). Na Figura 3, pode ser verificado o valor da tensão equivalente, para a situação de carga correspondente ao ELS.



a) Simulação 1: Tensão equivalente para ELS na superfície inferior da chapa de aço.

b) Resultado das medições efectuadas na superfície inferior da chapa de aço.

Figura 3: Resultados experimentais e numéricos para ELS.

3.2 - Inspeção visual da estrutura

Nesta tarefa foi efectuada uma inspecção visual a todos os pilares, vigas e laje térrea para identificação de patologias. A estrutura de betão armado e a laje térrea não apresentam fissuras visíveis.

Na cobertura foi efectuada um controlo visual dos apoios (ver Figura 4), efectuada a medição entre os apoios (d), a medição da distância entre os 15 tirantes horizontais (Lt1), a medição da distância entre os 7 tirantes secundários (Lt2) e o diâmetro dos mesmos (ϕ_t), ver Tabela 2.



Figura 4: Inspeção visual à cobertura e apoios.

Tabela 2: Medições efectuadas nos tirantes.

Tirantes	Distância [m]
d	0.66
Lt1	3.30
Lt2	6.50
ϕt	0.01

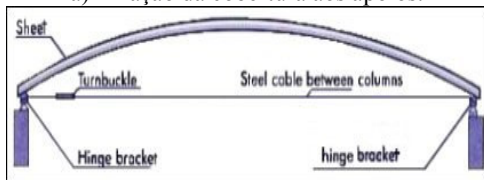
Da inspeção visual efectuada na cobertura, constata-se que a implementação deve ter sido efectuada conforme prática comum, utilizando na montagem apoios duplos e simples, conforme modelos existentes, ver Figura 5.



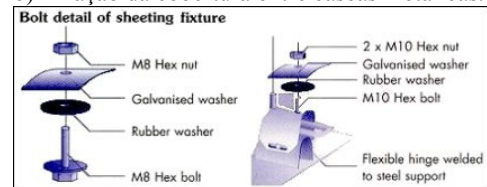
a) Fixação da cobertura aos apoios.



b) Fixação da cobertura entre cascas metálicas.



c) Modelo de sistema para tirantes horizontais.



d) Modelo de fixação em apoios e entre cascas.

Figura 5: Pormenores das ligações aparafusadas na cobertura.

3.3 - Verificação do estado dos materiais

Nesta tarefa foi utilizado o esclerómetro *Schmidt* para estimar a resistência média à compressão do betão nos pilares e vigas identificados no Anexo II. As medições foram efectuadas a 1,5[m] de altura nos pilares e a meio vão nas vigas (ver Figura 6).



Figura 6: Medições efectuadas com o esclerómetro.

Os resultados obtidos nas medições são apresentados na Tabela 3, onde W_{\min} e W_{\max} representam os limites inferior e superior da resistência média do betão.

Tabela 3: Medições com o esclerómetro *Schmidt*.

Pilar/Viga	W_{\min} [MPa]	W_{\max} [MPa]	Resistência média [MPa]
P1a	33.4	40.5	40.0
P1b	40.6	47.9	44.0
P2a	31.8	38.7	39.4
P2b	40.6	47.9	43.7
P3a	33.4	40.5	39.9
P3b	30.1	37.0	37.7
V1	31.8	38.7	39.1
V2	31.8	38.7	38.6
V3	30.1	37.0	38.3
V4	28.4	35.3	37.3

O estado das armaduras, dos pilares, das vigas e da laje térrea, foi avaliado recorrendo a um detector de armaduras (*Micro Covermeter*), ver Figura 7. Com este ensaio foi possível confirmar a percentagem de armadura longitudinal e transversal, a sua posição bem como a espessura do betão de recobrimento.



Figura 7: Medições efectuadas com o detector de armaduras.

4 - Ensaio realizados em laboratório

De modo, a complementar a caracterização do betão dos pilares/vigas e da laje térrea foram extraídas carotes de pilares/ vigas e da laje térrea (ver Figura 8).



Figura 8: Extração de carotes nos pilares e laje.

Os resultados dos ensaios de compressão às carotes realizados em laboratório são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Resistência média do betão.

Local da recolha	f_c [MPa]
Viga/pilar	16
Laje	20

De acordo com o projecto, o betão ensaiado confirma a classe do material B15.

5 - Simulações numéricas para verificação do projecto

O modelo avançado de cálculo foi executado com o programa ANSYS, utilizando elementos de casca SHELL 281, para simular a cobertura autoportante da marca “blocotelha”, modelo “BNTA-700”, conforme projecto e implementação do pavilhão, [1], ver Figura 9.



a) Interior da cobertura do armazém.

b) Exterior da cobertura do armazém.

Figura 9: Fotografias do exterior e interior da cobertura.

Este modelo utilizou parte da geometria da cobertura, correspondente a 10 [m] de comprimento do pavilhão, considerado representativo da solicitação mais crítica.

Na Figura 10 está definido o modelo da geometria da chapa em aço zincado, conforme geometria representada no Anexo III, [2].

