

# TESE DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

*em design e marketing*



UNIVERSIDADE DO MINHO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉXTIL

Este trabalho foi apoiado financeiramente pelo Sub-Programa Ciência e Tecnologia do 2º Quadro Comunitário de Apoio.

# A G R A D E C I M E N T O S

Esta página apresenta uma responsabilidade acrescida, por ser aquela em que tenho de agradecer duma forma sucinta a todas as pessoas que permitiram a realização e a conclusão deste trabalho. Em primeiro lugar, tenho de referir como foi importante, durante o desenvolvimento desta tese, contar com o apoio e orientação do Doutor Jorge Neves, não só nos aspectos técnicos, mas também pela amizade e paciência que revelou ao longo de todo um processo que se estendeu até um pouco mais do que estava previsto. Devo sublinhar a sua perspicácia por haver sugerido um caminho ainda tão pouco explorado, pelo menos em Portugal, duma área tão interessante e da maior acuidade, como aquela da possibilidade de aplicação dos materiais têxteis na construção de edifícios inteligentes.

Gostaria de fazer um agradecimento muito especial ao Doutor Lubos Hes que, pelos seus conhecimentos técnicos, experiência e disponibilidade, permitiu a realização dos ensaios térmicos às telas “reactivas” do trabalho prático da proposta 1, bem como a sua valorosa e imprescindível colaboração na formulação e análise aos resultados obtidos. Ao Doutor Luís Bragança, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, agradeço o seu importante apoio, muito especialmente os conselhos e reparos na área de térmica. Também agradeço ao Assistente deste Departamento, Eng<sup>o</sup> Rui Ramos, os conselhos, especialmente referentes aos capítulos mais directamente ligados à concepção das estruturas. O meu reconhecimento estende-se também aos docentes do Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho, responsáveis pela parte curricular do Mestrado em Design e Marketing e muito especialmente à Doutora Manuela Neves, directora deste, pelo interesse e apoio manifestado e ao Professor Doutor Mário de Araújo, quem primeiro me despertou o interesse na área dos têxteis e por este mestrado em particular. Gostaria também de agradecer ao Sr. Avelino, técnico de estampanaria, que se mostrou sempre prestável á realização das amostras de tecido com pigmento cromotrópico necessárias para os ensaios térmicos do protótipo 1.

Não posso deixar de expressar também a minha gratidão pela colaboração prestada, no departamento de Física da Universidade do Minho pelo Dr. Mário Rui Pereira e também à Doutora Elisabete Oliveira, directora deste departamento, que autorizou a utilização dos espectrofotómetros existentes no laboratório de Física Óptica, em Braga.

A todas as empresas, seus representantes e colaboradores, que me forneceram os catálogos e informações técnicas pedidos, especialmente durante as feiras internacionais “Texitech 96” em Paris e “Techtextil 97” em Frankfurt, os quais me dispenso de enumerar por terem sido tantos, e também a todos os que, de uma forma ou de outra, permitiram que este trabalho pudesse ser concluído;

Os meus sinceros agradecimentos.

# S U M Á R I O

O curso de Mestrado em Design e Marketing tem a particularidade e virtude de reunir três áreas complementares: a Engenharia Têxtil, o Design e o Marketing que cada vez mais são indissociáveis em produtos que se querem de qualidade. Em Portugal, os têxteis técnicos para construção ainda não têm conhecido uma implantação ao nível de outros países, como os Estados Unidos, o Japão ou a Alemanha, como se pode concluir da recolha bibliográfica realizada e dos exemplos apresentados ao longo deste trabalho, onde se faz uma análise histórica sobre a evolução da arquitectura têxtil, se apresentam projectos recentes significativos, não só em termos de escala, como em termos conceptuais. O facto de muitas construções têxteis terem uma ocupação efémera não significa que nelas possa ser descurado o design. Na Expo 92 de Sevilha, uma série de coberturas têxteis relevantes mostrou as potencialidades deste tipo de estruturas e veio provar que as telas arquitectónicas não só são adequadas a construções de carácter secundário, mas podem constituir soluções efectivas especialmente inovadoras. As questões do comportamento térmico das coberturas têxteis constituíram o principal factor de estudo neste trabalho, por entendermos serem as preocupações de rentabilização energética, (no aproveitamento das energias alternativas, na eficácia estrutural e no conforto em geral) os elementos mais importantes na classificação de um edifício como "inteligente".

Como trabalhos práticos, desenvolveram-se duas hipóteses de utilização de têxteis em arquitectura, nomeadamente uma tela reactiva com pigmentos cromotrópicos e uma biblioteca móvel, que se pretendem exemplos de soluções "inteligentes".

O primeiro trabalho prático consiste numa tela "reactiva". Uma das desvantagens apontadas às construções têxteis diz respeito ao seu deficiente comportamento térmico, devido à sua pouca inércia térmica, não muito adequadas a climas como o de Portugal, em que a amplitude térmica faz oscilar a temperatura ambiente exterior entre valores mais baixos e mais elevados que as temperaturas de conforto interiores ideais. Esta solução solar activa tem a vantagem de ser autónoma e não apresentar nenhum acréscimo de peso, já que as construções têxteis, pela forma "livre" e sistema construtivo ligeiro não comportariam soluções complexas, tais como sensores térmicos ligados a sistemas mecânicos. As fibras e tratamentos químicos que hoje se fazem aos têxteis, permitem que pela sua durabilidade, resistência e outras propriedades possam ser usadas na concepção de produtos e soluções eficientes, e por isso ditas "inteligentes", numa forma passiva, quando se pretendem grandes vãos livres ou características de iluminação interior uniforme. O trabalho prático da segunda proposta, é uma construção móvel, com cobertura têxtil, que no caso é uma biblioteca, realizada com base num atrelado semibrecoque. Se em itinerância tem a dimensão dum contentor, quando desdobrado apresenta uma área útil coberta cerca de cinco vezes maior. Foi concebida para países quentes e húmidos, com temperaturas sempre superiores à temperatura de conforto ideal, sem isolamento térmico e características de ventilação e iluminação naturais.

# Í N D I C E G E R A L

|                     |   |           |
|---------------------|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO I</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>                               | <b>1</b>  |
| <b>1.1</b>          | <b>PRÓLOGO.</b>                                 | <b>1</b>  |
| <b>1.2</b>          | <b>OBJECTIVOS.</b>                              | <b>3</b>  |
| <b>CAPÍTULO II</b>  | <b>ENQUADRAMENTO HISTÓRICO.</b>                 | <b>5</b>  |
| <b>2.1</b>          | <b>AS CONSTRUÇÕES TÊXTEIS - EVOLUÇÃO.</b>       | <b>6</b>  |
| <b>2.2</b>          | <b>ARQUITECTURA TÊXTIL TRADICIONAL.</b>         | <b>13</b> |
| <b>CAPÍTULO III</b> | <b>APLICAÇÕES DOS TÊXTEIS EM ARQUITECTURA</b>   | <b>18</b> |
| <b>3.1</b>          | <b>PORQUÊ UMA COBERTURA TÊXTIL?</b>             | <b>19</b> |
| <b>3.2</b>          | <b>PRINCIPAIS UTILIZAÇÕES.</b>                  | <b>22</b> |
|                     | 3.2.1. HABITAÇÕES E ABRIGOS DE EMERGÊNCIA.      | <b>22</b> |
|                     | 3.2.2. AEROPORTOS E ESTAÇÕES.                   | <b>24</b> |
|                     | 3.2.3. PAVILHÕES DESPORTIVOS.                   | <b>27</b> |
|                     | 3.2.4. ESPECTÁCULOS.                            | <b>29</b> |
|                     | 3.2.5. EXPOSIÇÕES, FEIRAS E CONGRESSOS.         | <b>32</b> |
|                     | 3.2.6. CENTROS COMERCIAIS E LOJAS.              | <b>34</b> |
|                     | 3.2.7. ESTUFAS E PAVILHÕES DE JARDIM.           | <b>35</b> |
|                     | 3.2.8. ESCRITÓRIOS, LABORATÓRIOS E FÁBRICAS.    | <b>36</b> |
|                     | 3.2.9. ARMAZÉNS E HÂNGARES.                     | <b>38</b> |
|                     | 3.2.10. SIMBÓLICAS E RELIGIOSAS.                | <b>39</b> |
|                     | 3.2.11. PROTÓTIPOS E UTOPIAS.                   | <b>40</b> |
|                     | 3.2.12. TECNOLOGIA ESPACIAL.                    | <b>42</b> |
| <b>CAPÍTULO IV</b>  | <b>A CONCEPÇÃO</b>                              | <b>43</b> |
| <b>4.1</b>          | <b>A CONCEPÇÃO DAS COBERTURAS TÊXTEIS.</b>      | <b>47</b> |
|                     | 4.1.1. PLANAS E SIMPLEMENTE SUSPENSAS.          | <b>53</b> |
|                     | 4.1.2. PNEUMÁTICAS E INSUFLÁVEIS.               | <b>55</b> |
|                     | 4.1.3. SUSPENSAS.                               | <b>58</b> |
|                     | 3.1.4. "TENSEGRITY" E CASCAS RETICULADAS.       | <b>62</b> |
| <b>4.2</b>          | <b>ANÁLISE MORFOLÓGICA.</b>                     | <b>65</b> |
|                     | 4.1.1. FORMAS PLANAS.                           | <b>68</b> |
|                     | 4.2.1. PARABOLOIDE HIPERBÓLICO.                 | <b>69</b> |
|                     | 4.2.2. FORMAS DE DEFORMAÇÃO PONTUAL.            | <b>70</b> |
|                     | 4.2.3. FORMAS TUBULARES.                        | <b>71</b> |
|                     | 4.2.4. FORMAS DE DEFORMAÇÃO COM ARESTAS.        | <b>72</b> |
|                     | 4.2.5. FORMAS DE DEFORMAÇÃO UNIFORME.           | <b>73</b> |
| <b>4.3</b>          | <b>METODOLOGIAS DE PROJECTO.</b>                | <b>74</b> |
|                     | 4.3.1. MAQUETAS.                                | <b>75</b> |
|                     | 4.3.2. DESENHO ASSISTIDO POR COMPUTADOR (CAD).  | <b>76</b> |
|                     | 4.3.3. MÉTODO COMBINADO.                        | <b>79</b> |
| <b>4.4</b>          | <b>CUIDADOS A TER NA CONCEPÇÃO.</b>             | <b>80</b> |
|                     | 4.4.1. O PRÉ-ESFORÇO.                           | <b>81</b> |
|                     | 4.4.2. DECIDIR AS DIRECÇÕES DA TEIA E DA TRAMA. | <b>82</b> |
|                     | 4.4.3. LIGAÇÃO DE JUNTAS.                       | <b>83</b> |
| <b>4.5</b>          | <b>MANUTENÇÃO.</b>                              | <b>85</b> |

|               |  |            |
|---------------|--|------------|
| CAPÍTULO V    | <b>MATERIAIS.</b>  | <b>88</b>  |
| <b>5.1</b>    | <b>A EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS.</b>                           | <b>89</b>  |
| <b>5.2</b>    | <b>AS FIBRAS NATURAIS E AS PELES.</b>                      | <b>91</b>  |
| <b>5.3</b>    | <b>AS FIBRAS NÃO NATURAIS.</b>                             | <b>92</b>  |
| <b>5.4</b>    | <b>AS TELAS.</b>   | <b>93</b>  |
|               | 5.4.1. AS FIBRAS.  | 94         |
|               | 5.4.2. OS TECIDOS.   | 96         |
|               | 5.4.3. OS REVÊSTIMENTOS.                                   | 98         |
|               | 5.4.4. AS TELAS ARQUITECTÓNICAS (MEMBRANAS).               | 100        |
|               | 5.4.5. OS PAINÉIS "SANDWICH".                              | 106        |
| <b>5.5</b>    | <b>PROPRIEDADES DAS TELAS ARQUITECTÓNICAS.</b>             | <b>107</b> |
|               | 5.5.1. PROPRIEDADES ESTRUTURAIS.                           | 108        |
|               | 5.5.2. PROPRIEDADES NÃO ESTRUTURAIS.                       | 119        |
| CAPÍTULO VI   | <b>PROPOSTA 1 - SISTEMAS INTELIGENTES.</b>                 | <b>122</b> |
| <b>6.1</b>    | <b>A "INTELIGÊNCIA" DAS CONSTRUÇÕES.</b>                   | <b>123</b> |
| <b>6.2</b>    | <b>CONFORTO TÉRMICO.</b>                                   | <b>125</b> |
| <b>6.3</b>    | <b>ARQUITECTURA SOLAR - QUAL O PAPEL DOS TÊXTEIS?</b>      | <b>130</b> |
| <b>6.4</b>    | <b>EXEMPLOS.</b>   | <b>141</b> |
|               | 6.4.1. PAINÉIS TÉRMICOS COM P.C.M.s.                       | 141        |
|               | 6.4.2. SISTEMA PNEUMÁTICO DE DAVID GEIGER.                 | 145        |
|               | 6.4.3. GUARDA-SÓIS CONTROLÁVEIS DE BODO RASCH.             | 146        |
| <b>6.5</b>    | <b>PROPOSTA 1. Uma tela têxtil reactiva.</b>               | <b>147</b> |
|               | 6.5.1. OS PIGMENTOS CROMOTRÓPICOS.                         | 149        |
|               | 6.5.2. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO.                 | 152        |
|               | 6.5.3. ANÁLISE DE CUSTOS.                                  | 162        |
| CAPÍTULO VII  | <b>PROPOSTA 2 - ARQUITECTURA MÓVEL.</b>                    | <b>163</b> |
| <b>7.1</b>    | <b>A MOBILIDADE.</b>                                       | <b>164</b> |
|               | 7.1.1. CONTENTORES.  | 169        |
|               | 7.1.2. MÓDULOS.  | 170        |
|               | 7.1.3. DESMONTÁVEIS.                                       | 171        |
|               | 7.1.4. DESDOBRÁVEIS.                                       | 172        |
|               | 7.1.5. DEFORMÁVEIS.  | 173        |
| <b>7.2</b>    | <b>PROPOSTA 2. Uma Biblioteca de "Primeiros Socorros".</b> | <b>174</b> |
| CAPÍTULO VIII | <b>PERSPECTIVAS DE MERCADO.</b>                            | <b>181</b> |
| <b>8.1</b>    | <b>PREÇOS.</b>   | <b>182</b> |
| <b>8.2</b>    | <b>O FUTURO.</b>   | <b>185</b> |
| CAPÍTULO IX   | <b>CONCLUSÕES.</b>   | <b>186</b> |
| <b>9.1</b>    | <b>SÍNTESE.</b>  | <b>186</b> |
| <b>9.2</b>    | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.</b>                               | <b>187</b> |
|               | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                          | <b>188</b> |
|               | <b>BIBLIOGRAFIA.</b>                                       | <b>181</b> |
| VOLUME        | <b>ANEXOS</b>  | <b>195</b> |

# Í N D I C E D E F I G U R A S

|                     |  |           |
|---------------------|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO I</b>   |  |           |
|                     | <b>1.1. Diagrama do método de trabalho seguido.</b>              | <b>4</b>  |
| <b>CAPÍTULO II</b>  |  |           |
|                     | <b>2.1. Abrigos no Paleolítico Superior.</b>                     | <b>7</b>  |
|                     | <b>2.2. Anfiteatro de Pompeia.</b>                               | <b>7</b>  |
|                     | <b>2.3. O "Velarium" Romano.</b>                                 | <b>8</b>  |
|                     | <b>2.4. "Commedia Dell'Arte".</b>                                | <b>8</b>  |
|                     | <b>2.5. Cobertura em Calais no século XVI.</b>                   | <b>9</b>  |
|                     | <b>2.6. Gravura de 1848.</b>                                     | <b>9</b>  |
|                     | <b>2.7. "Napoleon Rancy Circus".</b>                             | <b>10</b> |
|                     | <b>2.8. "Cirque du Soleil".</b>                                  | <b>10</b> |
|                     | <b>2.9. Ponte suspensa, na China.</b>                            | <b>10</b> |
|                     | <b>2.10. O "Envalet".</b>  | <b>11</b> |
|                     | <b>2.11. "Mathew Nowicki State Fair Arena".</b>                  | <b>12</b> |
|                     | <b>2.12. O Tipi.</b>   | <b>14</b> |
|                     | <b>2.13. O tipi - processo de montagem.</b>                      | <b>14</b> |
|                     | <b>2.14. A Tenda Negra.</b>                                      | <b>15</b> |
|                     | <b>2.15. O Yurt.</b>   | <b>16</b> |
|                     | <b>2.16. Tenda dos Tuaregues.</b>                                | <b>17</b> |
|                     | <b>2.17. O tupiq.</b>  | <b>17</b> |
| <b>CAPÍTULO III</b> |  |           |
|                     | <b>3.1. O Arco de "La Défense".</b>                              | <b>19</b> |
|                     | <b>3.2. Praça de Touros em Pontevedra.</b>                       | <b>19</b> |
|                     | <b>3.3. Guarda-Sóis para os "Pink Floyd".</b>                    | <b>20</b> |
|                     | <b>3.4. Bilheteira do Palácio de Buckingham.</b>                 | <b>20</b> |
|                     | <b>3.5. Guarda-Sóis de Frei Otto em Colônia.</b>                 | <b>20</b> |
|                     | <b>3.6. Alpendre têxtil em Londres.</b>                          | <b>21</b> |
|                     | <b>3.7. Castelo de Palma de Maiorca.</b>                         | <b>21</b> |
|                     | <b>3.8. Tendas de campismo.</b>                                  | <b>22</b> |
|                     | <b>3.9. Abrigos de emergência em Kobe.</b>                       | <b>22</b> |
|                     | <b>3.10. Casa "Lyon-Vaise".</b>                                  | <b>23</b> |
|                     | <b>3.11. Casa unifamiliar na Austrália.</b>                      | <b>23</b> |
|                     | <b>3.12. Estação "Nantes Sud".</b>                               | <b>24</b> |
|                     | <b>3.13. Estação de "Le Mans".</b>                               | <b>24</b> |
|                     | <b>3.14. Aeroporto de Denver.</b>                                | <b>24</b> |
|                     | <b>3.15. Vista exterior do Aeroporto de Djedda.</b>              | <b>25</b> |
|                     | <b>3.16. Vista interior no terminal de autocarros.</b>           | <b>25</b> |
|                     | <b>3.17. Área de passageiros.</b>                                | <b>25</b> |
|                     | <b>3.18. Anel metálico.</b>                                      | <b>26</b> |
|                     | <b>3.19. Cobertura no solo.</b>                                  | <b>26</b> |
|                     | <b>3.20. União da tela ao anel superior.</b>                     | <b>26</b> |
|                     | <b>3.21. Perspectiva esquemática da montagem.</b>                | <b>26</b> |
|                     | <b>3.22. Estádio Olímpico de Munique.</b>                        | <b>27</b> |
|                     | <b>3.23. Estádio Olímpico de Roma.</b>                           | <b>27</b> |
|                     | <b>3.24. O "Aquatic Center" do "Lindsey Park" de Calgary.</b>    | <b>28</b> |
|                     | <b>3.25. Palco têxtil para os Pink Floyd.</b>                    | <b>29</b> |
|                     | <b>3.26. O Pavilhão Carlos Moseley.</b>                          | <b>29</b> |
|                     | <b>3.27. O "Cynthia Woods Mitchell Center".</b>                  | <b>30</b> |
|                     | <b>3.28. O "Zénith" de Paris.</b>                                | <b>30</b> |
|                     | <b>3.29. Cobertura conversível de um Teatro.</b>                 | <b>30</b> |
|                     | <b>3.30. O Teatro Romano de Nimes.</b>                           | <b>31</b> |
|                     | <b>3.31. Cobertura do Teatro Romano de Nimes.</b>                | <b>31</b> |
|                     | <b>3.32. Pavilhão da Holanda - interior.</b>                     | <b>32</b> |
|                     | <b>3.33. Pavilhão da Holanda - exterior.</b>                     | <b>32</b> |
|                     | <b>3.34. O "Gran Bigo" de Génova.</b>                            | <b>33</b> |
|                     | <b>3.35. Entrada do "Museum of Moving Image".</b>                | <b>33</b> |
|                     | <b>3.36. Axonometria do "Museum of Moving Image".</b>            | <b>33</b> |
|                     | <b>3.37. "Department Store" na Califórnia.</b>                   | <b>34</b> |
|                     | <b>3.38. Centro Comercial no Japão.</b>                          | <b>34</b> |
|                     | <b>3.39. Axonometria explodida de Centro Comercial no Japão.</b> | <b>34</b> |
|                     | <b>3.40. Pavilhão Africano do "Ashboro Zoo".</b>                 | <b>35</b> |
|                     | <b>3.41. Pavilhão dos Leões no Zoo de Munique.</b>               | <b>35</b> |
|                     | <b>3.42. Fábrica Wilkhahn.</b>                                   | <b>36</b> |
|                     | <b>3.43. Fábrica em Lessay.</b>                                  | <b>36</b> |
|                     | <b>3.44. "Schlumberger Cambridge Research Centre.</b>            | <b>36</b> |
|                     | <b>3.45. Centro de Investigação Química em Venafro.</b>          | <b>37</b> |