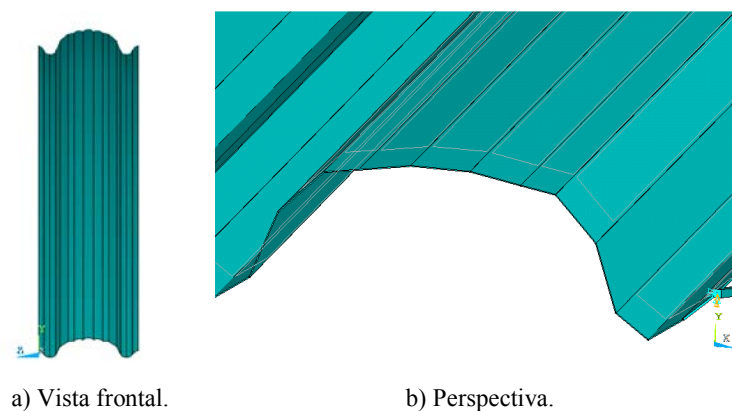


Figura 10: Modelo de elementos finitos de chapa BNTA700.

Da inspeção efectuada no local, não foi possível efectuar a medição da espessura da chapa (valor não referido no projecto) nem sequer foi possível determinar o comportamento do material, uma vez que seria necessário efectuar cortes destrutivos na estrutura.

Da consulta efectuada ao fabricante, foi decidido utilizar um modelo de tensão deformação com endurecimento, para a chapa de aço, com referência S235, ao qual corresponde uma tensão de cedência de $f_{yd}=235$ [MPa] e uma tensão de ruptura de $f_{ud}=360$ [MPa]. Para os tirantes foi utilizado aço de alta resistência, com tensão de cedência de $f_{yd}=640$ [MPa], ver Figura 11.

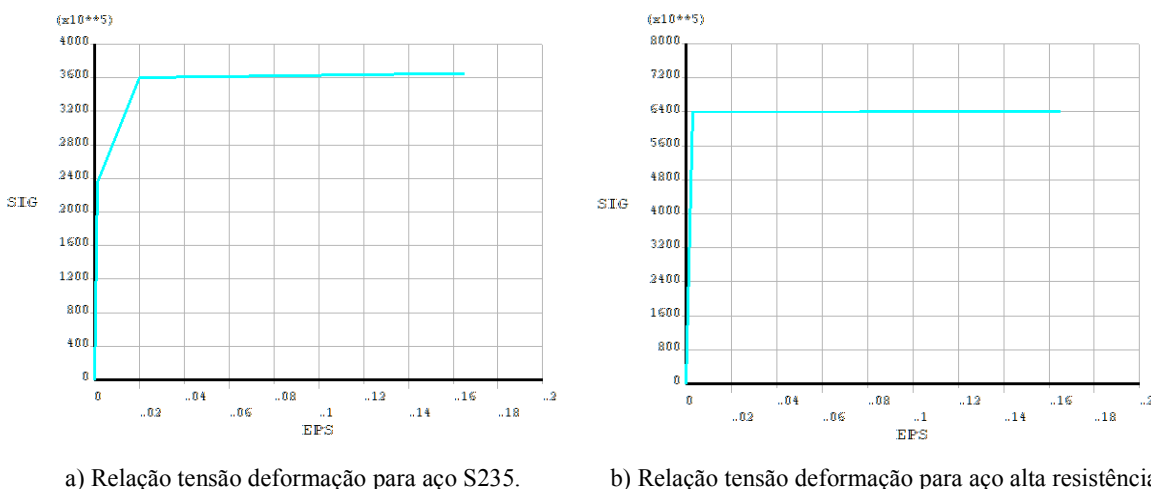


Figura 11: Modelo de comportamento material para chapa e tirantes.

Da inspecção efectuada no local foi possível verificar que os 15 tirantes horizontais, existentes no pavilhão, possuem diâmetro de 10 [mm]. Nas simulações efectuadas, foram considerados 4, 7 e 10 tirantes, por cada 10 [m] de comprimento de modelo. O modelo de tirantes é baseado no elemento finito LINK8.

A simulação foi efectuada com carregamento incremental da pressão, variável com uma resolução mínima de 0,217 [N/m²], aplicada nas superfícies do modelo, conforme Figura 12. Este carregamento foi incrementado até não ser possível garantir o equilíbrio do modelo da estrutura, ao qual deverá corresponder o valor resistente de cálculo, Prd.