## CAPÍTULO IV

|   |    |
|---|----|
| 3.46. Hangar para dirigíveis.   | 38 |
| 3.47. Hangar da USAAF.  | 38 |
| 3.48. Hangar em Munique - Rlem.   | 38 |
| 3.49. Cobertura do BOP.   | 38 |
| 3.50. As "Nuvens" do Arco de "La Défense".  | 39 |
| 3.51. "Mémorial de La Déportation.  | 39 |
| 3.52. "Suitaloon".  | 40 |
| 3.53. "Children-Clouds".  | 41 |
| 3.54. "Inflato Cookbook".   | 41 |
| 3.55. "Aerial Paris" por Lebbeus Woods.   | 41 |
| 3.56. Estação Planetária da NASA.   | 42 |
| 4.1. Gráfico de variação do peso próprio das construções tecnologicamente mais representativas. | 44 |
| 4.2. Junco Chinês.  | 47 |
| 4.3. Laboratório de reconstrução urbana.  | 49 |
| 4.4. Fachada com estores têxteis exteriores.  | 53 |
| 4.5. Pavilhões de exposição.  | 53 |
| 4.6. Tela simplesmente suspensa.  | 54 |
| 4.7. Insuflável.  | 56 |
| 4.8. Interior de piscina com cobertura insuflável.  | 56 |
| 4.9. Pavilhão "Airtecture".   | 57 |
| 4.10. Pavilhão da Fuji.   | 57 |
| 4.11. Fases do processo de concepção de uma estrutura têxtil suspensa.                          | 59 |
| 4.12. Pavilhão da Alemanha.   | 60 |
| 4.13. Pavilhão de música em Kassel.   | 61 |
| 4.14. "Giorgia Dome".   | 62 |
| 4.15. "Tensegrity Dome".  | 62 |
| 4.16. Tensegrity de Geiger.   | 62 |
| 4.17. Cúpula geodésica.   | 63 |
| 4.18. Pavilhão multiuso em Manheim.   | 64 |
| 4.19. Princípio de equilíbrio.  | 65 |
| 4.20. Superfície anticlástica.  | 65 |
| 4.21. Arco sinciástico / anticlástico.  | 66 |
| 4.22. Superfície sinciástica.   | 66 |
| 4.23. Cobertura com forma plana.  | 68 |
| 4.24. Parabolóide hiperbólico.  | 69 |
| 4.25. Vela.   | 69 |
| 4.26. Sela.   | 69 |
| 4.27. "Onda estrelar" de Frei Otto.   | 69 |
| 4.28. Palmeira.   | 70 |
| 4.29. Bossas.   | 70 |
| 4.30. Forma de cone.  | 70 |
| 4.31. Cobertura de "La Verne".  | 70 |
| 4.32. Cone truncado.  | 71 |
| 4.33. Deformação com arco.  | 72 |
| 4.34. Estruturas de arcos pneumáticos com tela suspensa.  | 72 |
| 4.35. Formas livres.  | 73 |
| 4.36. Pressão negativa.   | 73 |
| 4.37. Modelo "bola de sabão".   | 75 |
| 4.38. Maquete em tecido.  | 75 |
| 4.39. Cad - modelo "linear".  | 76 |
| 4.40. Cad - modelo "shade".   | 76 |
| 4.41. Cad - modelo "Rendering".   | 77 |
| 4.42. Desenho Cad dos padrões de corte das telas.   | 77 |
| 4.43. MCMlite.  | 78 |
| 4.44. Resultado do pré-esforço.   | 81 |
| 4.45. Aplicação do pré-esforço.   | 81 |
| 4.46. Padrão de tiras.  | 82 |
| 4.47. Sobreposição de telas.  | 83 |
| 4.48. Colagem de telas.   | 83 |
| 4.49. Laçadas.  | 84 |
| 4.50. Ilhós.  | 84 |
| 4.51. Varões (perspectiva).   | 84 |
| 4.52. Varões (corte).   | 84 |
| 4.53. Perfil especial.  | 84 |
| 4.54. Ligações perimetrais.   | 84 |
| 4.55. Limpeza.  | 87 |

## CAPÍTULO V

|   |     |
|---|-----|
| 5.1. Classificação das fibras quanto à sua origem.  | 94  |
| 5.2. Vantagens e desvantagens de diferentes estruturas de tecido utilizadas em telas arquitectónicas. | 97  |
| 5.3. Tecido normal (sem pré-esforço).   | 97  |
| 5.4. Tecido com aplicação de pré-esforço.   | 97  |
| 5.5. Almofadas costuradas.  | 106 |
| 5.6. Ligação com tiras.   | 106 |
| 5.7. Ligação com perfis.  | 106 |
| 5.8. Estruturas metálicas.  | 106 |
| 5.9. Estruturas de madeira.   | 106 |
| 5.10. Ensaio de rasgo.  | 108 |
| 5.11. Testes de resistência à tracção.  | 110 |
| 5.12. Curvas de carga / extensão para tela de Fibra de Vidro / PTFE.                                  | 112 |
| 5.13. Curvas de carga / extensão para tela de Poliéster / PVC.  | 112 |
| 5.14. Teste de resistência à dobra.   | 116 |
| 5.15. Cobertura do Musical "Gaudi".   | 120 |

## CAPÍTULO VI

|   |     |
|---|-----|
| 6.1. Teia de aranha.  | 123 |
| 6.2. Olho de aranha visto em microscópio.                                       | 123 |
| 6.3. Cálculo de MRT.  | 128 |
| 6.4. Classificação, quanto ao comportamento térmico, das telas arquitectónicas. | 131 |
| 6.5. "Moby Dick".   | 133 |
| 6.6. Painéis colectores têxteis.  | 133 |
| 6.7. Estores têxteis exteriores.  | 135 |
| 6.8. Armazenagem de calor nas paredes interiores.                               | 136 |
| 6.9. Isolamento transparente Kapipane.  | 137 |
| 6.10. Parede de Trombe.   | 139 |
| 6.11. Painel térmico com Parafinas.   | 142 |
| 6.12. Efeito indirecto.   | 143 |
| 6.13. Efeito directo.   | 144 |
| 6.14. Sistema pneumático de David Geiger.                                       | 145 |
| 6.15. Pátio descoberto.   | 146 |
| 6.16. Pátio coberto.  | 146 |
| 6.17. Guarda-Sóis em abertura.  | 146 |
| 6.18. Pormenor.   | 146 |
| 6.19. Estore exterior de cor branca.  | 148 |
| 6.20. Estore interior de cor escura.  | 148 |
| 6.21. Processo de coloração / descoloração.                                     | 149 |
| 6.22. Curvas de coloração / descoloração.                                       | 150 |
| 6.23. Gráfico de % de reflectância em função do comprimento de onda (nm).       | 153 |
| 6.24. Aparelho PERMETEST modificado.  | 156 |
| 6.25. Gráfico de medições efectuadas com aparelho PERMETEST modificado.         | 156 |

## CAPÍTULO VII

|  |     |
|--|-----|
| 7.1. Transporte de Yurts no séc. XIII.                       | 164 |
| 7.2. Habitações flutuantes em Srinagar.                      | 165 |
| 7.3. Bataks da Ilha de Sumatra.                              | 166 |
| 7.4. Vista frontal das bilheteiras do Palácio de Buckingham. | 168 |
| 7.5. Transporte de cobertura por helicóptero.                | 169 |
| 7.6. "Yacht House".  | 171 |
| 7.7. Tenda desdobrável.                                      | 172 |
| 7.8. Tendões de campismo.                                    | 173 |
| 7.9. Semireboque rebaixado.                                  | 175 |
| 7.10. Contentor base em transporte.                          | 175 |
| 7.11. Plantas, Cortes e Alçados do Contentor.                | 175 |
| 7.12. Contentor.   | 176 |
| 7.13. Abertura do tecto.                                     | 176 |
| 7.14. Deslocação lateral.                                    | 176 |
| 7.15. Posição final.   | 176 |
| 7.16. Perspectiva exterior.                                  | 177 |
| 7.17. Plantas, Corte e Alçado posterior da Biblioteca.       | 177 |
| 7.18. Perspectiva desde a entrada.                           | 178 |
| 7.19. Perspectiva interior 1.                                | 178 |
| 7.20. Perspectiva interior 2.                                | 179 |
| 7.21. Axonómica explodida.                                   | 179 |
| 7.22. Alçados.   | 179 |
| 7.23. Movimentos de abertura.                                | 180 |
| 7.24. Cadeira de realizador.                                 | 180 |

## CAPÍTULO VIII

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 8.1. Variação custo / vão. | 182 |
|----------------------------|-----|

# Í N D I C E D E T A B E L A S

## CAPÍTULO V

- 5.1. Valores típicos de resistência à rotura em esforço uniaxial para telas arquitectónicas. **111**
- 5.2. Comportamento ao fogo dos diferentes tipos de telas arquitectónicas. **117**
- 5.3. Propriedades não estruturais com influência no conforto térmico das telas. **119**
- 5.4. Transmissão térmica para telas arquitectónicas compostas, com caixa de ar. **120**
- 5.5. Valores de absorção acústica de telas arquitectónicas específicas. **121**

## CAPÍTULO VI

- 6.1. Temperaturas ambiente ideais para cada tipo de ocupação. **129**
- 6.2. Influência da cor e posição dos estores têxteis em fachadas tipo muro cortina. **147**
- 6.3. Receita base. **151**
- 6.4. Medições com espectrofotómetro da reflectância na área de espectro visível. **152**
- 6.5. Medições com espectrofotómetro da reflectância em espectro visível e invisível. **154**
- 6.6. Análise de custos para estamperia com pigmentos cromotrópicos. **162**

# C A P Í T U L O I - I N T R O D U Ç Ã O

1.1

PRÓLOGO.

Desde o Paleolítico que o homem utiliza as peles dos animais nos seus abrigos e posteriormente, em substituição destas, os tecidos. A ligeireza e flexibilidade destes materiais de construção permitiam às comunidades nómadas transportar as suas habitações para onde quer que fossem, havendo ainda hoje em dia alguns povos, como certas tribos do Norte de África (os Beduínos), da Ásia (nomeadamente na Mongólia) e mesmo da Europa (os Ciganos), cujo nomadismo ainda os faz utilizar tendas. Os têxteis, enquanto material de construção, tinham sido, até há bem poucos anos, unicamente utilizados em estruturas efémeras, pela pouca resistência e durabilidade das fibras naturais e raramente em construções de carácter perene e grande vão livre.

O ritmo em que a tecnologia e a demografia crescem, torna rapidamente obsoletos os edifícios, pelo que a capacidade de construção, com um custo inicial baixo e com flexibilidade de utilização, se revela cada dia mais importante. Essas são algumas das vantagens atribuídas às estruturas têxteis, bem como o seu pouco peso relativo. Com a introdução das fibras acrílicas e o desenvolvimento de telas arquitectónicas, enquanto materiais compósitos com utilização destas, verifica-se um incremento significativo da resistência e outras propriedades dos têxteis aplicados em construção. Uma tela com poucos milímetros é hoje um material auto-portante, um filtro para a luz (sendo translúcido e iluminando naturalmente, mas no entanto protegendo da insolação excessiva e dos raios ultravioleta e infravermelhos), além de constituir um bom isolamento térmico e acústico, nomeadamente através da sobreposição de duas ou mais telas, separadas entre si por material isolante ou por uma caixa de ar. Verifica-se que o peso por metro quadrado das construções tem vindo a diminuir numa proporção crescente, [1] não só devido a uma evolução tecnológica que o permite (temos valores de isolamento equivalentes e estruturas mais resistentes, com espessuras de parede, laje, pilar e viga muito menores), mas também derivado da necessidade de economizar meios e recursos, o que tem impulsionado o desenvolvimento duma estética minimalista. Esta corrente, que pode ser chamada de "Light-tech", [2] aposta essencialmente na introdução de estruturas mais eficientes pela redução do peso próprio e um dos seus materiais por excelência é, e será provavelmente cada vez mais, a tela arquitectónica. Especialmente indicadas para cobrir grandes vãos, como recintos desportivos, de espectáculos, ou mesmo aeroportos, são no entanto também aplicáveis a construções de menor dimensão, especialmente quando se pretendem certas características de luminosidade, ligeireza material ou visual e máxima flexibilidade estrutural e de uso.

Existe hoje uma grande expectativa em torno dos materiais "inteligentes", para substituir os materiais tradicionais estáticos e pesados. Assiste-se a um crescente interesse nos estudos referentes aos compósitos flexíveis, auto-ajustáveis, auto-laváveis, como as telas de Fibra de Vidro / PTFE e inclusive materiais capazes de variarem a sua forma, como as S.M.A.s<sup>1</sup>, ou o grau de translucidez em função da temperatura como o gel Nube<sup>2</sup> ou os vidros fotossensíveis, regulando dum forma activa o comportamento térmico dos edifícios, face à incidência dos raios solares, tendo comportamentos diferentes consoante estejam em causa questões de iluminação ou aquecimento. Podemos actualmente imaginar edifícios ou partes destes que se auto-construam ou que, através de sistemas já estudados, nomeadamente em tecnologias espaciais, se comportem como estruturas vivas, permitindo a adaptabilidade a condições atmosféricas diversas, realizando a sua própria manutenção ou que eventualmente se auto-reparem.

Como exemplos de aplicações passivas dos têxteis em construção, poderíamos referir os vulgares "guarda-sóis" ou os estores. No que se refere a estes últimos, temos actualmente alguns materiais que permitem certas características de conforto ambiente, nomeadamente pela filtragem dos excessos de luz e radiações solares e pelo controle da temperatura e luminosidade. Estas características dos materiais têxteis são especialmente indicadas em ambientes de trabalho, em escritórios com iluminação natural, ou em edifícios com muro / cortina, existindo actualmente tecidos que utilizados em estores, permitem eliminar quase totalmente os reflexos provocados nos monitores de computador.<sup>3</sup>

Como exemplos de aplicações inteligentes de têxteis do tipo activas, podemos referir o sistema de cobertura proposto por David Geiger. [3] (anexo A1) Composto-se de três telas que, conforme as solicitações e através da alteração da posição da tela intermédia com um sistema pneumático, acumulam calor resultante de energia solar e libertam-no gradualmente para o aquecimento durante o Inverno, ou reflectem os raios solares para arrefecimento natural no Verão, permitindo a manutenção da temperatura interior mais equilibrada, reduzindo ao mínimo as amplitudes térmicas diárias e anuais. Existe mesmo uma hipótese sugerida pelo mesmo autor de, através dum processo químico à base de gel de sílica, desumidificar o ambiente e produzir assim um arrefecimento artificial durante o Verão. [3] Também o arquitecto Bodo Rash propôs, para cobrir os pátios de uma mesquita em Meca, na Arábia Saudita, um sistema activo simples. Desenvolve-se como um conjunto de guarda-sóis em grande escala, invertidos, que se abrem mecanicamente quando activados por células fotossensíveis ligadas a um computador. [4] É no entanto um sistema limitado a climas especialmente quentes e secos, a cobrir recintos exteriores, tendo em vista quase exclusivamente a protecção em relação à exposição directa aos raios solares, permitindo uma ventilação natural.

---

<sup>1</sup> S.M.A.s "Shape Memory Alloys" - ligas metálicas capazes de mudar de forma com o calor, ou voltar a uma forma pré-determinada, nomeadamente ligas de níquel-titânio [5].

<sup>2</sup> Gel com qualidades cromotrópicas referido em [6].

<sup>3</sup> Nomeadamente o "Store Vision – Réfectiv", um estore em tecido de Poliéster com face exterior em côr cinza metalizado e interior em côr bronze.

A escolha do tema "aplicações *inteligentes* dos têxteis em arquitectura", partiu da intenção inicial de explorar as potencialidades de utilização dos têxteis em edifícios inteligentes. A definição normalmente associada ao conceito de "edifício inteligente", prende-se a factores que, numa visão mais desatenta, seriam alheios à utilização de materiais têxteis. Ao destacar a palavra "inteligentes", pretende-se chamar a atenção para o facto das leituras que se podem fazer sobre esta definição poderem ser demasiado limitativas ou, pelo contrário, excessivamente abrangentes (ao comparar com a inteligência humana). "(...) A sua inteligência é, em comparação com o ser humano, menos que primitiva". [5] A eficiência energética é o factor que mais importante na classificação de um edifício como inteligente, pelo que foi objectivo deste trabalho apresentar algumas considerações sobre isto, especialmente incidindo sobre construções têxteis. São também apresentados exemplos de aplicação de têxteis em construções não têxteis, mas considerámos mais importante a avaliação das potencialidades dos têxteis enquanto material estrutural. Os trabalhos práticos que desenvolvemos, um sistema de protecção solar passivo com utilização de pigmentos cromotrópicos e uma biblioteca móvel, demonstram algumas potencialidades da utilização estrutural de têxteis em arquitectura.