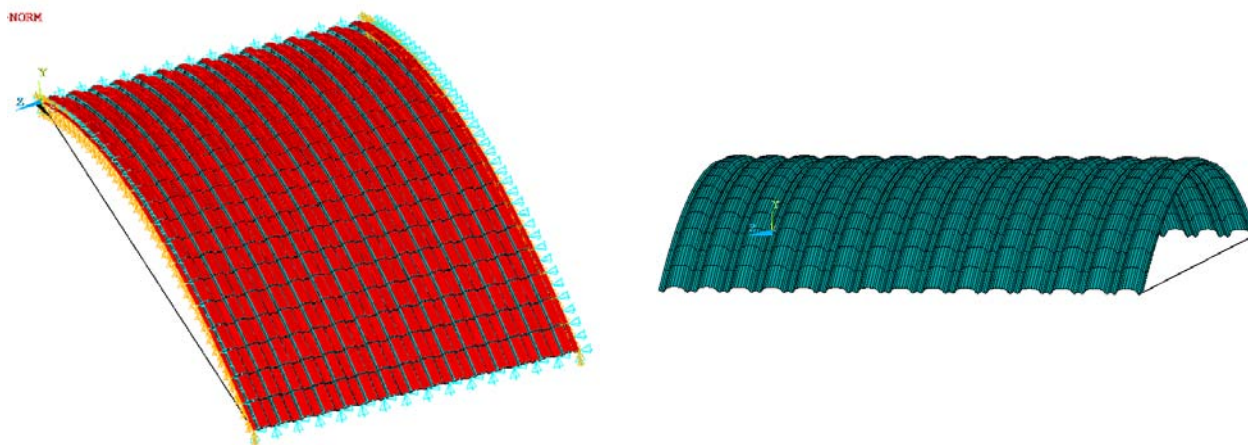


Figura 12: Modelo de cobertura autoportante com 10 [m] de comprimento.

O valor da carga de projecto foi calculado para a hipótese de carregamento mais crítica, considerando a neve como acção variável de base. Nesse sentido, e para verificação do ELU (Estado Limite Último), considera-se uma estrutura segura, sempre que o valor resistente de cálculo da pressão, Prd, ultrapasse o valor solicitante de cálculo de pressão, P_{sd}= 2170 [N/m²], conforme regulamento de segurança e acções, [3].

Foi ainda verificado o ELS (Estado Limite de Serviço), para a solicitação mais crítica, ao qual corresponde um valor solicitante de cálculo de pressão, P_{sd}=147 [N/m²], para combinações quase permanentes (estados limites de longa duração). Para estas condições, foi verificado o deslocamento máximo a meio vão da estrutura e comparado com valores de referência máximos (L/200), [4].

Na Tabela 5, está resumido o conjunto de simulações efectuadas, considerando diferentes valores de espessura de chapa e número de tirantes, para um modelo com 10 [m] de comprimento.

Tabela 5: Resultado das simulações para verificação de segurança.

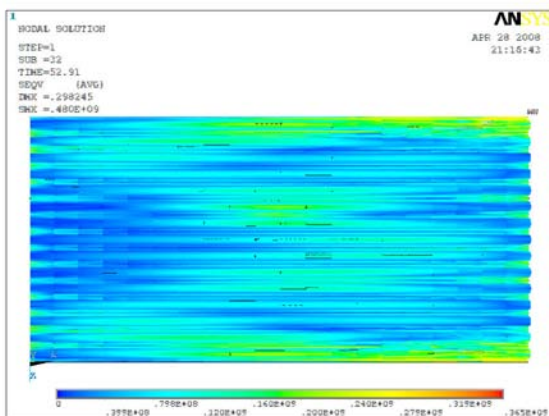
Simulação	Espessura chapa [mm]	Nº de tirante por cada 10 [m]	ELU	Prd [N/m ²]	ELS	Deslocamento máximo ELS [mm]	Segurança
1	1.25	4	Não	1148	Sim	23	Não
2	1.00	4	Não	982	Sim	36	Não
3	1.00	7	Não	1709	Sim	14	Não
4	1.25	7	Não	1874	Sim	13	Não
5	1.00	10	Não	2001	Sim	9	Não
6	1.12	10	Sim	2582	Sim	8	Sim

Da análise aos resultados e de acordo com as sugestões do fornecedor da telha autoportante, pode-se concluir:

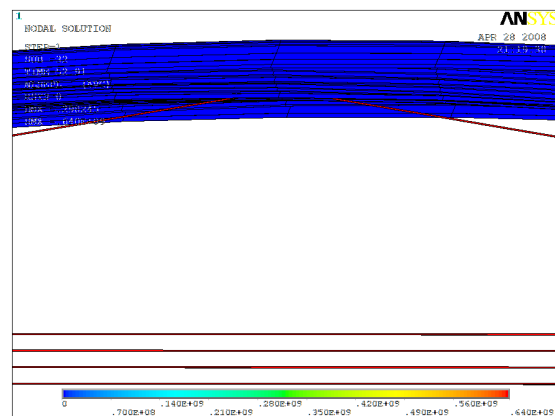
- Para um vão de 20 [m] entre pilares e uma “flecha” de 2 [m], a estrutura possui um raio de curvatura de 26 [m]. A espessura sugerida para aplicação na telha BNTA700 é de 1.10 a 1.12 [mm], sendo que o fornecedor aconselha um estudo prévio da solução, [2]. Este estudo não foi disponibilizado no projecto.