O primeiro trabalho prático pretende demonstrar que, apesar de em certos tipos de clima as coberturas têxteis apresentarem limitações de uso por questões térmicas, a resolução deste problema pode ser possível e torná-las assim vantajosas. Neste sentido, apresenta-se uma tela estampada com pigmentos cromotrópicos, "reactiva" em função da sua reflectância solar, face às alterações das condições de temperatura devidas à variação das condições de insolação. Avalia-se o potencial que esta aplicação pode ter em termos de conforto térmico, já que se realiza o estudo comparado de tela com e sem pigmentos cromotrópicos. Verificou-se a capacidade desta passar de preto a branco, questionando: Será a tela reactiva capaz de conduzir a diferenças relevantes em termos de ganhos térmicos, face à acção dos raios solares em dias quentes e frios, quando a temperatura interior oscila entre os limites do conforto térmico pretendidos?

O segundo trabalho prático diz respeito a uma área onde as potencialidades de utilização para as telas arquitectónicas são grandes, que é a das construções móveis, apresentando-se aqui uma biblioteca itinerante cujo conceito base poderia também servir para a realização de outro tipo de função, nomeadamente recintos para exposições, restaurante ou pavilhão multiuso. Consiste basicamente num contentor associado a um semi-reboque normalizado, que se abre, obtendo-se uma área útil final cerca de quatro vezes superior à área de piso do contentor fechado. O espaço interior assim conseguido desenvolve-se em dois pisos, com uma cobertura em tela translúcida, cujas propriedades permitem uma iluminação natural e uma protecção ao sol favorável à leitura, ao ensino ou a situações de exposição.

# Aplicações "inteligentes" dos Têxteis em Arquitectura

## Metodologia de Trabalho

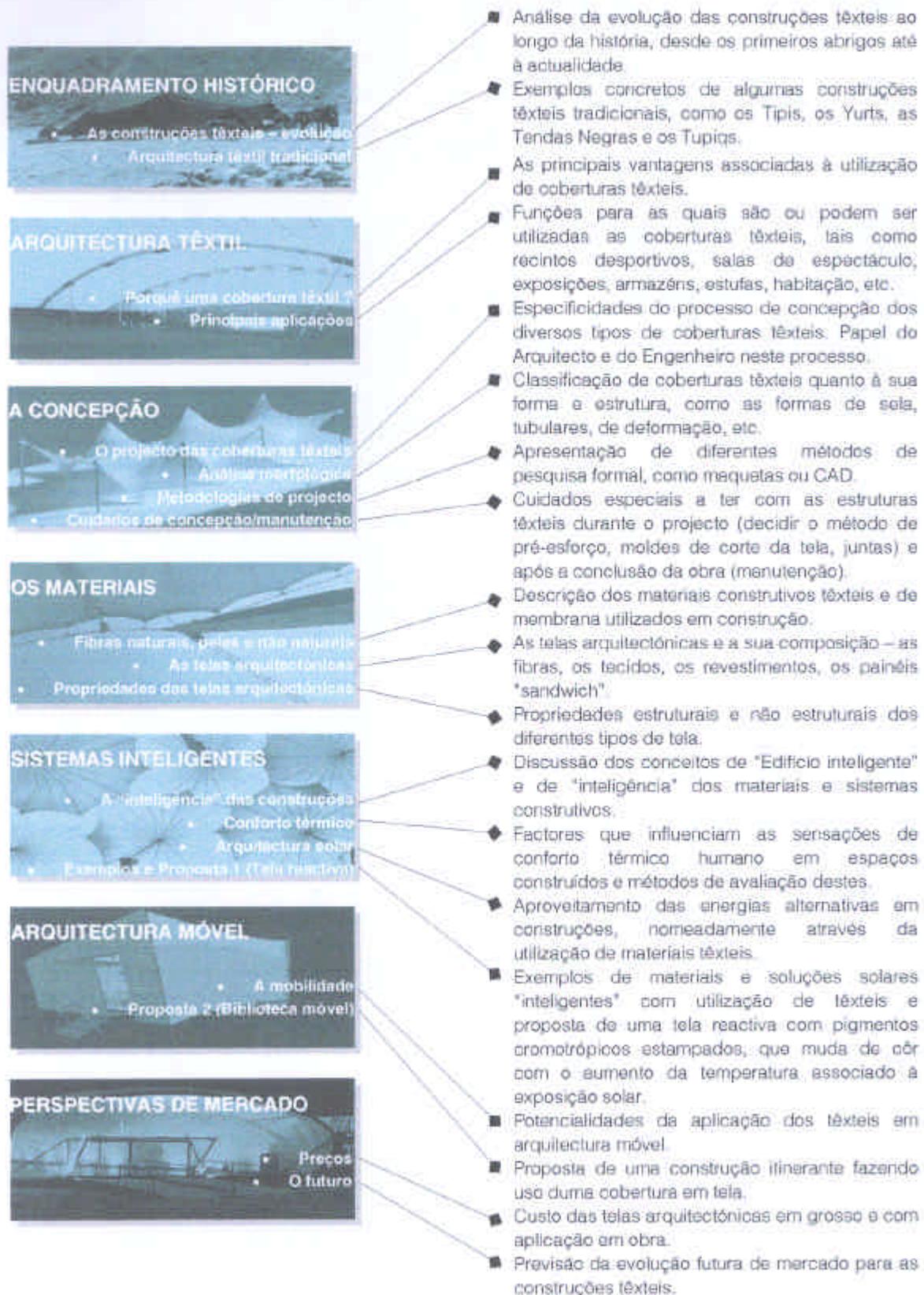


Fig. 1.1. Diagrama do método de trabalho seguido

## **CAPÍTULO II – ENQUADRAMENTO HISTÓRICO**

Neste capítulo faz-se uma análise da evolução das construções têxteis ao longo da história, desde os primeiros abrigos até à actualidade. São dados alguns exemplos concretos de construções têxteis tradicionais que se mantiveram mesmo até aos nossos dias, resultantes da herança cultural de certos povos com localizações geográficas bem diversas, como os Tipis nos Estados Unidos, os Yurts na Ásia, as Tendas Negras no Norte de África e os Tupiqs na Gronelândia.

“A tenda é o abrigo mais antigo, só com excepção da caverna”, [7] sendo a primeira construção humana com função de habitação. Os poucos vestígios que estas construções ligeiras deixaram, devido ao carácter efémero dos materiais com que foram realizadas, tem sido uma razão para serem menosprezadas pelos historiadores de arquitectura; a maioria dos estudos incidindo sobre as construções de carácter mais monumental e perene, realizadas em materiais resistentes e pesados como a pedra. [8] Só recentemente os arqueólogos, equipados com técnicas mais evoluídas de pesquisa e recolha de dados, conseguiram descobrir e identificar vestígios dos primeiros povoamentos.

O que mais impulsionou o homem a criar abrigos artificiais foram provavelmente as alterações climáticas que se sucederam ao período glacial, há cerca de um milhão e quinhentos mil anos atrás. Ao estabelecerem um novo contexto ambiental, que exigia ao Homem mais das suas capacidades de adaptabilidade, estes fenómenos impulsionaram o desenvolvimento da inteligência humana, ao apurar o fabrico das suas ferramentas, vestuário e abrigos, levando o Homem a organizar a sua vida de forma a poder procurar os recursos alimentares que cada vez mais escasseavam e a realizar migrações desde África, onde foram encontrados os primeiros vestígios humanos, até à Europa e à Ásia. [8]

O Homem pré-histórico era fundamentalmente caçador / colector, vivendo de plantas e frutos selvagens, muito dependente dos animais que a sua habilidade lhe permitia caçar e dos quais não só se alimentava, como também extraía a pele e os ossos, como matéria prima para vestuário e habitações. “O sítio de Bilzingsleben na Alemanha, forneceu muita informação sobre os primeiros Europeus. Este local era ocupado por um grupo de caçadores / colectores que ali viveram durante o período de 700.000 a 120.000 anos a.C.” [8] Viviam essencialmente de caça grossa, (tendo sido encontrados vestígios de rinocerontes, que o atestam), mas também da recolha de frutos silvestres, mel, resina, da pesca de peixes que apanhavam no rio e da caça de pequenos animais como castores, dos quais aproveitavam a pele para as suas construções, realizadas utilizando ossos dos grandes animais como elementos estruturais. Na Gruta de Lazaret, perto de Nice em França, foram encontrados vestígios dum tenda com cerca de 150.000 anos. Encostados a uma gruta, apareceram conjuntos de pedras que se supõe terem servido de suporte aos mastros que suportavam a cobertura realizada com peles de animais, medindo 11 metros de comprimento por 3,5 metros de largura. [8]

“O Homo Sapiens surgiu há aproximadamente 100.000 anos e há 30.000 anos distribuía-se já por todas as regiões habitáveis do planeta”. [8] Vestígios do Paleolítico Superior (de 33.000 a 10.000 anos a.C.) mostram um grande aumento no número, complexidade e tamanho dos povoados, ainda com carácter nómada. No Sul do Chile, nas margens do Rio Chinchihuapi, foram descobertos os vestígios dum povoado com 13.000 anos, conservado

na turfa e composto por edificações ligeiras construídas com traves de madeira de forma rectangular com 4,5 por 3 metros. Esta estrutura de apoio serviria de suporte às peles de Mastodonte, o que se concluiu por haverem sido encontrados vestígios destas ainda presas às traves. [8] Uma outra edificação, de maiores dimensões, que no interior apresentava vestígios de plantas e ervas, indicava tratar-se duma comunidade organizada, com um espaço comum de armazenagem. [8] Em Pincevent, em França, foi encontrado um outro povoado, datando de aproximadamente 8.000 anos a.C., cujas habitações eram tendas de planta rectangular, com cerca de 4,5 por 3 metros, (fig. 2.1.) [8] (medida curiosamente igual ao povoado do Chile), construídas em madeira e peles de animais e sendo ocupadas sazonalmente no período compreendido entre o meio do Verão e o meio do Inverno, pois como caçadores seguiam as migrações das suas presas. [8] Outros povoados do mesmo tipo foram encontrados em Dolní Vestonice, na Checoslováquia e no Vale de Tehuacán, no México, mostrando que estes caçadores / colectores se moviam entre o vale e as terras altas de acordo com a Estação do Ano. [8]

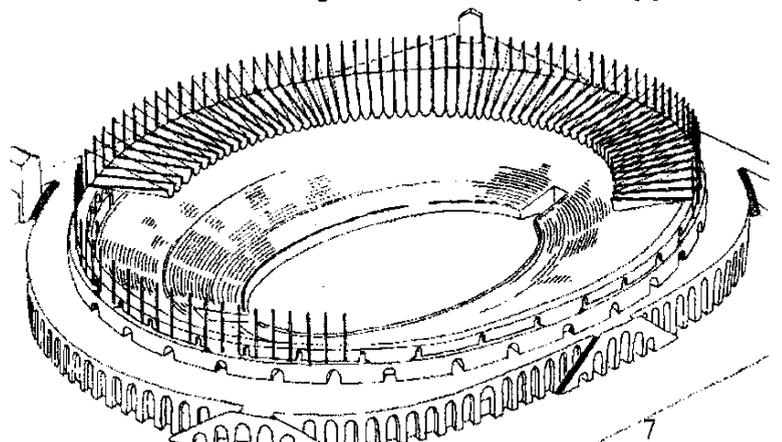


Fig. 2.1. Abrigos no Paleolítico Superior [8]

Há 10.000 anos, uma nova alteração climática deu origem ao desenvolvimento de outro período, o Neolítico. O fim da última era Glaciar trouxe a possibilidade de sedentarização, pelo desenvolvimento de meios próprios de produção de alimentos, levando à transformação para uma economia agrária. A agricultura exigia mão de obra intensiva e uma organização societária, só se tornando possível tratar das colheitas e pastorear animais em fixações sedentárias. O Médio Oriente foi a primeira região a revelar sinais duma economia agrária, tendo-se descoberto vestígios das primeiras fixações permanentes nas montanhas dos actuais Irão, Iraque, Israel, Jordânia e Síria. As aldeias de Zawi Chemi, no Iraque; Ras Shamra, na Síria; ou Jericó, na Jordânia, eram já compostas de construções de carácter permanente, em argila ou pedra. Isto significa o fim da arquitectura ligeira têxtil? Não, porque continuariam a subsistir muitos grupos nómadas no Neolítico, muitas vezes por se situarem em regiões de clima e topografia adversos, que se mantiveram numa economia de colectores / caçadores ou mista. Terão sido essencialmente estes povos nómadas que trouxeram, por herança cultural, algumas das construções têxteis tradicionais que hoje subsistem, como as Tendas negras em África ou os Yurts na Ásia.

No período Romano, os teatros e anfiteatros das arenas eram cobertos com tecidos de linho simplesmente apoiados em cordas [10], através das quais podiam deslizar de modo a funcionarem como estruturas

Fig. 2.2. Anfiteatro de Pompeia. [9]



suspensas funiculares. Na figura 2.2. apresenta-se uma reconstituição da cobertura do Anfiteatro de Pompeia. No Coliseu de Roma, construído entre os anos 70 a 82 a.C.,[11] existia também um exemplo de "Velarium", o nome pelo qual eram chamados estas

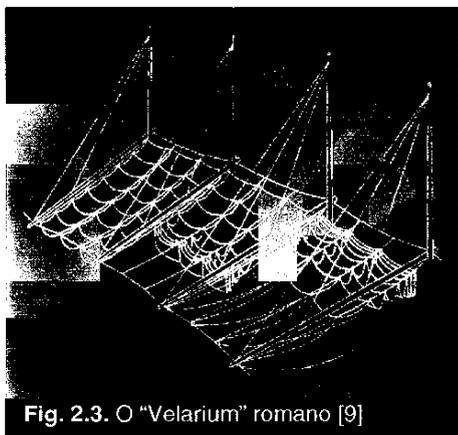


Fig. 2.3. O "Velarium" romano [9]

coberturas, com 189 por 156 m, suspenso a partir de mastros no perímetro exterior (fig. 2.3.) e formando um "anel" apenas descoberto numa elipse, localizado sobre a arena central. "A manobra de estender e recolher as telas era feita por marinheiros, utilizados pela sua prática neste tipo de actividade". [8] Os Romanos tinham também o "Pipilio" ou "Tenda de borboleta", pequenas coberturas têxteis especialmente criadas com vista à utilização militar. Pelas características modulares, permitiam a rápida montagem de acampamentos.



Fig. 2.4. Commedia dell'arte. [8]

Durante a Idade Média, na Europa, são conhecidos alguns exemplos da utilização dos têxteis em construção, como é o caso das "mansões" que eram utilizadas em grande parte da Europa, em espectáculos de teatro de rua. Estas serviam de palco às representações dos Mistérios, baseados em passagens da Bíblia. Reuniam bastante gente nos locais centrais da povoação e tiveram o seu período áureo no séc. XV, mas mantiveram-se ainda até hoje nalguns locais. Os Mistérios podiam demorar mais de uma semana a ser representados

na sua totalidade, pelo que havia que criar condições para ser feita a actuação também durante dias de chuva. O cenário era realizado em madeira, muitas vezes sobre rodas, de modo a poder ser puxado por animais, a partir do qual eram fixas cordas que serviam de suporte aos toldos destinados a abrigar o público (fig. 2.4.)<sup>4</sup> [8]

O impulso dado pelas cortes reais teve um papel preponderante no desenvolvimento das Artes do Espectáculo, não apenas da representação teatral, mas também numa vertente ligeira de entretenimento que iria culminar nos "Circos". Os monarcas tornaram-se grandes promotores destes espectáculos, tendo sido mesmo os principais responsáveis pela evolução destes em muitos países da Europa. [8] No século XVI, durante a dinastia dos Tudor em França, os espectáculos decorriam nas Côrtes dos monarcas. Entretanto, estes sentiram a necessidade de os levar, por razões diplomáticas, para outros locais, em digressão. Surgiram assim grandes tendas de banquete e espectáculo de Verão, como

<sup>4</sup> No quadro representado, "Commedia dell'arte" de 1772, de Marco Martola pode-se vêr uma cobertura deste tipo, em Verona, se bem que datando de alguns séculos depois e aqui já não estivessem certamente a ser representados "Mistérios". (Reproduzido em [8])

aquelas realizadas por ocasião de duas festas, em 1520, no reinado do Rei Henry Tudor VIII. Durante a primeira festa, em Junho, em Guisnes perto de Calais no Norte de França, foram construídas 122 pequenas tendas para os espectáculos e uma tenda maior, com os quartos, cozinhas e salas para a instalação dos nobres. Para a segunda festa, realizada em Calais, montou-se uma única tenda, de grandes dimensões, concebida com tecnologia de construção naval. [8] (fig. 2.5.) Esta cobertura tinha 37 metros de diâmetro com 16 faces “A sua estrutura consistia num mastro central de 40 metros de altura que suportava uma cobertura composta de duas telas, uma tela exterior impermeabilizada e uma tela interior decorada com pinturas representando o céu. O perímetro do edifício, com 12 metros de altura, era realizado em barrotes de madeira cobertos com tela e decorados.” [8] O perímetro interior era composto por três andares em galerias com bancadas. No palco, construído em redor do mastro central e na plateia à volta deste, eram colocadas mesas para os nobres se banquetearem, ao mesmo tempo que assistiam ao espectáculo. Os ventos ocasionados por uma tempestade de Verão, haveriam no entanto de causar a queda da cobertura em 12 de Junho de 1520, pouco tempo antes do principal espectáculo ser realizado. [8] Apesar deste desaire, esta cobertura têxtil suspensa, de grandes dimensões, com planta circular, viria mais tarde a servir de referência às tendas de circo, que surgiriam nos finais do séc. XVIII. [12]

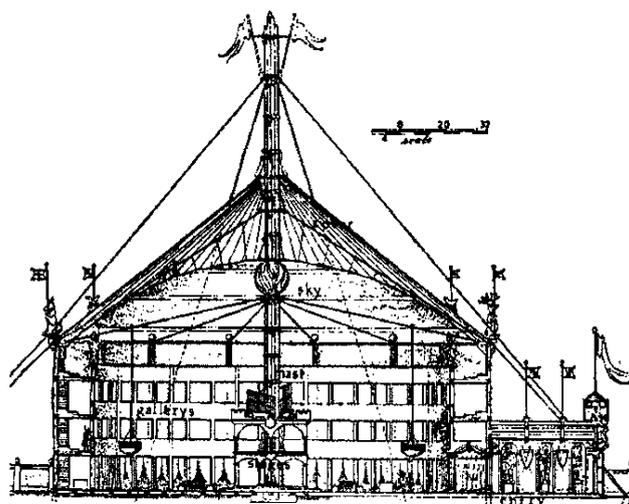


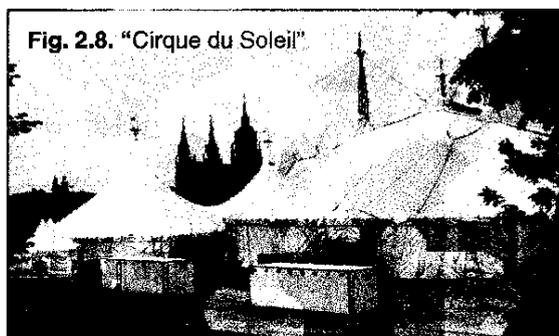
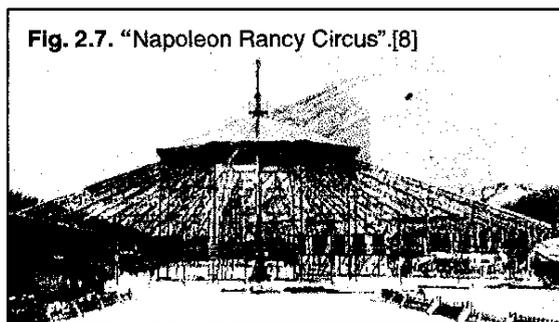
Fig. 2.5. Cobertura em Calais no séc. XVI. [4]