- Admitindo que a espessura aplicada na cobertura é 1.12 [mm], será necessário reforçar o número de tirantes horizontais. Para verificação da segurança (ELU), deverá ser efectuada a colocação de 10 tirantes, com diâmetro 10 [mm], por cada 10 [m] de comprimento da cobertura. Esta conclusão resulta da análise efectuada na simulação 6.

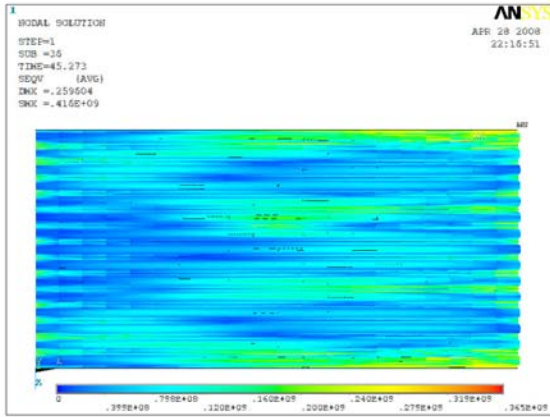
Na Figura 13 estão resumidos os resultados mais significativos para cada simulação, tendo sido verificado o valor da tensão equivalente de von Mises na chapa da cobertura e verificado o estado de tensão nos tirantes, para cada valor de pressão resistente de cálculo.



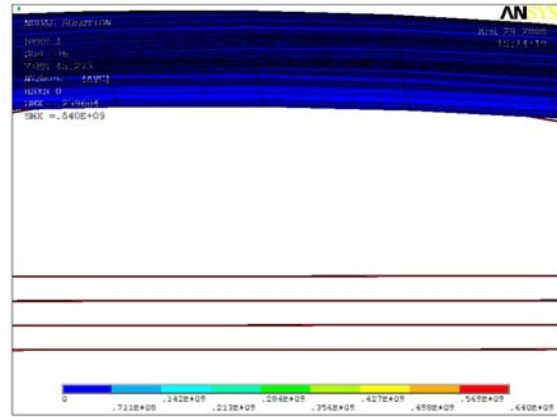
a) Simulação 1: Tensão equivalente von Mises para ELU.



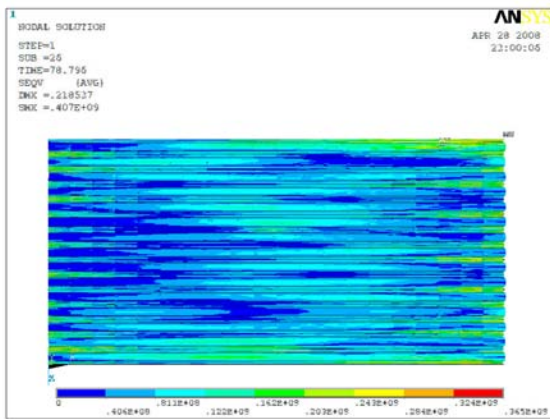
b) Simulação 1: Tensão equivalente em regime plástico nos tirantes para ELU.



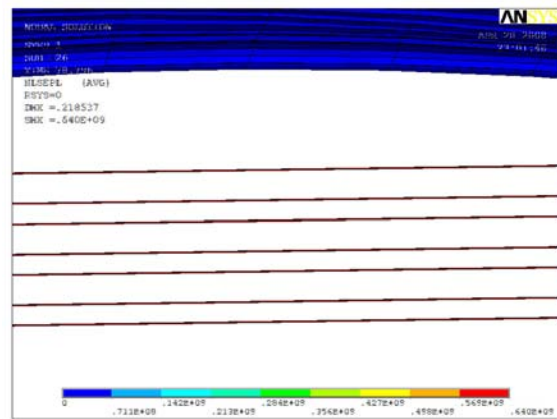
c) Simulação 2: Tensão equivalente von Mises para ELU.



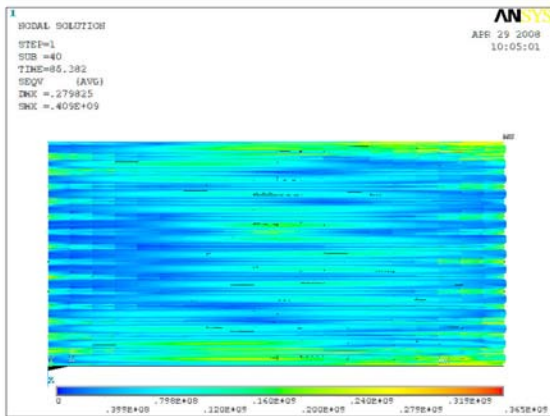
d) Simulação 2: Tensão equivalente em regime plástico nos tirantes para ELU.



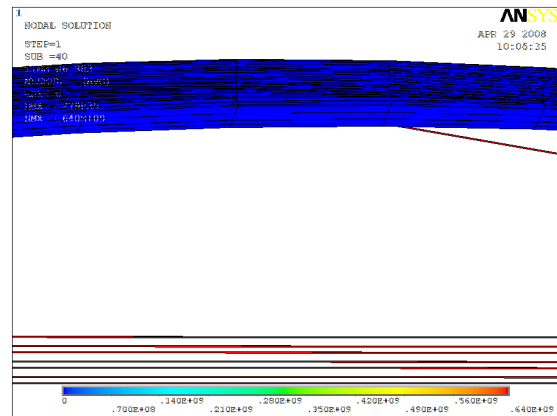
e) Simulação 3: Tensão equivalente von Mises para ELU.



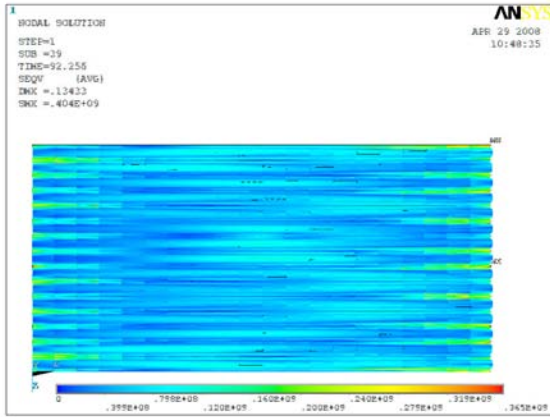
f) Simulação 3: Tensão equivalente em regime plástico nos tirantes para ELU.



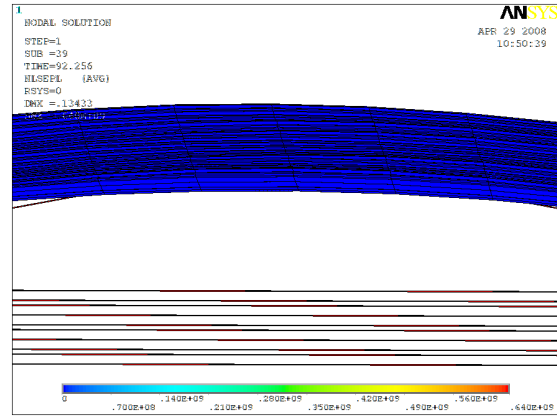
g) Simulação 4: Tensão equivalente von Mises para ELU.



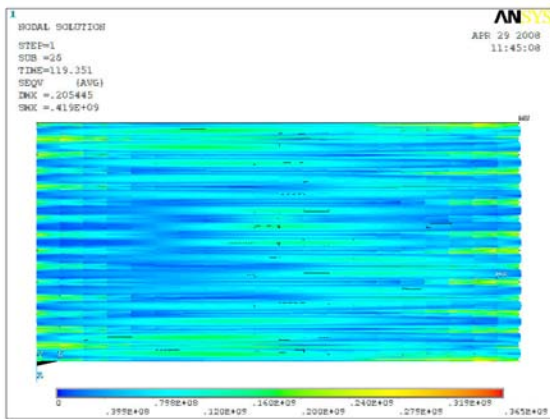
h) Simulação 4: Tensão equivalente em regime plástico nos tirantes para ELU.



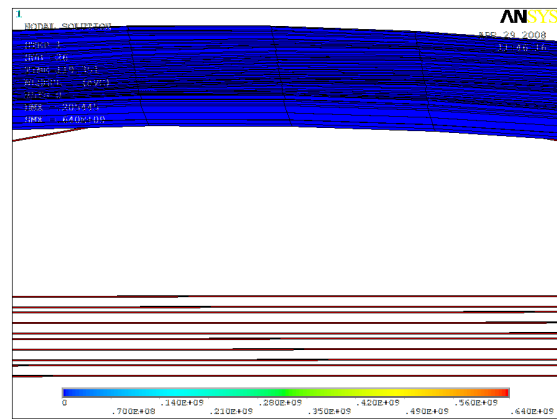
i) Simulação 5: Tensão equivalente von Mises para ELU.



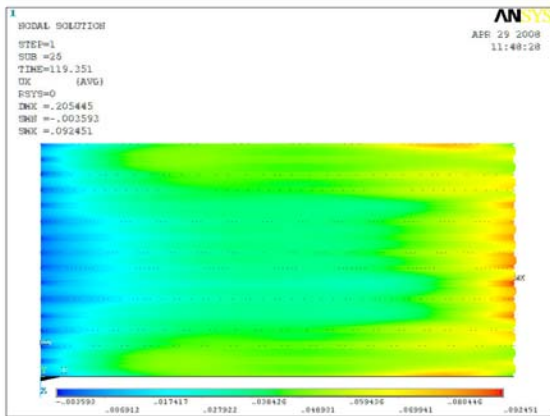
j) Simulação 5: Tensão equivalente em regime plástico nos tirantes para ELU.