Fig. 2.6. Gravura de 1848 [13]

Após a Revolução Industrial, com o crescente interesse suscitado pelos espectáculos de circo, foram feitas grandes tendas, só possíveis com o desenvolvimento técnico de novos materiais têxteis, mais resistentes e com um preço mais acessível, devido à produção industrializada. [8] A grande popularidade dos circos, nos finais do séc. XIX, impulsionou o aparecimento de várias companhias itinerantes de grande dimensão, como o Barnum & Bailey Greatest Show on Earth, (anexo A2) bem como de estruturas temporárias que pudessem acolher estes espectáculos nas várias cidades que percorriam. Eram assim montadas grandes áreas com tendas e marquesinhas, usadas para várias festividades e ocasiões especiais, a par com os espectáculos de circo, como a retratada na gravura publicada no “London Illustrated News” de Junho de 1848 [13] (fig. 2.6.), sendo muitas vezes as próprias cidades que acolhiam os espectáculos e dispunham de um recinto e de uma construção ligeira para a realização destes. [12]

Existem basicamente dois tipos de cobertura de circo, as de tela simplesmente apoiada (com uma estrutura independente, de madeira ou ferro) e as de tela estrutural suspensa (onde a tela tem papel estrutural). Um exemplo do primeiro tipo era o caso do circo de Marselha, de 1893, uma estrutura de madeira desmontável, com conexões simples e um mínimo de pilares no espaço central, revelava já preocupações minimalistas. Toda a edificação era coberta por uma tela densa, apoiada em doze meias asnas, que formavam a cúpula central e em 24 asnas que ligavam esta à cintura periférica, também revestida a



tela. Os travamentos das cargas horizontais excêntricas eram realizados por cabos em esforço de tracção. [12] Tendas do mesmo tipo mas construídas com estruturas metálicas também podem ser realizadas, como no "Napoleon Rancy Circus" em Grenoble. (fig. 2.7.) (anexo A3) As coberturas suspensas são soluções mais ligeiras, mas necessitam no entanto, dum maior cuidado na montagem, pois torna-se necessário colocar amarrações no solo que terão de ter uma resistência apropriada, de modo a ser mantida a tracção na tela e o equilíbrio dos mastros de suporte. [8] Nas tendas de circo realizadas pela empresa americana Chapiteau & Stromeyer (que desde 1860 se vinham a implantar também na Europa), com diâmetros de até 50

metros e de complexas geometrias, a principal característica dizia respeito à facilidade e rapidez com que se podiam montar e desmontar, sendo o tecido de linho ou cânhamo erguido até à sua posição definitiva, por intermédio dos mastros principais. (anexo A4) Actualmente, as construções para este género de eventos, são basicamente todas do tipo "Chapiteau" <sup>5</sup> [12], pelas características de fácil montagem e peso reduzido das soluções suspensas, se bem que actualmente as telas utilizadas sejam feitas de fibras acrílicas, normalmente o Poliéster / PVC e os mastros realizados com vigas treliças de aço ou de alumínio, como o Cirque du Soleil (fig. 2.8.).

Grande influência na tecnologia das estruturas têxteis e funiculares suspensas tiveram as pontes suspensas, cujos primeiros exemplos conhecidos são Chineses, em cabos de bambu e madeira, como a ponte Kuanksien Na-lan, com mais de 2300 anos (fig. 2.9.) e mesmo em correntes de ferro e madeira, há mais de 1900 anos. [9].

Fig. 2.9. Ponte suspensa, na China. [9]



<sup>5</sup> As tendas de circo são normalmente chamadas por "Chapiteau" por associação ao nome da empresa americana "Chapiteau & Stromeyer" que introduziu este tipo de cobertura nos Estados Unidos e na Europa. [12]

Um tipo de tenda tradicional que foi estruturalmente inovadora é o “Envalet”, (fig. 2.10.) popular na Catalunha durante várias décadas nos finais do século XIX. Com um vão livre de 30 metros, eram erigidas anualmente por ocasião de festas. A partir de vários mastros de madeira colocados à volta do perímetro da cobertura eram suspensas cordas nos dois sentidos, numa estrutura tridimensional composta por uma série de catenárias, de modo a que o tecido ficasse suspenso abaixo desta. [7]

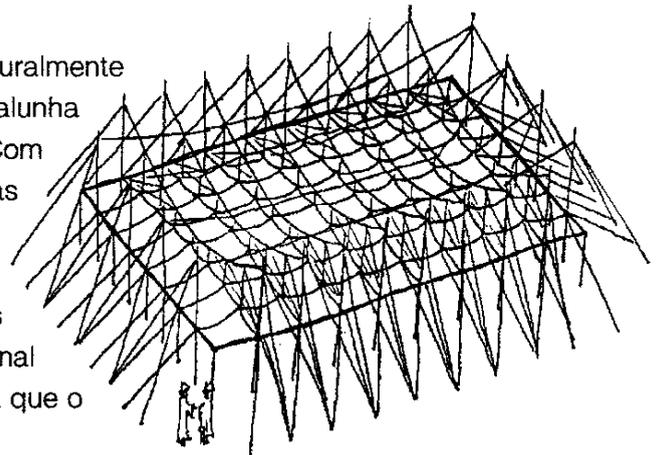
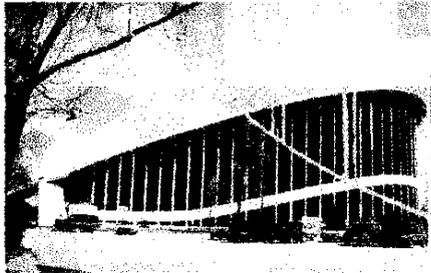


Fig. 2.10. O “Envalet” [7]

“Um princípio fundamental do movimento moderno na arquitectura é que a estrutura, o material e a técnica determinam a forma, e sendo assim os novos materiais e sistemas estruturais foram dando forma à arquitectura do seu tempo. Nos finais do séc XIX, estruturas construídas com técnicas de engenharia avançada - pontes de grande vão, pavilhões para exposições, fábricas e grandes estações ferroviárias, ou a Torre Eiffel, tornaram-se nos ex-libris e modelos duma época, com o ferro e o vidro como materiais modernos por excelência”. Já nos anos 20, os arquitectos construtivistas (Anexo A5) propunham arrojadas estruturas, mas a indústria da construção, numa União Soviética ainda fundamentalmente agrária, não foi capaz de concretizá-las”. [3]

Enquanto a arquitectura moderna se tornou no modo de projectar dominante nos anos do pós-guerra, a realidade dos resultados, na maioria dos casos, diferia largamente das expectativas criadas, nomeadamente pela Carta de Atenas. [14] O aparentemente louvável conceito de acessibilidade, funcionalidade e eficácia, terá por demasiadas vezes gerado urbanismo e edifícios esquemáticos, evidentes e com pouco interesse estético [3], numa atitude que se tem arrastado até hoje. Na nossa opinião, a reacção crítica ao movimento moderno enquanto estilo e não como conceito, quando finalmente surgiu, falhou em muitos casos no seu ponto essencial, levando alguns arquitectos a adoptarem um mimetismo de certas formas históricas, dum modo talvez demasiado “fácil” e levando alguns autores a falarem de uma nova corrente, o “Pós-modernismo” [15]. O princípio modernista de colocar a engenharia na vanguarda do design de arquitectura não é limitador, mas antes pelo contrário, traz-nos novas potencialidades, enriquecendo as escolhas. [3] O modernismo, se o entendermos como um conceito que evolui constantemente, é talvez potencialmente mais rico do que a classificação de “Pós-modernismo”, com a conotação que a palavra adquiriu, já que o modernismo conceptual não se esgota em si mesmo, aprende dos erros e das virtudes utilizando-os com um sentido auto-critico. Como afirma Dieter Kopp, “A arte moderna ensinou-nos a abandonar a tradição, logo ensina-nos a romper com a tradição da arte moderna”. (citado em [16]) Um renovado entusiasmo, após a 2ª guerra mundial, tanto para o modernismo conceptual como para as estruturas de engenharia avançadas “high-tech” [17] conduziu a algumas obras experimentais como as coberturas do Mathew Nowicki State Fair Arena em Raleigh (fig. 2.11.), Carolina do Norte, que em 1953 marca o desenvolvimento das coberturas suspensas funiculares. [9] Os terminais da TWA e Dulles

de Eero Saarinen ou a Ópera de Sidney de Jörn Utzon, não sendo estruturas têxteis, não deixam de constituir exemplos marcantes de novas tecnologias estruturais e das formas arrojadas delas resultantes ou por elas potenciadas. A evolução da arquitectura têxtil é indissociável da história da engenharia de estruturas tridimensionais ligeiras. Também no âmbito das pesquisas formais, a biónica, que associa modelos matemáticos às estruturas



**Fig. 2.11.** "Mathew Nowicki State Fair Arena" [9]

naturais, esteve no centro das preocupações de técnicos pioneiros como Frei Otto. [18] (anexo A6) Os trabalhos recentes em estruturas têxteis, foram largamente influenciados pelas investigações e obras deste e de outros técnicos, como Horst Berger (anexo A7) e David Geiger, que têm implementado a utilização de telas têxteis na construção.

Muita da inovação do trabalho experimental tem os seus contratempos, em termos de maturidade tecnológica e custos. Os materiais utilizados, como se desenvolvem e aplicam em curto espaço de tempo, nem sempre se comportam à altura das solicitações. As primeiras estruturas têxteis contemporâneas sofreram várias adversidades, mas chegou-se actualmente a um ponto em que estas já não têm pouca credibilidade. Estamos, como afirma Tony Robin "(...) a entrar num período em que a engenharia é a desconhecida 'avant-garde' do desenho arquitectónico, um período em que novos materiais e sistemas estruturais criam novos princípios estéticos e os sedimentam". [3]

A necessidade prática de criar estruturas leves e resistentes não é restrita apenas à arquitectura. "A pesquisa de materiais e tecnologias inovadoras, ligadas à construção de novos meios de transporte, marítimos, aéreos e mais recentemente espaciais, ou o desenvolvimento das que já existem, tem sido essencial na evolução da Arquitectura têxtil" [8] (anexo A8). Um princípio estrutural que possa ser utilizado em várias situações diferentes pode ser de grande importância. No entanto, este fenómeno já não é uma conquista recente pois, a transposição das tecnologias já se fazia há muitos séculos, se bem que numa forma empírica. O princípio estrutural das primeiras construções, utilizando peles e ossos, encontra-se nas canoas dos Nativos Americanos, onde costelas de animais de grande porte atadas entre si por cordas, suportam uma membrana de pele. [19] A tecnologia naval é uma constante da arquitectura têxtil actualmente, com os seus mastros, velas, cabos e acessórios. [18] A transferência da tecnologia associada aos primeiros aviões e aeronaves, (especialmente os dirigíveis), está também ligada à concepção de coberturas ligeiras, nomeadamente através de Alexander Graham Bell" no campo das "estruturas espaciais" ligeiras metálicas.

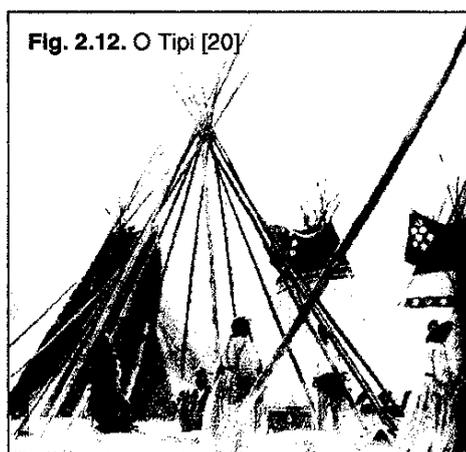
O dinamismo arquitectónico dos anos 80 assistiu à concretização de projectos de arquitectura têxtil ambiciosos. [18] Hoje, projectos de arquitectura com utilização de telas têxteis, surgem um pouco por todo o mundo. Criadores e técnicos exploram, cada dia que passa, novas vias que se abrem neste campo e começamos a encontrar, em muitas publicações e nas nossas viagens atentas, vários exemplos disso.

As tipologias da arquitectura tradicional constituem normalmente a resposta mais directa à situação física e à cultura a que pertencem, procurando a satisfação de todas as necessidades funcionais e sociais da comunidade que as adopta e usa, constituindo inclusivamente um dos melhores retratos dela. São normalmente o resultado prático da evolução da habitação, que se vai dando ao longo do tempo e sucessivas gerações, derivada de exigências de conforto crescentes, mas também da assimilação de características próprias da arquitectura de outros povos, pelas trocas culturais provocadas pelas migrações. A arquitectura vernacular representa assim o resultado dum aperfeiçoamento que levou milhares de anos.

Será que actualmente ainda se pode aprender alguma coisa com as construções tradicionais têxteis? Pensamos que sim, pois estas apresentam muitas vezes soluções mais "naturais" e minimalistas para problemas que actualmente tendem a complicar-se. A adequação ao clima, da forma e dos materiais utilizados, é um dos aspectos que é especialmente fácil de observar. Por exemplo, a forma pontiaguda e a planta de reduzida dimensão dos tipis americanos e dos tupiqs, especialmente adequados a climas com neve opõe-se à forma alongada e ao baixo perfil das tendas negras, particularmente adequada para resistir aos ventos fortes do deserto. Seria importante conseguir extrair destas construções o máximo de informação e tentar adaptar algumas das soluções aos tempos e exigências actuais. Muitas vezes estas tipologias foram abandonadas, porque os materiais de que se dispunha então não ofereciam características de segurança e conforto, tendo sido abandonadas algumas soluções, de modo a serem resolvidos problemas concretos, nomeadamente usando outros materiais. Mas na maior parte das vezes, este processo foi realizado por acréscimo e não por substituição de tecnologias, incrementando o peso. Será talvez a altura de analisar melhor as respostas mais simples e perceber se será hoje em dia possível adoptá-las, substituindo-as por novos materiais, mais eficazes e resistentes, mantendo os actuais padrões de conforto. Passamos a descrever alguns exemplos de arquitectura vernacular ligeira em que se utilizam têxteis como material principal e que, como se poderá verificar, apresentam certas virtudes que hoje se perderam mas também, obviamente, certas carências em termos daquilo que hoje se espera duma habitação, em termos de conforto, estética ou privacidade. O que importa ressaltar, no estudo destas, é mais a atitude e os conceitos de "inteligência" passiva com que foram concebidas, se bem que duma forma relativamente empírica e a sua relação com os elementos naturais, com os quais convivem harmoniosamente, nomeadamente: a topografia, o sol, a chuva, a humidade e o vento.

## O TIPI

Os primeiros habitantes do Paleolítico na América do Norte viviam em grupos e seguiam as migrações sazonais dos animais de grande porte, que caçavam. No período Neolítico, com o desenvolvimento da agricultura, introduziram construções permanentes. No Norte, cabanas em madeira coberta com terra e turfa. Nos climas mais quentes do Sul, construíram com adobe e argila. Com a domesticação do cavalo, muitos destes grupos



abandonaram estas construções e tornaram-se novamente caçadores de Búfalos. Este retorno ao nomadismo conduziu rapidamente a um tipo de construção baseado numa concepção tradicional de abrigo ligeiro e portátil, com referências na sua herança cultural, o Tipi. (fig. 2.12) [8] Após a colonização, os Índios foram forçados a viver em reservas e desencorajados a habitar Tipis, (anexo A9) mas existe actualmente um movimento de recuperação destes, inclusivamente entre Americanos não Indígenas, agora construídos com materiais têxteis em vez de peles [20].

Ainda que variando em tamanho e complexidade entre as diversas tribos, os Tipis seguiam uma tipologia semelhante, com uma estrutura em madeira composta por três ou quatro traves principais complementadas por outras secundárias, também fixas ao vértice, sobre as quais assentavam as peles de búfalo (cerca de 20 para uma tenda com 5 metros de diâmetro), costuradas e colocadas de forma semicircular. A montagem seguia o faseamento da figura 13 e podia ser realizada apenas em vinte minutos, normalmente por mulheres, como se pode ver na fig. 2.12. [8] Apesar da concepção simples, o Tipi tem certas características engenhosas, que o tornam confortável. Eram montados segundo um determinado ângulo, tendo em conta a direcção dos ventos dominantes, sendo capaz de resistir a ventos fortes. Tendo no vértice uma chaminé com uma pala regulável, assegurava-se a tiragem de modo a que os fumos fossem expelidos e não voltassem a entrar, tornando-se assim possível manter uma fogueira acesa dentro da habitação. [13] Para determinar a direcção dos ventos eram colocadas fitas no vértice do Tipi. No interior, era colocado um pano à altura de 1,5 metros, permitindo a desumidificação natural da área habitável, bem como algum isolamento térmico. [8]

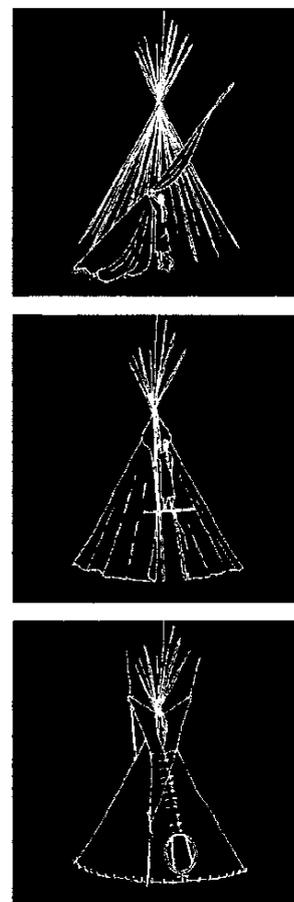


Fig. 2.13. O tipi – Processo de montagem [8]



A Tenda negra, (fig. 2.14.) precursora das modernas estruturas têxteis suspensas, é usada em climas quentes áridos, como os do Médio Oriente e Norte de África. Os habitantes do deserto necessitam duma habitação portátil, pelo facto de serem pastores, deslocando sazonalmente os seus rebanhos de cabras e camelos para pastagens frescas, em regiões muito afastadas entre si e, por distâncias menores, dentro da mesma Estação. Os Beduínos ou Ahl el Beit (povo das tendas), são os mais nómadas, viajando maiores distâncias que todos os outros, mais de 60 Km por dia. [8]

**Fig. 2.14. A tenda negra [3]**

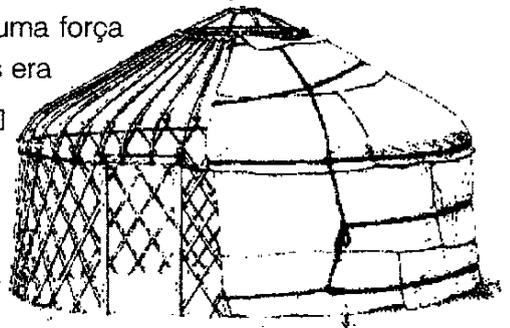
O cuidado posto no detalhe e ligeireza das Tendas negras, permite a fácil montagem, desmontagem e transporte, não possuindo nenhum componente que não possa ser transportado por mais de duas pessoas. [8] Assim chamadas por ser utilizado no tecido de recobrimento, pêlo escuro de cabra, por vezes misturado com lã de ovelha ou camelo, [3] são orientadas a Leste, na direcção de Meca, ou a Sul, de forma a que as traseiras fiquem voltadas a Norte e a zona dos homens virada para Meca. [8] Para melhor resistir aos ventos fortes e quentes que transportam poeiras têm um baixo perfil e uma forma aerodinâmica. A incidência dos raios solares sobre o tecido negro, provoca o seu aquecimento, o que induz à formação duma corrente de convecção entre as fibras da lã e incrementa a circulação do ar através da superfície interior. As características do tecido, apesar da cor, não causam ganhos solares significativos, pois, segundo David Wright, "a tecitura relativamente aberta permite uma certa ventilação natural e a saída do ar quente" [6]. Após molhado, as fibras de lã dilatam e o tecido torna-se impermeável [3] e a exposição ao sol do tecido molhado vai inclusivamente incrementar o arrefecimento, pela evaporação da água pois, apesar da pequena pluviosidade das áreas onde se localizam, os acampamentos são normalmente montados em locais onde existem poços ou lagos, com uma maior concentração de humidade relativa no ar.