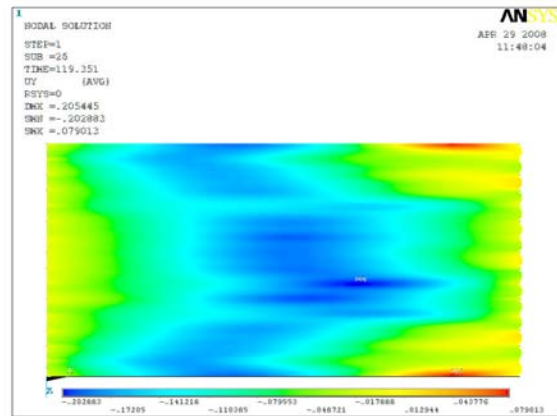
k) Simulação 6: Tensão equivalente von Mises para ELU.



l) Simulação 6: Tensão equivalente em regime plástico nos tirantes para ELU.



m) Simulação 6: Deslocamento na direcção x, para ELU.



n) Simulação 6: Deslocamento na direcção y (vertical), para ELU.

Figura 13: Resultados numéricos das simulações efectuadas.

Para todas as simulações estudadas é verificado o início de plastificação da cobertura e a completa plastificação de todos os tirantes (ELU), sendo que na simulação 6 é verificado o ELU (segurança da cobertura).

Para a simulação 6 foi ainda determinado o valor do deslocamento máximo em plano horizontal (direcção x) e vertical (direcção y).

6 - Considerações finais

6.1- Segurança estrutural

6.1.1 – Estrutura porticada de betão armado

Foi confirmada a segurança da estrutura, de acordo com o projecto, [1].

6.1.2 – Laje térrea

De acordo com o projecto [1], a laje térrea verifica a segurança para as condições de utilização do pavilhão, não apresentando qualquer patologia susceptível de intervenção.

6.1.3 – Cobertura

Considerando a hipótese menos favorável para a espessura da casca da cobertura, somos de opinião que a estrutura deverá ser reforçada, aumentando o número de tirantes horizontais. Por cada 10 [m] de comprimento do pavilhão, deverão ser colocados 10 tirantes horizontais com diâmetro 10 [mm].

6.2- Impermeabilização

Em função das observações efectuadas, ver Figura 14, somos de opinião que se deverá rectificar o sistema de impermeabilização nos topos da estrutura, pelo facto de se observarem patologias relacionadas com humidade.



a) Fotografia 1.

b) Fotografia 2.

c) Fotografia 3

Figura 14: Fotografias da cobertura com pormenores no topo do armazém.

7 - Referências bibliográficas

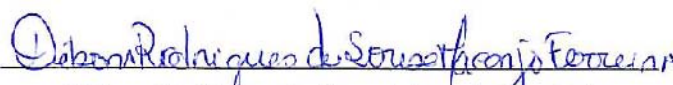
[1] – Gonçalves, Manuel Fernando Afonso; “Termo de responsabilidade projecto de construção de um armazém”; Gabinete de projectos PLANO, Bragança, Julho de 1991.

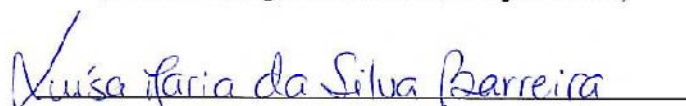
[2] – Blocotelha - construções metálicas; “catálogo BNTA700”.


[3] – RSA, DL N°235/83 - Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes - Editora Rei dos Livros.

[4] – REAE, DL N°211/86 - Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios – Editora Rei dos Livros.