O tecido é composto por tiras de 60 a 70 cm de largura, costuradas e incorporando outras tiras cruzadas, de reforço, estendidas e fixas ao solo com a ajuda de esticadores, de forma a ser mantida a tensão. As paredes da tenda são suspensas ao longo do perímetro e a base é enterrada na areia, ou fixa com pedras. O tecido das paredes pode ser levantado para permitir a circulação de ar ou totalmente encerrado para melhor abrigar das tempestades de areia. A base da tenda degrada-se mais rapidamente, sendo o tecido constantemente renovado desde a parta alta. No interior existem divisórias em tecido, as quais definem os compartimentos destinados a cada função específica; cozinha, quartos e sala. A tenda possibilita uma grande flexibilidade de uso, podendo a divisão interior ser transformada num espaço amplo. Apesar da sua simplicidade exterior, contem certos elementos decorados, nomeadamente os acessórios estruturais exteriores (como os esticadores) e os tecidos utilizados nas divisórias. A dimensão e qualidade da tenda são indicativos do estatuto do dono e cabe às mulheres a responsabilidade pela montagem e manutenção. [8]

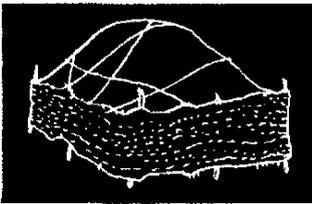
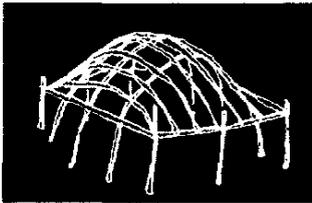
## O YURT

O Kibitka ou Yurt (palavra Turca que significa abrigo) é uma habitação característica do continente Asiático, utilizado ainda hoje do Irão à Mongólia, podendo ser considerado como de tela simplesmente apoiada. A sua construção foi sendo padronizada, fruto duma herança cultural de milhares de anos, sofrendo poucas alterações por ter uma forma rígida. Por ser ligeiro, de fácil transporte, montagem e adaptável a vários tipos de clima, permitiu servir de referência a construções posteriores, por exemplo a muitas das tendas militares e da nobreza Europeias e Asiáticas do século XIV ao XVIII. [21] Há mais de 7.000 anos, as estepes da Ásia Central eram habitadas por comunidades agrárias sedentárias. Há cerca de 3.000 anos, foram ocupadas por sociedades nómadas, cuja mobilidade dependia do cavalo, do pastoreio de ovelhas e gado e da caça. O movimento sazonal entre os locais de pasto implicava que tudo fosse portátil, utilizando, para o transporte das suas casas e materiais, carros ou "travois" puxados por cavalos. Estes habitantes das estepes eram guerreiros ferozes, o que aliado à sua mobilidade fazia deles uma força de conquistadores e saqueadores (o líder de um destes grupos era Gengis Khan). [8]

Fig. 2.15. O Yurt [8]



Os Yurts são particularmente resistentes, mas ao mesmo tempo ligeiros, sendo facilmente desmontáveis mas também podem ser transportados inteiros por curtas distâncias, fazendo-se a "renovação" do solo por baixo destes, como medida higiénica. A estrutura da parede exterior é realizada com réguas em madeira de salgueiro, fixas através de rótulas, permitindo a recolha, expansão e dobra, num mecanismo telescópico. Depois de expandida, a estrutura é colocada formando um círculo, unindo os dois lados do pórtico em madeira que forma a porta de entrada. (fig. 2.15.) Um cabo de travacção é então colocado a toda a volta atado à padieira. A cobertura é realizada em traves de madeira, rematando numa coroa circular, a qual, enquanto se faz a colocação de todos os raios, é mantida na sua posição através de escoras verticais. O revestimento da construção é em feltro, feito pelas mulheres, à cor natural, tingido ou pintado e podendo ser utilizadas até oito camadas, numa cobertura quente e impermeável. Os homens são responsáveis pela execução das carpintarias, mas são as mulheres que realizam a montagem e desmontagem. A organização do espaço interior obedece a uma série de regras e simbolismos, onde a fogueira, a área mais sagrada, ocupa o centro, debaixo da abertura no tecto, representando o olho de Deus, donde vem a luz. A entrada é orientada a Norte, para o Sul estar de frente para quem entra, as alas das mulheres e crianças a Leste e a dos homens a Oeste, bem como o lugar de honra. A ventilação é feita através da porta e da chaminé, mas também pelas paredes, cujo feltro pode ser levantado, enrolando-o. No verão, o pavimento é constituído apenas por uma camada de feltro, mas durante o Inverno, para isolamento, é colocada uma camada de 10 cm de erva seca coberta por tapetes de lã. Apesar de ser uma construção tradicional que subsistiu durante milhares de anos, o Yurt ainda hoje é a habitação predominante na Mongólia (cerca de 2/3 das habitações), essencialmente por ter um custo de construção muito baixo. [8]



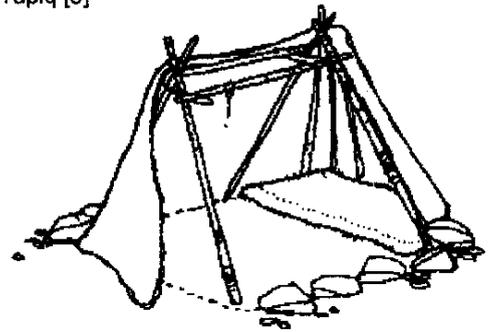
Também na Ásia, mais exactamente no Tibete, aparecem habitações de alguma semelhança com os Yurts, suportadas por uma estrutura em traves em madeira exteriores e cordas, sem pilares interiores. São normalmente chamadas de tendas, apesar de não serem estruturas suspensas, mas de telas simplesmente apoiadas. Um pouco à semelhança destas, as tendas dos Tuaregues do Centro e Sul do Saara têm características semelhantes, pois têm também uma estrutura de madeira que funciona como um exoesqueleto. (fig. 2.16) Neste caso pode ser revestido em pele, num entrançado de folhas de palmeira ou numa combinação de ambos. A estrutura exterior, de planta rectangular, é composta por traves de madeira formando as paredes, suportando uma abóbada realizada com arcos paralelos flectidos para o exterior sobre tensão, cruzadas na perpendicular com varas mais estreitas, como se pode observar no seu processo de montagem, (fig. 2.15) que pode ser realizado em apenas trinta minutos. [8]

Fig. 2.16. Tenda dos tuaregues [8]

## O TUPIQ

Os Esquimós da América do Norte e Gronelândia habitam uma extensa área de paisagem desértica gelada. Os seus antepassados, originários da Ásia Central, migraram há cerca de 12.000 anos através do estreito de Behring e levavam, nas suas deslocações, Tupiqs: tendas desmontáveis em pele, com estrutura de madeira, dum tipo semelhante às vulgares tendas de campismo, com secção transversal triangular e planta rectangular. (fig. 2.17) Os Esquimós estabeleciam os seus acampamentos ao longo das praias por onde passavam, tendo desenvolvido um estilo de vida especialmente adequado ao tipo de habitat em que se encontravam, o Ártico. Eram caçadores e acompanhavam os Caribús nas migrações anuais para Norte, na transição para o Verão, e as deslocações em massa dos Salmões contra as correntes. Utilizavam nas suas tendas, tanto peles de Caribú como de Foca. Quando já se encontravam relativamente estabelecidos numa área, realizavam um acampamento de Tupiqs no Verão e uma fixação permanente no Inverno, em abrigos semi-enterrados, que mais tarde evoluiriam até se tornarem nos Iglôs. [8]

Fig. 2.17. O Tupiq [8]



## **CAPÍTULO III - APLICAÇÕES DOS TÊXTEIS EM ARQUITECTURA**

Neste capítulo, pretende-se fazer a caracterização do estado da arte no domínio das coberturas têxteis, com os exemplos mais representativos e as funções para as quais são ou podem ser utilizadas com vantagens significativas, tais como em recintos desportivos, salas de espectáculo, exposições, armazéns, estufas, habitação, etc.

Tal como o aço e o vidro levaram ao desenvolvimento da “planta livre”, as telas arquitectónicas levam a uma redefinição da relação entre espaço interior e espaço exterior. [3] As estruturas têxteis podem não encerrar totalmente, mas constituir um filtro de certa forma permeável a esta relação, o que poderá ser explorado como uma vantagem quando a função a que estão destinadas o permite ou, pelo contrário, ser um pouco limitativo. Há no entanto hipóteses de trabalhar a relação de fronteira que estabelecem, nomeadamente através da sobreposição de telas, com ou sem isolamento, controlando a temperatura ou o ruído e criando sobre elas um certo microclima artificial. Podemos dizer que as coberturas têxteis poderão ser usadas vantajosamente em alternativa a outros tipos de estrutura, pelas seguintes razões:

- **Ligeireza.** O pouco peso relativo destas torna-as especialmente adequadas a terrenos pouco firmes e a zonas sísmicas. Pelo seu aspecto leve, transforma algumas estruturas em objectos que “flutuam” no ar. [10] (fig 3.1.)
- **Evocação simbólica.** Pela sua imagem muito particular, as telas arquitectónicas podem servir para evocar certas formas orgânicas ou outras, tais como “nuvens” no Arco de “La Défense”, em Paris. (fig. 3.1.)
- **Translucidez.** É uma importante característica da maioria das coberturas têxteis, permitindo uma iluminação diurna natural uniforme e filtrada, trazendo eventualmente poupanças significativas em termos de gastos de energia. (fig. 3.2.)
- **Custo.** Pelas tecnologia envolvida no fabrico das telas, bem como pelos acessórios necessários, nomeadamente cabos de aço, esticadores, manilhas, bielas e rótulas, as coberturas têxteis em geral e as suspensas em particular, não são normalmente económicas, excepto quando é necessária flexibilidade ou mobilidade ou para grandes vãos livres, como em salas de espectáculo ou pavilhões desportivos. (fig. 3.2.)

Fig. 3.1. O Arco de “La Défense”.

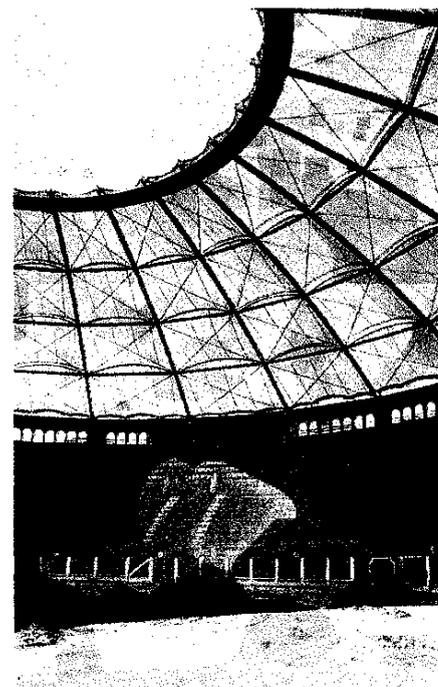
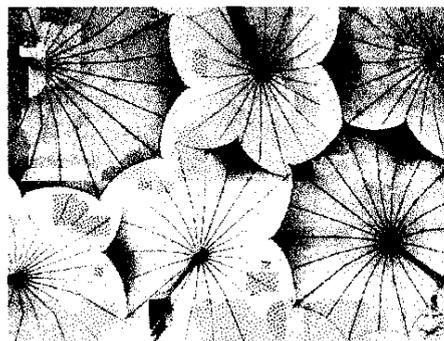


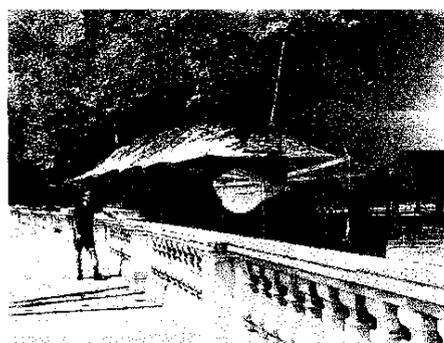
Fig. 3.2. Praça de Touros em Pontevedra.

- **Arquitetura efémera.** Estruturas temporárias ou provisórias com vista a uma utilização ou acontecimento particular são vulgares. Nestes casos, quando o tempo de utilização é muito limitado, é possível utilizar telas com características de durabilidade reduzidas, como lonas de algodão, telas de Nylon e telas de Poliéster muito translúcidas. Um exemplo de arquitetura têxtil efémera são os guarda-sóis de Frei Otto para a tournée dos Pink Floyd de 1976. [22] (fig. 3.3.)



**Fig. 3.3.** Guarda-sóis para os Pink Floyd. [22]

- **Flexibilidade e mobilidade.** As estruturas têxteis poderão ser sujeitas a uma reconfiguração das suas formas ou ampliadas com um mínimo de custo e tempo, podendo também facilmente ser recolocadas noutra local, se para isso tiverem sido previstas, [3] ocupando pouco espaço se armazenadas e pouco volume e peso em transporte. A bilheteira do Palácio de Buckingham em Londres que só é utilizada durante dois meses no ano (fig. 3.4.), ou o Pavilhão Carlos Moseley em Nova Iorque, (fig. 3.26.) um palco móvel que pode ser carregado em cinco camiões e montado em apenas seis horas, são exemplos da mobilidade possibilitada pelas telas e da economia associada a esta característica.



**Fig. 3.4.** Bilheteira do Palácio de Buckingham

- **Regulação da temperatura.** Sombrear e arrefecer naturalmente grandes espaços abertos, em climas quentes, sempre foi uma característica das coberturas têxteis. Para climas mais frios ou instáveis, já estão actualmente disponíveis soluções de telas com isolamento e outros sistemas de controle activo e passivo, o que permite corrigir alguns defeitos associados às telas: fraca inércia térmica e isolamento. [10] Podemos dar o exemplo dos guarda-sóis automáticos de Frei Otto e Bodo Rash para a Exposição Federal de Jardim, em Colónia. (fig. 3.5.)



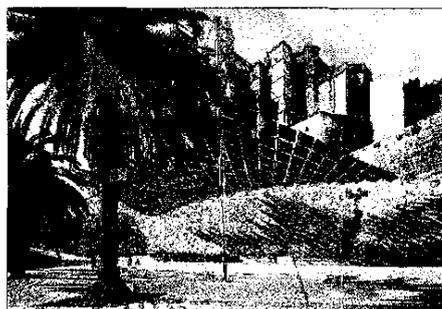
**Fig. 3.5.** Guarda-Sóis de Frei Otto em Colónia.

- **Protecção.** As telas arquitectónicas podem ser utilizadas para cobrir grandes espaços destinados a espectáculos ou exposições e em recintos desportivos, nomeadamente para protecção das zonas de espectadores da chuva e das radiações solares excessivas, mas também podem servir para pequenas coberturas de protecção em zonas de entrada (fig. 3.6.) e montras de edifícios vulgares de estrutura pesada.



**Fig. 3.6.** Alpendre têxtil em Londres.

- **Restauro.** Pela sua ligeireza mas também pela “neutralidade” formal de algumas soluções, podem ser úteis em intervenções sobre edifícios históricos ou em restauros, como na cobertura do Teatro Romano de Nimes (fig. 3.31.) e na cobertura dum auditório ao ar livre no Castelo de Palma de Maiorca, projectada por Elias Torres e Martinez Lapeña. (fig. 3.7.)



**Fig. 3.7.** Castelo de Palma de Maiorca. [66]

As características físicas das telas arquitectónicas podem também constituir impedimento ou não trazer vantagens na utilização com determinadas funções, como em pequenos vãos, em edifícios muito compartimentados, em zonas de construção intensiva ou em situações onde, por razões de segurança, são exigidas características de resistência ao vandalismo ou ao roubo que as telas normais não podem ter. Por outro lado, existem situações em que as coberturas têxteis se revelam como soluções ideais, em todos os sentidos, pelo que é bastante lamentável que não encontrem uma maior divulgação e aceitação. Deixamos aqui alguns exemplos da viabilidade deste tipo de construções no cumprimento de certas funções, já realizadas e testadas ou propostas.

## 3.2.1.

## Habitações e abrigos de emergência



**Fig. 3.8.**  
Tendas de  
campismo



Abrigar é a mais antiga função para a qual se concebem construções ligeiras de tela, e já tivemos oportunidade de dar vários exemplos disso no capítulo referente às construções tradicionais. Actualmente, a utilização de construções têxteis em habitação de carácter permanente, encontra-se bastante limitada a certos casos específicos e a poucas áreas geográficas. No entanto, em construções de carácter efémero como habitações temporárias ou móveis, tem-se verificado uma grande utilização. As tendas de campismo (fig. 3.8.) e de campanha militar, são os exemplos mais vulgarizados do uso de têxteis em construção e muitas vezes responsáveis por uma imagem um pouco negativa que este acarreta, nomeadamente para habitação. No sentido de conseguir dar resposta em tempo útil a certas situações de carácter humanitário, não existe outra hipótese do que a rápida montagem de construções deste tipo, nomeadamente tendas para abrigo de populações vítimas de guerra ou no seguimento de calamidades e catástrofes naturais. (anexo A10) É aqui que os materiais têxteis podem representar soluções eficazes, nomeadamente por serem construções económicas e anti-sísmicas.