Bragança, 2 de Maio de 2008

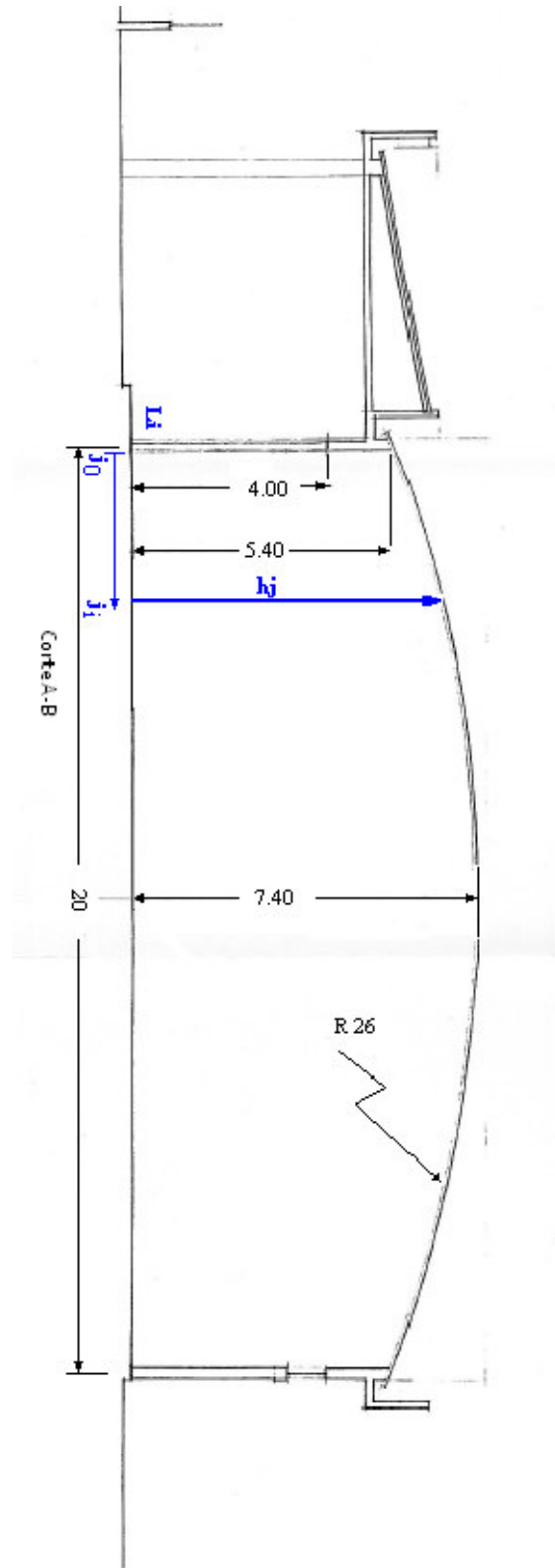

(Débora Rodrigues de Sousa Macanjo Ferreira)


(Luisa Maria da Silva Barreira)


(Paulo Alexandre Gonçalves Piloto)

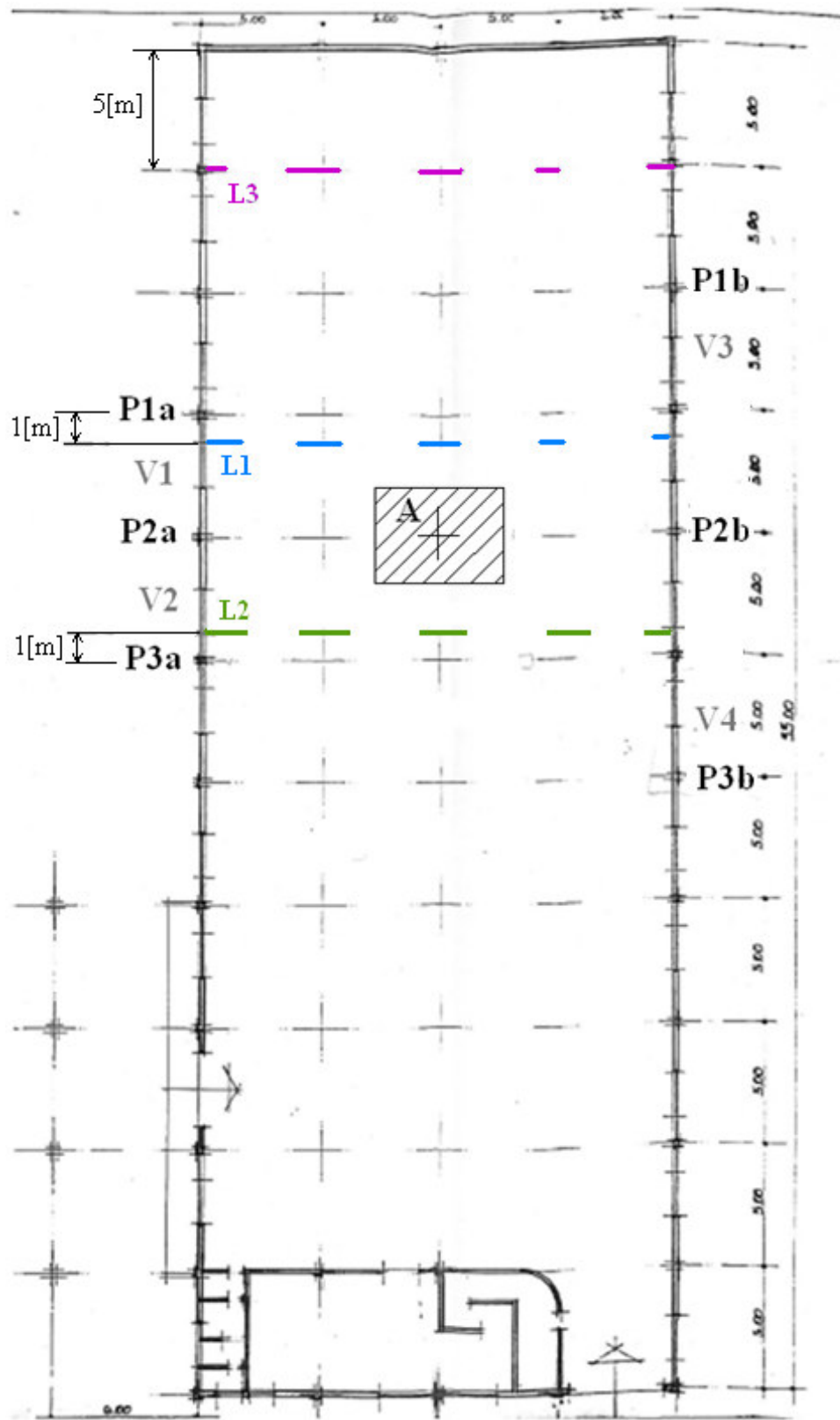
ANEXO I

(planta do pavilhão em corte)