Para realojamento duma zona atingida há poucos anos por um violento terramoto, Kobe, foi concebido pelo arquitecto Shigeru Ban, um sistema construtivo ligeiro, cuja cobertura é em tela têxtil [12] (fig. 3.9.). Com carácter provisório, as habitações são realizadas utilizando materiais simples, económicos e de fácil montagem, alguns reciclados, como tubos de cartão nas paredes e grades de plástico para garrafas no embasamento.



**Fig. 3.9.** Abrigos de emergência em Kobe. [12]

Fig. 3.10. Casa "Lyon-Vaise". [18]

Os exemplos contemporâneos de habitações com carácter permanente e que fazem utilização de telas têxteis são relativamente poucos. Pode-se apresentar como exemplo a casa "Lyon-Vaise", (fig. 3.10.) projectada por Françoise Jourda e Gilles Perraudin, onde a cobertura têxtil é concebida como uma estrutura exterior à casa, criando uma zona de sombra e abrigo que se desenvolve sobre esta. [18] O efeito obtido é semelhante a uma ramada de vegetação, prolongando a zona de sombra das árvores circundantes e protegendo assim a habitação do sol excessivo de Verão bem como da chuva. Não se trata propriamente duma habitação têxtil, mas antes, duma cobertura têxtil construída sobre uma habitação não têxtil, apesar de ser também um sistema construtivo relativamente ligeiro (madeira, ferro e vidro).



Um exemplo semelhante, mas onde a cobertura é composta de duas telas com um espaço ventilado entre elas, uma exterior e outra interior, é a solução proposta pelo arquitecto Gabriel Poole, para uma habitação unifamiliar na Austrália. (fig. 3.11.) A diferença em relação ao exemplo anterior é o facto da cobertura interior ser também têxtil. A solução ligeira das paredes inclui sistemas de abertura, de modo a tornar a casa numa área ventilada quando se pretende o arrefecimento do interior, transformando-a numa solução solar passiva, além de também dispor de autonomia energética em termos de aproveitamento solar activo, através de painéis fotovoltaicos. A cobertura exterior é em tela de Poliéster revestido a PVC, do tipo plana (se bem que realizando uma curva sinclástica<sup>6</sup> numa direcção) e a interior é em Vinilo (Dralon) de tipo anticlástica,<sup>6</sup> de deformação com aresta recta.



Fig. 3.11. Casa unifamiliar na Austrália. [13]

<sup>6</sup> Os conceitos de curva sinclástica e anticlástica serão posteriormente desenvolvidos no capítulo referente à análise morfológica.



Fig. 3.12. Estação "Nantes Sud". [18]

Os edifícios públicos de grande dimensão, tais como aeroportos e estações de caminho de ferro ou camionagem, pela quantidade de pessoas que neles circulam, implicam áreas de átrios, corredores e salas com amplos vãos livres, por várias razões, que se prendem com a segurança (fácil vigilância), com o conforto (diminuem as concentrações de fumos pela melhor ventilação e reduz-se a sensação de claustrofobia), e boa iluminação, que deverá ser uniforme mas não causar demasiada sobrecarga térmica. A monumentalidade destes espaços implica forçosamente soluções construtivas excepcionais, pelo que o custo destas, quando realizadas em materiais como o betão ou chapa metálica se revela bastante elevado, especialmente se tivermos em conta o custo dos vãos envidraçados para iluminação e a instalação de complexos sistemas de ventilação e climatização. Por esta razão, a utilização de coberturas têxteis é uma opção viável em termos funcionais e económicos. Os exemplos mais conhecidos são o Terminal Hajj do Aeroporto de Djedda, as coberturas das Gares do TGV "Atlantique" (fig. 3.12. e 3.13.) e o Aeroporto de Denver. (Fig. 3.14.) (Anexo A11).

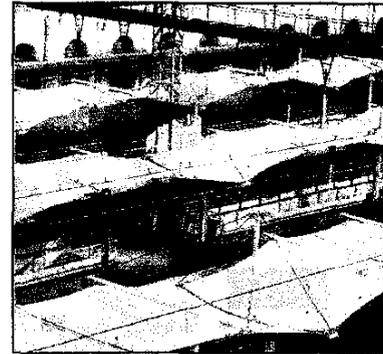


Fig. 3.13. Estação de Le Mans [18]



Fig. 3.14. Aeroporto de Denver [13]

## O TERMINAL HAJJ DO AEROPORTO DE DJEDDA.

O terminal Hajj do Aeroporto Internacional King Abdullaziz em Djedda na Arábia Saudita foi projectado pela Skidmore, Owings and Merrill e a obra foi concluída em 1981. (fig 3.15) Horst Berger colaborou no desenho conceptual e forneceu todos os planos e detalhes para a montagem das coberturas. Berger chamou a esta obra uma "floresta no deserto" [9], sendo a maior área coberta têxtil do mundo, com 430.000 m<sup>2</sup>. [3] O terminal Hajj foi construído para receber os peregrinos muçulmanos que vêm de avião à cidade santa de Meca. A maioria das 700.000 pessoas que passam anualmente pelo terminal, chegam e partem no período de 30 dias do Ramadão, pelo que este foi dimensionado para uma lotação de 100.000 pessoas, dando abrigo por várias horas, (fig. 3.17.) [9] até que possam continuar a sua jornada até Meca, de autocarro (fig. 3.16.) O período do Ramadão muda de ano para ano com o calendário lunar muçulmano e em algumas ocasiões a temperatura na região durante este período chega aos 54° C. Para fazer frente a estas temperaturas, "(...) a solução proposta é uma série de 210 tendas, com 2.025 m<sup>2</sup> cada, e suportadas por quatro pilares de aço com 45 metros de altura. Cada tenda desenvolve-se a partir de 20 metros acima do solo, em forma de cone tubular até uma altura de 33,5 metros onde remata num anel de 4,8 metros de diâmetro. As aberturas superiores permitem a libertação

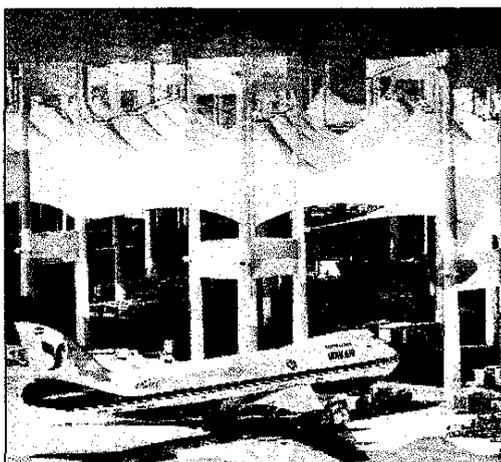


Fig. 3.15. Vista exterior do Aeroporto de Djedda. [9]

de ar quente, o que, juntamente com a reflectância de 75% da tela, contribui para que a temperatura interior se mantenha agradável". [3] Num dia normal de 35 °C de temperatura exterior, a temperatura superficial da tela não ultrapassa os 40°C, [9] constituindo uma solução passiva de regulação térmica. A tela foi desenvolvida de modo a que cerca de 7% da luminosidade disponível seja transmitida, sendo os restantes 18% absorvidos pela tela fornecendo uma suave luz natural durante o dia. [3]



Fig. 3.16. Vista interior no terminal de autocarros. [9]



Fig. 3.17. Área de passageiros [9]



Fig. 3.18. Anel metálico.



Fig. 3.19. Cobertura no solo. [9]



Fig. 3.20. União da tela ao anel superior

O processo de montagem iniciou-se com a colocação das torres de pilares, em conjuntos de quatro interligados. As telas chegaram ao local completamente acabadas. Para as colocar na posição pretendida, era suspenso um anel metálico (fig.3.18.) de cada grupo quadrado de pilares e estabilizado por quatro pares de cabos que o equilibravam numa primeira fase a 20 metros acima do solo. (fig.3.19.) Cada aro metálico separava-se em duas partes, uma das quais era rebaixada para ser ligada com um dos lados da tela de abertura circular. Quando o aro inferior era puxado até ao aro superior, a tela que a ele ia fixa era estendida, sendo então altura de rematar a parte inferior da tela, fixando-a a cabos presos aos pilares, formando um quadrado. Eram então postos 32 cabos radiais de suporte em costuras previamente feitas na tela. (fig. 3.21.) A fase final de montagem consistia na união dos aros metálicos, dando tensão ao tecido. (fig. 3.20.) Esta manobra não era realizada isoladamente para cada tela, pois os pilares e as fundações seriam demasiado delicados para aguentar o desequilíbrio provocado pela força de tracção interior do quadrado. Assim, optou-se por erguer os 21 módulos todos ao mesmo tempo, permitindo que as telas adjacentes suportassem os pilares ao mesmo tempo que os pilares suportavam as telas dos seus módulos. [9]

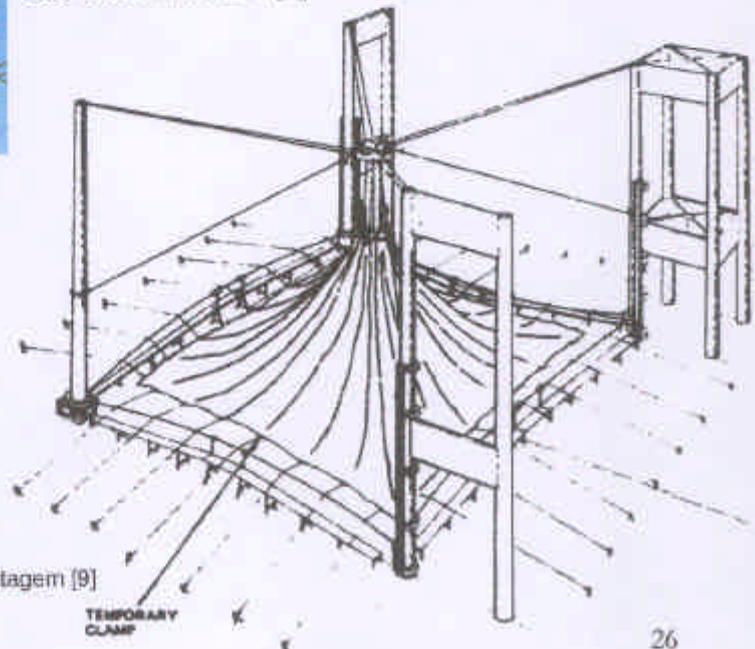


Fig. 3.21. Perspectiva esquemática da montagem [9]

A cobertura de pavilhões desportivos constitui, a par com a cobertura de pavilhões de exposição e de espectáculo, a maior percentagem de construções têxteis de grande e média dimensão. Este facto deve-se à necessidade de grandes vãos livres neste tipo de construções, associada a uma ocupação predominante diurna (o que permite o aproveitamento da translucidez das telas para se obter iluminação natural). A pouca inércia térmica das telas simples não constitui também um inconveniente, pois a prática de desporto, com excepção dos desportos aquáticos, não exige ambientes de temperatura muito condicionada, já que uma ventilação natural se mostra normalmente suficiente. No entanto, já existem soluções de telas múltiplas, com grande capacidade de isolamento térmico, como no "Aquatic Center" do "Lindsey Park". A utilização de outros materiais,

como o acrílico no Estádio Olímpico de Munique, (fig. 3.22.) de Frei otto, apesar de não ser têxtil, não deixa de ser uma estrutura ligeira suspensa e ter um comportamento térmico adaptado a climas frios, com grandes ganhos e poucas perdas. Soluções abertas são muito comuns quando a intenção é apenas proteger os espectadores nos estádios, o que já se fazia com materiais têxteis no período Romano. Para os Jogos Olímpicos de 1990, o Comité Olímpico Italiano decidiu reconstruir totalmente um estádio em Roma, dando-lhe uma capacidade de 85.000 lugares cobertos. O projecto foi concebido pela firma de arquitectura Italprogetti e pelo engenheiro M. Majowieki. Foi construída uma cobertura



Fig. 3.23. Estádio Olímpico de Roma. [1]



Fig. 3.22. Estádio Olímpico de Munique.

elíptica (fig. 3.23.) a cobrir a quase totalidade do recinto de 314 por 220 metros, com excepção da área localizada sobre o campo de jogo, pois as regras olímpicas assim o determinavam. A zona coberta é assim um anel com 45 metros de vão suspenso desde o anel periférico na direcção do centro. [1]

## O "AQUATIC CENTER" DO "LINDSAY PARK" DE CALGARY.

Se formos mais precisos na aplicação de uma terminologia, o Aeroporto de Djedda ou o Estádio Olímpico de Roma são "toldos" e não edifícios, já que não constituem envólucros fechados, em parte porque foram construídos em climas quentes. Não demonstram todas as potencialidades térmicas das telas. No Aquatic Center do Lindsay Park (fig. 3.24.) em Calgary, Alberta, um complexo de piscinas terminado em 1983, David Geiger e David Campbell provam que as telas podem ser ao mesmo tempo translúcidas e manter o calor acumulado e assim dar abrigo em climas frios. [3] Nesta cobertura existem quatro camadas de tela de Fibra de Vidro / PTFE (Sheerfill II - Chemfab), com isolamento interior translúcido, suportadas por um arco metálico de 128 metros. Durante o dia a iluminação natural é suficiente para a utilização do edifício sem apoio de luz artificial, bem como existem condições para o crescimento de vegetação. "A tela do Lindsey Park também tem boas capacidades de isolamento acústico; a fina barreira de vapor plástica abaixo do isolamento conduz o som para a tela "Sheerfill" onde é absorvida". [3]

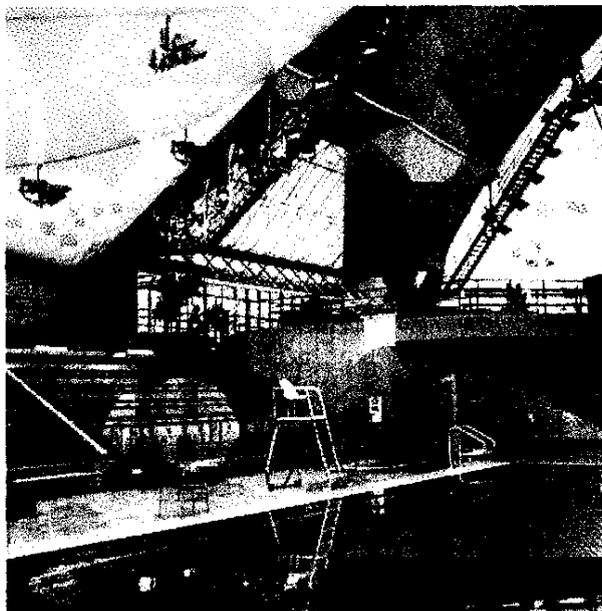
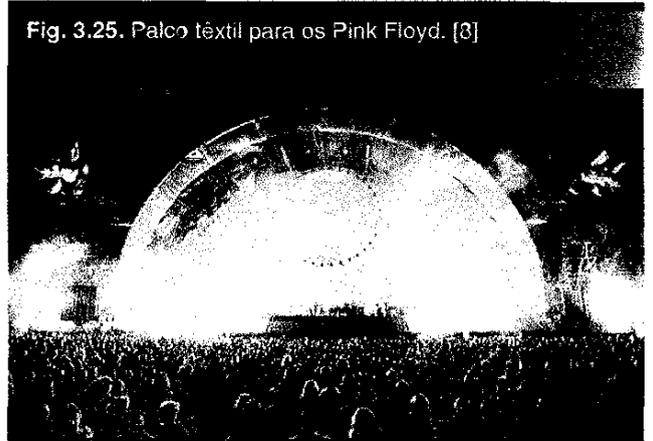


Fig. 3.24. O "Aquatic Center" do "Lindsay Park" de Calgary [3]

Os espectáculos constituem uma área onde as coberturas de telas arquitectónicas têm demonstrado uma grande implementação ao longo da história, desde o teatro aos circos, pelo que têm sido largamente testadas em várias obras realizadas. Com estruturas desmontáveis, devido à necessidade de flexibilidade funcional que na maior parte das vezes é exigida, baixo custo e facilidade de montagem e transporte, as construções têxteis permitem responder a fenómenos flutuantes ou quando não podemos prever utilizações futuras. [18] Estas salas de espectáculos poderão revelar-se ultrapassadas em pouco tempo, por excesso ou falta de lugares ou ser substituídas por outras, apenas pelas flutuações de modas. [18] Actualmente, o uso dos têxteis, especialmente em coberturas suspensas, deve-se também à procura de uma imagem contemporânea. As características acústicas que se podem conseguir das telas, além das cenográficas, são também particularmente interessantes. O arquitecto Mark Fisher em conjunto com o engenheiro Jonathan Park têm projectado estruturas de palco provisórias para concertos de música Pop para vários grupos conhecidos e destinados a grandes audiências.

Fig. 3.25. Palco têxtil para os Pink Floyd. [8]



[8] A espectacularidade que estes concertos pretendem transmitir incluem necessariamente, além dos efeitos especiais de som e luz, um palco de grande dimensão e impacto visual, pelo qual é vulgarmente feita a utilização de têxteis e estruturas metálicas. Para o concerto "The Wall" dos Pink Floyd, que teve lugar na Potsdamer Platz de Berlim em 1990, foram utilizados bonecos gigantes de tela insuflada suspensos no cimo de gruas móveis. [8] Para o "Division Bell world tour", também dos Pink Floyd, foi utilizada uma estrutura têxtil para cobrir o palco, cujo efeito seria impossível de obter com outro tipo de material, pelo menos num tempo de montagem, transporte e custo reduzidos. [8] (fig. 3.25.) O "U2 Zoo TV tour" que como o nome indica foi apresentado pelo grupo U2, percorreu a Europa e a América do Norte com um palco monumental composto por várias estruturas metálicas, com alguns elementos cenográficos de tipo teatral, como os engradados que suportavam as telas de projecção e gruas com carros suspensos no ar [8]. Estes exemplos são reveladores do papel que as telas têxteis podem desempenhar na concepção de espectáculos e uma prova de que a arquitectura efémera pode ser uma resposta individualizada a um determinado programa, com a vantagem de poder ser reinstalada várias vezes em diferentes locais como o Pavilhão Carlos Moseley (fig. 3.26.) (Anexo A12).



A tela aqui utilizada é de Poliéster / PVC, com 1,6 mm de espessura e suspensa em braços de gruas móveis. As telas suspensas são excelentes para reflectir o som e especialmente indicadas para o conduzir a sítios definidos. As propriedades anticlásticas das coberturas têxteis suspensas, quando devidamente estudadas, provocam a difusão do som, o que permite aos músicos ouvirem-se uns aos outros, evitando que haja sons inadvertidamente sobrepostos em intensidade, a outros. [3] No Cynthia Woods Mitchell Center (fig. 3.27), a superfície da tela, devido à sua forma, projecta o som para a audiência, reduzindo a necessidade de amplificação, mesmo para as pessoas que se encontram fora da zona coberta. [3] De facto, os planos iniciais e orçamento previam uma estrutura adicional para projectar o som, que não chegou a mostrar-se necessária. Luz e som levam a mesma direcção envolvente no interior e projectam-se para a audiência. A forma, a estrutura e a função conseguem-se assim com um só material. [3]

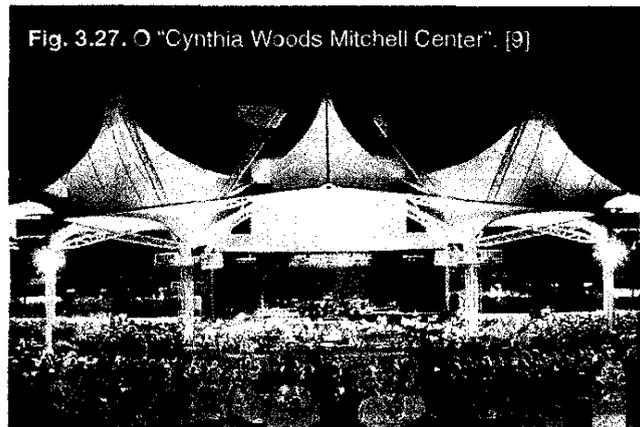
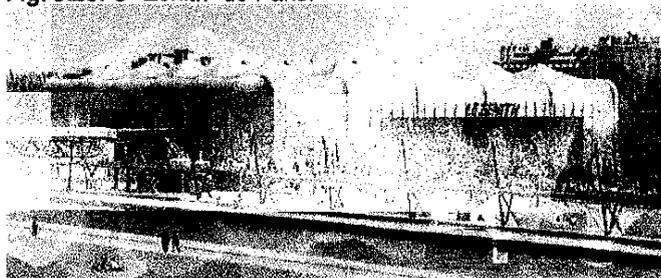


Fig. 3.28. O "Zénith" de Paris.



As telas têxteis são também adequadas a estruturas de carácter mais definitivo e em espaços totalmente encerrados, como os "Zénith" de Montpellier e de Paris. (fig. 3.28) (anexo A13) Frei Otto projectou em 1968 uma cobertura para um mosteiro em ruínas na Alemanha, que tem a particularidade de ser conversível, podendo ser utilizado como teatro ao ar livre ou coberto. A manobra de cobrir ou descobrir o recinto realiza-se automaticamente, por motores eléctricos e demora aproximadamente 4 minutos, na sequência da figura 3.29. [22] A área coberta tem 46 por 31m.

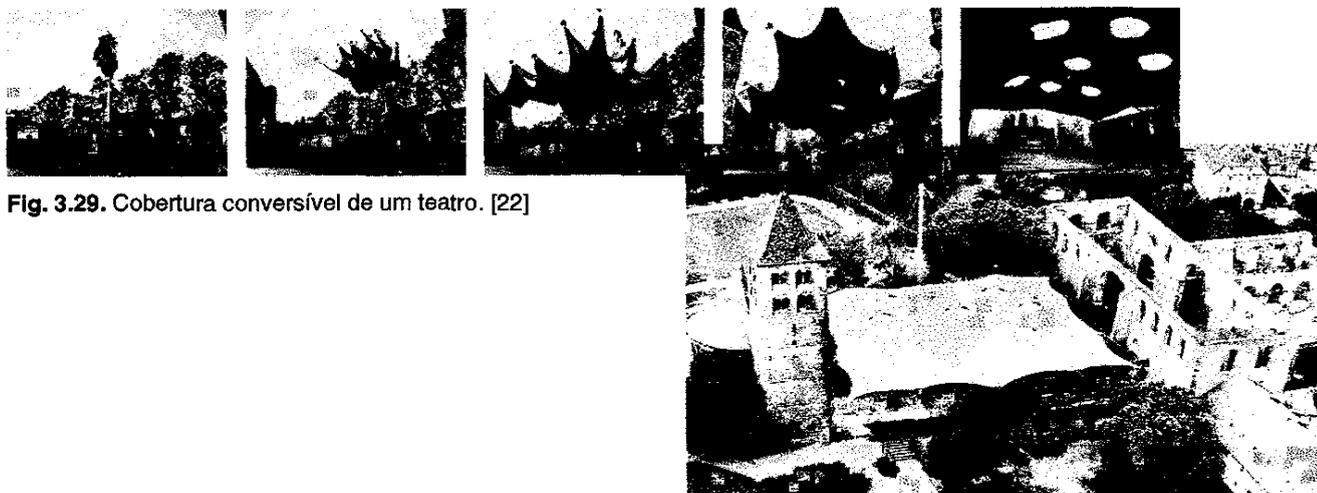


Fig. 3.29. Cobertura conversível de um teatro. [22]

## A COBERTURA DO TEATRO ROMANO DE NIMES.

No final do séc. I d.C., os Romanos construíram em Nimes um anfiteatro de forma elíptica, com cento e vinte por noventa metros e capacidade para 18.000 espectadores. (fig.3.30.) Em 1987, a Câmara Municipal de Nimes decidiu cobrir este sazonalmente, de modo a transformá-lo no Inverno, em sala de espectáculos musicais. Foram

convidados os arquitectos Finn Geipel e Nicolas Michelin que propuseram uma cobertura invisível desde o exterior. [18] Essa cobertura não poderia de nenhum modo entrar em conflito com o Monumento e tinha de ser facilmente desmontável e armazenável, de tal forma que, durante o Verão, o edifício recuperasse totalmente o seu aspecto normal. Conceberam assim uma estrutura têxtil pneumática, tipo "almofada" (fig. 3.31.), de 90 por 60 m, em tela de Poliéster / PVC. [18] Na superfície interior, a almofada é estabilizada por uma rede de cabos que suportam também uma estrutura para iluminação técnica. A fachada oblíqua que compõe o anel periférico é preenchida por lâminas de policarbonato transparente. Esta fachada permite uma visão desde o interior sobre a parte não coberta do anfiteatro, e dispõe dum sistema de abertura mecânica das lâminas. [18]

Fig. 3.30. O teatro Romano de Nimes. [13]

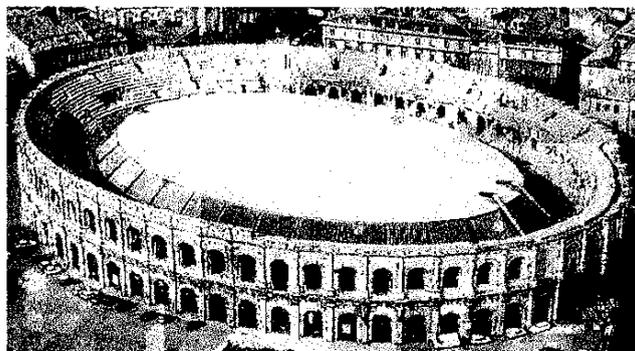
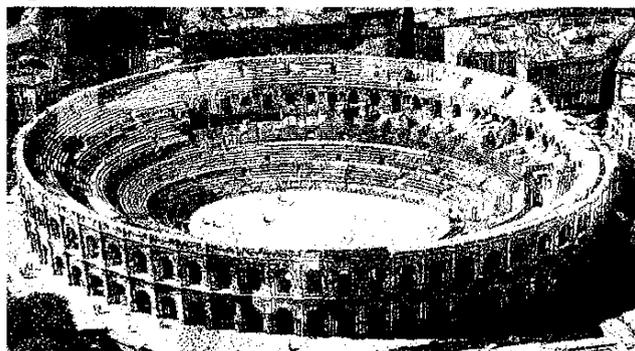
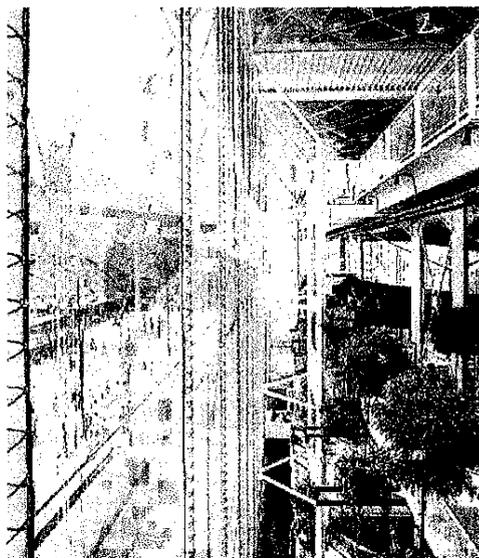


Fig. 3.31. A cobertura do Teatro Romano de Nimes [13]

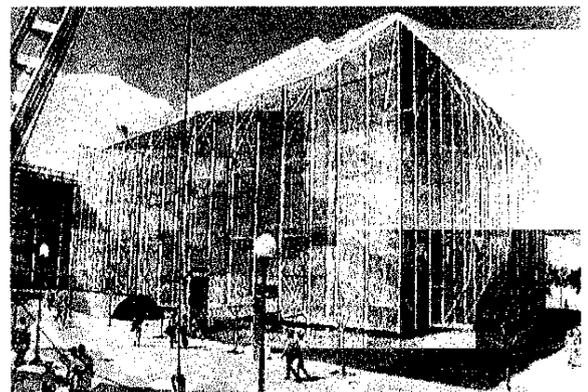
A arquitectura de exposições e feiras é uma área onde muitas vezes a qualidade estética das construções têxteis tem sido relegada para segundo plano, talvez pelo carácter transitório destas e por serem entendidos como objectos e não como edifícios. [8] Se alguns produtos, por terem um tempo de vida limitado, são produzidos da forma mais económica possível, não cuidando o aspecto estético, o mesmo não deveria nunca suceder com a arquitectura de feiras e exposições que, apesar de na localização serem temporárias, o seu uso prolonga-se por bastante tempo, em outros locais onde podem ser instalados, e na imagem que deixam a quem os visita. Além disso, fazem parte de eventos normalmente lucrativos e de grande protagonismo, o que seriam razões mais que suficientes para que o investimento na qualidade do desenho fosse perfeitamente comportável e justificado, além dos custos de projecto poderem ser amortizados e mesmo absorvidos na repetição e produção industrial que possa existir.

**Fig. 3.32.** Pavilhão da Holanda- Interior. [cat]



As Exposições Internacionais são eventos de grande repercussão, onde num curto espaço de tempo surgem uma diversidade de projectos de diferentes arquitectos e diferentes identidades culturais e tecnológicas e servem de palco à realização das mais vanguardistas construções e métodos construtivos. [8] Paris viu a construção da Torre Eiffel ser feita por ocasião da Exposição Mundial de 1889 [23] e em Londres foi realizado o Palácio de Cristal na "Great Exhibition" de 1951. [23] Não é assim de estranhar que, desde a Expo 67 de Montreal, tenham surgido coberturas têxteis técnica e formalmente inovadoras, em várias Exposições relevantes. Frei Otto introduziu a primeira construção

têxtil nas Exposições Universais, com o Pavilhão da Alemanha em Montreal. (fig. 4.12.) (anexo A6) [8] Na seguinte exposição, a Expo 70 em Osaka, foi construída a maior estrutura pneumática até essa data, o Pavilhão da Fuji (fig. 4.10.) [8] A Expo 92 de Sevilha, foi uma exposição onde a arquitectura têxtil teve bastante presença e onde se pôde assistir a diversas propostas de sistemas "inteligentes" passivos e activos de controle ambiental, alguns dos quais têxteis, sendo apresentados alguns exemplos no anexo A14. O Pavilhão da Holanda, apesar de não ser uma construção têxtil, trata-se dum edifício "inteligente" com têxteis. (figuras 3.32. e 3.33.) Consiste numa estrutura metálica, cujas fachadas são superfícies

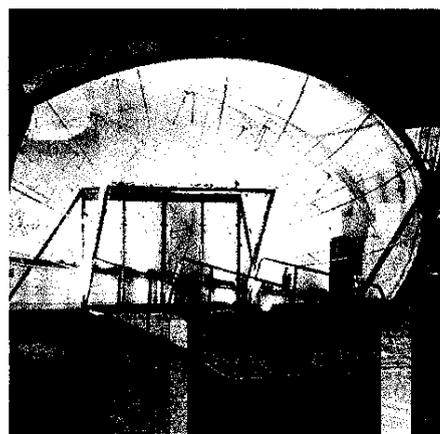
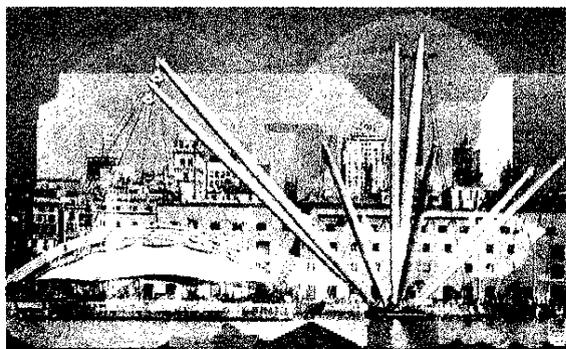


**Fig. 3.33.** Pavilhão da Holanda-Exterior [cat]

planas em tela de rede aberta "Twaron". Comporta um sistema de controle ambiental activo, que consiste em água permanentemente a escorrer através da tela nas fachadas exteriores e cuja evaporação provoca o arrefecimento interior (Desert Cooling System) [catálogo Verseidag – Indutex].

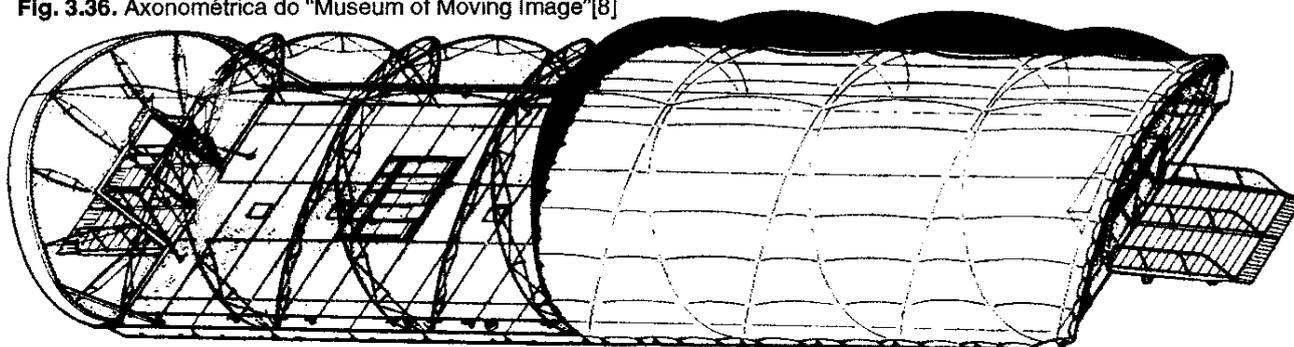
Vários exemplos poderiam ser aqui apresentados, porque a actividade da arquitectura têxtil tem incidido bastante nesta área. Parecem-nos bastante representativos o Gran Bigo de Génova, uma cobertura suspensa numa estrutura de grandes dimensões, construída no porto de Génova, por ocasião duma Exposição Internacional em 1992 (fig. 3.34.) e o Pavilhão para o "Museum of Moving Image". Em 1993, foi encomendada ao "Future Systems", uma cobertura móvel para ser utilizada como Pavilhão de cortesia para o "Museum of Moving Image". (fig. 3.36.) Previsto para ser inicialmente colocado ao pé do Rio Tamisa, em Londres, foi concebido para poder facilmente ser desmantelado ou recolocado noutra local em apenas dois dias por seis pessoas, como uma alternativa económica e esteticamente mais interessante do que os vulgares pavilhões de aluguer. A sua estrutura consiste numa série de arcos em vigas metálicas ligeiras reforçadas por cabos, unidas em alternância pela parte superior e pela base de modo a constituírem um fole que se pode encolher ou estender, servindo de suporte a uma tela de PTFE translúcida. Esta estrutura desenvolve-se sobre uma plataforma nivelada de aço e alumínio, com pavimento em contraplacado sob o qual se localizam as infra-estruturas de iluminação e ventilação. A entrada faz-se pelos extremos, através de portas normais de vidro inseridas numa película transparente (fig. 3.35.). [8]

**Fig. 3.34.** O "Gran Bigo" de Génova [cat Cannobio].



**Fig. 3.35.** "Museum of Moving Image"-Entrada[8]

**Fig. 3.36.** Axonométrica do "Museum of Moving Image"[8]



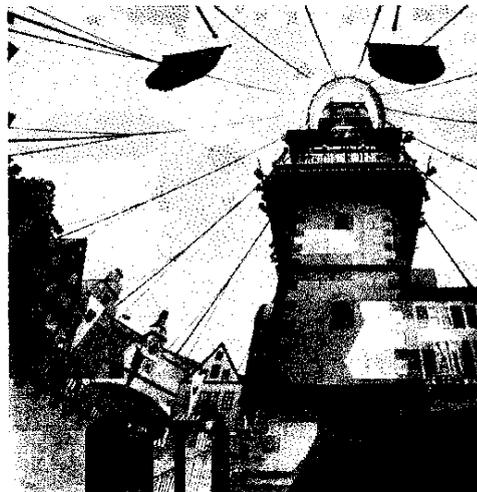
Em anexo, referimos duas coberturas, o Centro de Convenções de San Diego (anexo A15) e o Pavilhão Comemorativo dos 700 anos da Fundação da Suíça. (anexo A16)

Apesar de não serem conhecidos muitos exemplos de estruturas têxteis com a função de albergar espaços comerciais, esta não deixa de ser uma área em que a sua utilização é adequada, por diversas razões. Este tipo de comércio tende eventualmente a sofrer transformações, em dimensão e em características funcionais, em prazos relativamente curtos. A construção dum centro comercial numa área relativamente próxima a outro ou o crescimento rápido das cidades que podem absorver áreas ocupadas por estes, são factores que podem tornar excessivamente onerosa a manutenção de comércio em ocupação extensiva. Comparando com uma construção metálica tradicional, em que normalmente são realizados os centros comerciais, as vantagens duma construção têxtil residem particularmente no seu baixo custo de construção para grandes vãos e na grande flexibilidade de uso (baixo custo de montagem e desmontagem) além duma imagem inovadora e atractiva. Para uma determinada cadeia de supermercados, as migrações populacionais podem trazer uma grande variação na quantidade de clientes para as diferentes áreas de influência dos seus espaços comerciais, pelo que a capacidade de alteração das dimensões, por acréscimo ou por subtracção, constitui uma fonte de rentabilização. A iluminação natural e conseqüente economia de electricidade, trazem a vantagem acrescida da diminuição dos gastos associados com a climatização (no Verão a produção de calor pelas lâmpadas traz um acréscimo na necessidade de arrefecimento).