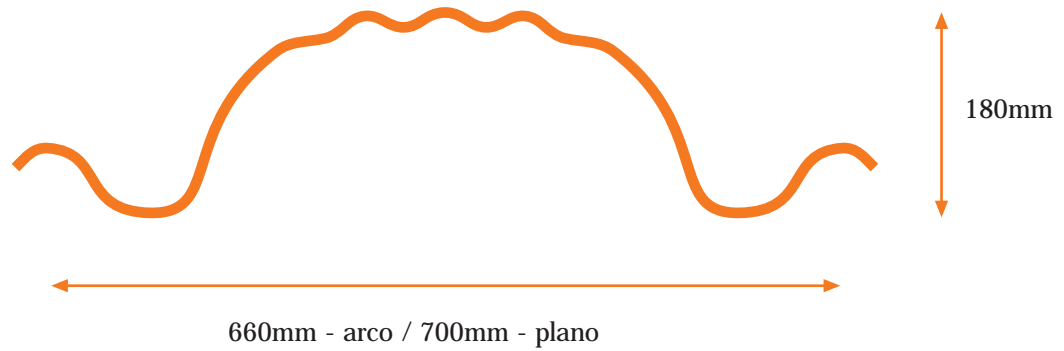
ANEXO II

(planta de localização dos pilares)



ANEXO III

(Catálogo Blocotelha BNTA700)



Perfil de Telha

Vãos (em metros)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30															
BC 70 (arco)	0,80mm														1,00mm																														
Flecha (m)	0,01	0,04	0,09	0,17	0,21	0,30	0,41	0,54	0,69	0,86	1,04	1,25	1,21	1,42																															
Raio de Curvatura (m)	12	12	12	12	15	15	15	15	15	15	15	15	18	18																															
BC 90 (arco)											0,70mm		0,80mm		1,00mm		1,25mm																												
Flecha (m)											0,58	0,70	0,83	0,98	1,14	1,32	1,51	1,56	1,75	1,80	1,85	2,04	2,09																						
Raio de Curvatura (m)											22	22	22	22	22	22	22	24	24	24	26	28	28	30	30																				
BP 114/BC 114 (arco)															1,00mm		1,25mm		1,50mm		1,75mm		2,00mm		2,25mm		2,50mm		2,75mm																
Flecha (m)															1,32	1,50	1,55	1,75	1,95	2,00	2,05	2,25	2,30	2,50	2,54	2,60																			
Raio de Curvatura (m)															22	22	24	24	24	26	28	28	30	30	32	34																			
700 plano											0,70mm		0,80mm		1,00mm		1,25mm		1,50mm																										
700 arco											0,80mm		1,00mm		1,25mm		1,50mm																												
Raio de Curvatura (m)											15	15	15	18	18	20	20	23	23	26	26	28	28	30	30																				
Flecha (m)											0,86	1,04	1,25	1,21	1,42	1,46	1,67	1,63	1,83	1,80	2,00	2,04	2,25	2,29	2,50																				
900 plano															1,25mm		1,50mm		1,75mm		2,00mm		2,25mm		2,50mm		2,75mm																		
900 arco															1,50mm		1,75mm		2,00mm		2,25mm		2,50mm		2,75mm																				
Raio de curvatura (m)															40	40	40	40	40	40	40	40	40	42	42	42	42	42	42	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Flecha (m)															0,71	0,81	0,91	1,03	1,14	1,21	1,33	1,47	1,61	1,84	2,00	2,17	2,35	2,53	2,72	2,92															

Espeçura da chapa: 0,70mm, 0,80mm, 1,00mm, 1,12mm, 1,25mm, 1,50mm
 Sujeito a estudo prèvio em funçào do vento e da neve. A tabela acima nào dispensa a consulta dos nossos serviçòs tècnicos



BNTP 700

Espessura (mm)	Peso (kg/m ²)	Área Efectiva (cm ²)	Momento de Inércia (mm ⁴ /m x10 ⁴)	Módulo de Flexão (mm ³ /m x10 ³)	Momento Resistente (KN.m/m)	Raio de Curvatura (m)
0.80	9,00	12,00	457	49	11,52	—
1.00	11,50	15,00	571	61	14,34	—
1.12	12,60	17,00	640	69	16,22	—
1.25	14,20	19,00	714	76	17,86	—

BNTA 700

Espessura (mm)	Peso (kg/m ²)	Área Efectiva (cm ²)	Momento de Inércia (mm ⁴ /m x10 ⁴)	Módulo de Flexão (mm ³ /m x10 ³)	Momento Resistente (KN.m/m)	Raio de Curvatura (m)
0.80	9,60	12,00	625	60	14,10	20,80
1.00	12,00	15,00	781	75	17,63	24,70
1.12	13,50	17,00	875	84	19,74	27,30
1.25	15,00	19,00	977	93	21,86	29,90

Pormenores de Ligação