**Fig. 3.37.** "Department Store" na Califórnia [9]



Um exemplo concreto é o "Bullocks Fashion Island Department Store", (fig. 3.37.) projectado pelo arquitecto L. Gene Zellmer com o apoio de Horst Berger, realizado em 1981 em San Jose, Califórnia, uma cobertura de arcos de deformação, composta por oito módulos.



**Fig. 3.38.** Centro Comercial no Japão. [32]

**Fig. 3.39.** Axonométrica explodida de Centro Comercial no Japão. [32]

Outro exemplo dum centro comercial com uma cobertura têxtil é o "Sanrio Phantasiens Shops", (figuras 3.38. e 3.39.), projectado por Kazuhiro Ishii em Funabishi no Japão e construído em 1988. Trata-se duma cobertura simples, de forma tubular cónica que se desenvolve à volta de uma torre central e cobre um pátio com referências a uma cidade medieval do Centro da Europa.

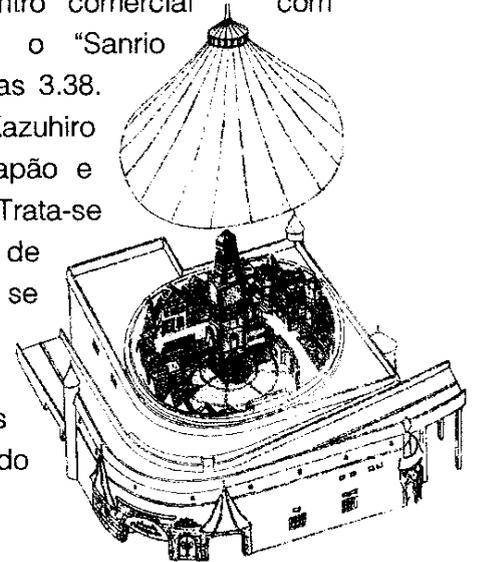


Fig. 3.40. Pavilhão Africano do Ashboro Zoo [9]



Esta é uma área particularmente adequada à construção de coberturas têxteis e coberturas suspensas em geral, já que a necessidade de grandes áreas de "envidraçados", torna estas construções bastante menos onerosas do que quando utilizadas soluções doutro tipo, como metal e vidro. Existem contudo poucos exemplos, principalmente porque só actualmente começam a existir no mercado películas totalmente transparentes<sup>7</sup>. Antes da introdução das películas em construção, optava-se por telas de base tecida, e podemos

apresentar como exemplo o Pavilhão Africano do "Ashboro Zoo" na Carolina do Norte, (fig. 3.40.) uma cobertura suspensa concebida por Horst Berger [9].

#### JARDIM ZOOLOGICO DE MUNIQUE – PAVILHÃO DOS LEÕES.

Esta cobertura não é realizada em tela têxtil, mas em película de ETFE<sup>8</sup> de marca "Velaglas". (fig. 3.41.) Não é propriamente uma estufa de plantas, mas serve principalmente para abrigar animais de clima quente, (leões), num país de clima relativamente frio, a Alemanha.



Fig. 3.41. Pavilhão dos Leões no Zoo de Munique. [cat]

<sup>7</sup> Como as películas "Velaglas" da Koch Hightex que têm transmissibilidades de até 92%.

<sup>8</sup> ETFE é um copolímero resultante da ligação de monómeros de etileno e tetrafluoretileno.

Os escritórios e os espaços de trabalho ou de estudo em geral são uma área possível para a utilização de coberturas têxteis, nomeadamente pelas suas propriedades de translucidez. Um exemplo é a fábrica de mobiliário Wilkhahn, na Alemanha, desenhada por Frei

Otto, onde o espaço interior das oficinas é compartimentado em quatro pavilhões de 400 m<sup>2</sup> cada, dando uma atmosfera de pequenas oficinas, mais do que de uma fábrica. (fig. 3.42.)

As coberturas são realizadas em estrutura de lamelado de madeira, e revestimento em tela



Fig. 3.43. Fábrica em Lessay [13]



Fig. 3.42. Fábrica Wilkhahn. [cat]



de Poliéster / PVC, "Trevira High Tenacity". [catálogo da Hoechst]. A iluminação de zonas específicas dos edificios industriais, como pátios interiores, sendo as restante áreas realizadas com materiais e sistemas construtivos mais tradicionais, é uma solução relativamente comum, como numa fábrica em Lessay, França. (fig. 3.43.) Um projecto representativo, com uma atitude relativamente semelhante, mas mais "espectacular", é o "Schlumberger Cambridge Research Centre", (fig. 3.44.), um projecto de Michael Hopkins concluído em 1992. Trata-se dum centro de investigação para apoio de actividades ligadas à pesquisa de petróleo. [24]



Fig. 3.44. "Schlumberger Cambridge Research Centre" [24]

## CENTRO DE INVESTIGAÇÃO QUÍMICA EM VENAFRO.

Este laboratório para um centro de investigação química industrial, localizado 73 Km a Norte de Nápoles, foi projectado por Philippe Samyn. A primeira condição programática para este edifício era a flexibilidade, já que o dono não queria ficar limitado por uma construção que não pudesse acomodar experiências futuras de grande escala. [3] A solução de Samyn foi uma tela de “deformação” por arcos metálicos. (fig. 3.45.) Com as dimensões máximas de 85x32x15m, foi concebida para que pudesse ser construído em seis meses, e de facto, iniciou-se em Julho de 1990 e estava concluída oito meses depois. Dentro da estrutura existem módulos administrativos e laboratoriais móveis, que podem ser reorganizados sem grande dificuldade dentro do espaço livre interior, de três pisos. Samyn redefiniu o conceito de “planta livre”, em vez de um edifício grande e pesado com separações móveis, realizou um contentor em tela, amplo, com salas móveis no seu interior. [3] A tela branca, fornece sombra face ao sol quente do Sul de Itália. Explorou a translucidez da tela numa forma curiosa, orientando o edifício a Nascente – Poente e transformando os arcos num gigantesco relógio de sol, podendo assim os ocupantes observar a deslocação do sol pelo movimento da projecção da estrutura metálica na tela. [3] As entradas de ar nos extremos do edifício ventilam e arrefecem as instalações e a forma oval ajuda à circulação de ar. Samyn colocou o edifício no centro dum lago, e assim, o ar que entra no edifício vem arrefecido pela evaporação da água. Além disso, o lago trás segurança acrescida ao centro de pesquisa, tornando difícil o acesso sem ser pelas entradas. Finalmente, o local é célebre pela actividade sísmica, o que também favorecia esta solução. Samyn estima que a cobertura pese cerca de 15 Kg por m<sup>2</sup> e é capaz de suportar cargas de 150 Kg por m<sup>2</sup>. [3] Os arcos não são perpendiculares ao solo, mas colocados em leque e estabilizados por seis cabos longitudinais em tracção. Os cabos e os arcos constituem uma estrutura autoportante, não dependendo da tela para o seu equilíbrio. Samyn admite pôr em segundo plano questões técnicas de Engenharia, por razões funcionais e estéticas. Os arcos metálicos, por exemplo, têm uma secção triangular e a escolha técnica mais lógica seria colocar o vértice da secção triangular para dentro e pendurar a tela deste ponto interior. Mas ele optou, por razões estéticas, por inverter a viga, colocando o vértice para cima e pendurando a tela na base da secção triangular. “O edifício de Venafro é interessante, não só pelas suas características formais e funcionais, mas também por ser uma obra de iniciativa privada”. [3]



Fig. 3.45. Centro de Investigação química em Venafro [cat canobbio]

A principal característica deste tipo de construções, diz normalmente respeito à necessidade de grandes vãos livres, pelo que as soluções têxteis podem ser realmente competitivas neste tipo de obras. Para proteger "Dirigíveis" durante a 1ª Guerra Mundial, foi criada uma estrutura com 82m de vão, que se podia montar e desmontar facilmente, seguindo o esquema da figura 3.46.

Durante a 2ª Guerra Mundial, a USAAF utilizava também um hangar desmontável para aviões. (fig. 3.47.) Um hangar recentemente construído em Munique-Riem, consiste numa série de pórticos rectangulares metálicos, de secção triangular, de onde se suspende uma tela de Poliéster / PVC. (fig. 3.48.)



Fig. 3.48. Hangar em Munique-Riem (catálogo Hoechst)

Além da máxima rentabilidade de custos, a opção por esta tela deveu-se também ao seu comportamento ao fogo. Sendo combustível, vai permitir que as chamas a destruam e os fumos não se acumulem no interior, o que constitui um factor de segurança, no critério das autoridades a quem competia a aprovação. [catálogo Hoechst]



Fig. 3.46. Hangar para Dirigíveis [8]

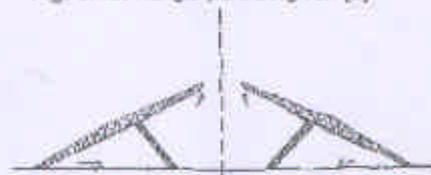


Fig. 3.47. Hangar da USAAF [8]



#### A COBERTURA INDUSTRIAL DO B.O.P.

O objectivo apresentado em 1986 pelo Departamento de Arquitectura da Air France a alguns projectistas, consistia em conceber uma cobertura de 30.000 m<sup>2</sup> para um armazém denominado B.O.P. (Bâtiment d'Ordonnancement des Palettes), [18] com uma imagem que a demarcasse dos restantes edifícios industriais da área. A proposta do Grupo Arcora, uma cobertura têxtil adaptada às condições a respeitar, foi a escolhida em Janeiro de 1987. (fig. 3.49.) A necessidade de criação da dupla curvatura invertida, levou à concepção de pórticos poligonais em Y. [18] A cobertura foi dividida em superfícies autónomas de menos de 300 m<sup>2</sup> e o número de subcomponentes de cada conjunto reduzido ao mínimo. Foram tomadas medidas anticorrosão, por galvanização dos elementos metálicos e aplicação dum tratamento epoxy-uretano, além da utilização de cabos em aço inoxidável de qualidade 316 L (tipo marítimo). [18]

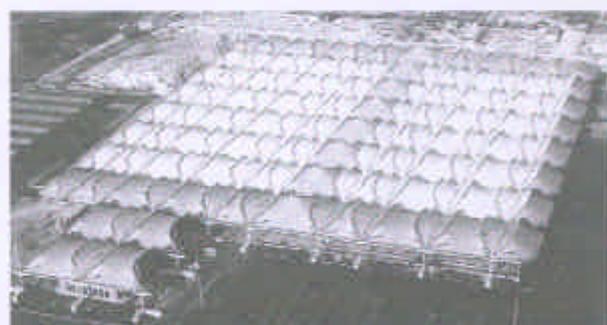


Fig. 3.49. Cobertura do BOP [18]

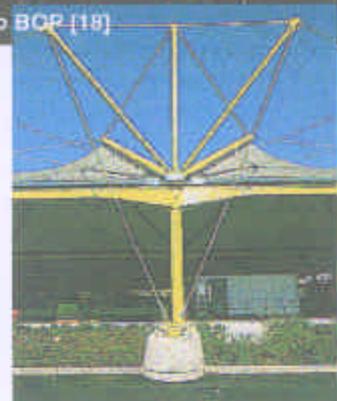
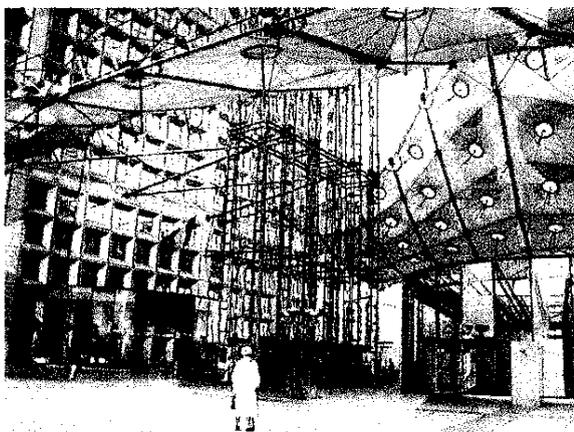


Fig. 3.50. As "nuvens" do Arco de "La Défense".



A classificação que se pretende fazer aqui de "simbólicas", diz respeito às construções têxteis onde a protecção ou a funcionalidade constituem aspectos menos importantes do que a imagem e as referências sugeridas. No caso de espaços religiosos, as características de luminosidade muito particulares que as telas têxteis podem dar a um espaço, poderão de certa forma constituir um interessante e sugestivo ambiente de espiritualidade como nos guarda-sóis de

Bodo Rasch para os pátios da Sagrada Mesquita do Profeta em Medina (fig. 6.15.), ou o caso da Good Shephard Lutheran Church de Fresno na Califórnia, projectada pelo arquitecto L.Gene Zellmer. Um exemplo que podemos considerar como de "simbólico" são as "nuvens" do Arco de "La Défense", em Paris. (fig. 3.50.) (anexo A17)

#### O "MÉMORIAL DE LA DÉPORTATION".

Um exemplo contemporâneo de estrutura têxtil plana de grande dimensão é o "Mémorial de la Déportation", (fig. 3.51.) uma construção efémera que foi utilizada apenas durante 45 dias. Sendo projectada por Françoise Jourda e Gilles Perraudin em 18 dias e montada em 96 horas por ocasião de um processo contra Klaus Barbie em Lion, [18] era composta por um embasamento tipo galeria em placas de betão, necessárias ao equilíbrio estático da obra. As telas que compunham os planos superiores com 1600 m<sup>2</sup> de superfície, completavam uma forma de cubo com lados iguais e tinham como suporte uma estrutura metálica fixa ao betão do embasamento. [18]

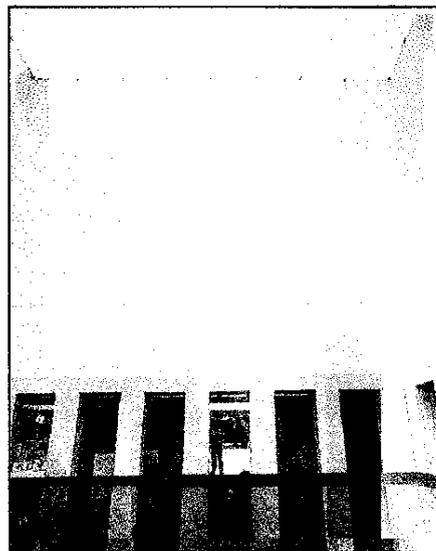


Fig. 3.51. "Mémorial de la Déportation". [18]



A ficção científica pode ser vista como a história do futuro. Não sendo rigorosa, pelo menos representa as esperanças e medos dos que a escrevem, mas pode também ser vista como uma extrapolação da ciência actual, como trabalho experimental, que mais do que fazer a previsão do futuro, o vai mesmo construindo pela negação do óbvio e pelo constante desafio das ideias pré-concebidas. [8] As arquitecturas utópicas e virtuais são uma vertente da ficção científica e estão actualmente a despertar bastante interesse em algumas publicações internacionais. (vêr anexo A18) [8] Aquilo que fundamentalmente distingue a arquitectura ou o design de equipamento e de certa maneira as limita, se as compararmos com outras artes, como a pintura e a escultura, é o facto de serem "artes públicas", onde a função e certos aspectos humanos como a ergonomia se têm de sobrepor aos aspectos puramente estéticos. No entanto, a arquitectura estende-se hoje a certas áreas, onde dificilmente se pode fazer esta distinção relativamente às artes plásticas. Desde projectos puramente teóricos, a cenografia para filmes, a espaços virtuais realizados em computador, a jogos de vídeo e na Internet, vivemos hoje rodeados de "arquitectura" não habitável, concebida como formas sem conteúdo.

Um novo tipo de actividade arquitectónica surgiu nos anos 60 em diversos lugares do mundo, mas especialmente na Grã-Bretanha e nos Estados Unidos, no seguimento do movimento Pop. Certos grupos de "activistas" culturais, compostos não apenas por arquitectos mas também por outros artistas, como designers, pintores e escultores, procuravam a interdisciplinaridade e a rotura com os conceitos tradicionais de arquitectura como objecto construído. Um destes grupos, o Archigram, apareceu no final dos anos 60, composto na maior parte por arquitectos recém formados, entre os quais se contavam Peter Cook. [8] Archigram passou a ser o nome da revista editada para divulgar artigos de crítica arquitectónica mas também e especialmente para editar os trabalhos conceptuais e experimentais dos seus autores. Propostas para pequenos habitat pessoais foram sugeridas, destacando-se o "Cushicle" e o "Suitaloon" de Mike Webb, abrigos portáteis que uma pessoa poderia transportar às costas, como uma mochila. O "Suitaloon" (fig. 3.52.) era classificado pelo seu autor como "vestuário para habitar" e de facto, a própria utilização duma membrana têxtil insuflável, promove essa comparação. [8]

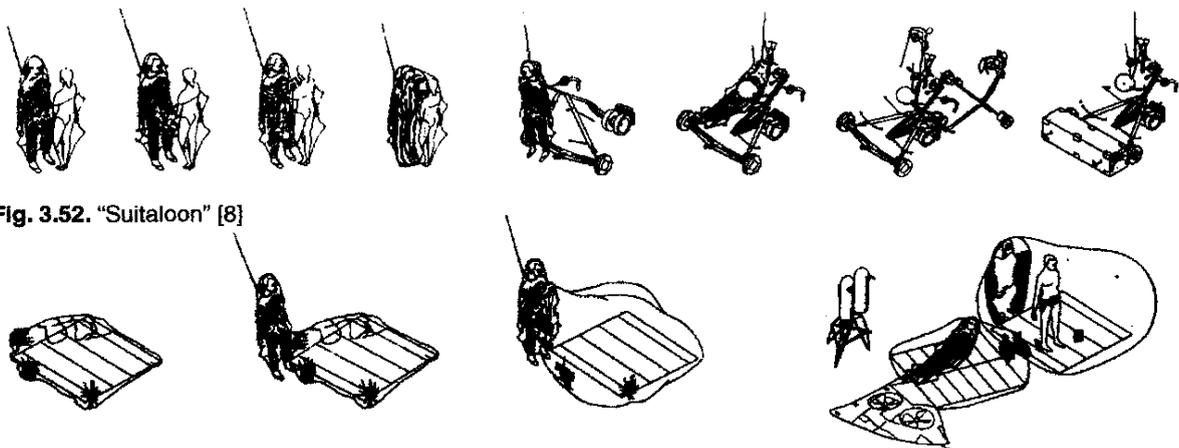
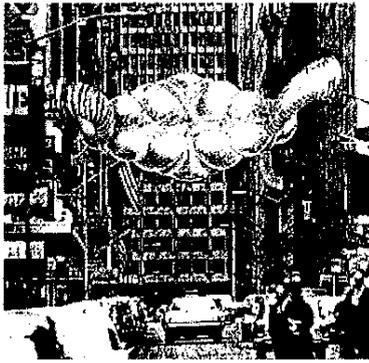


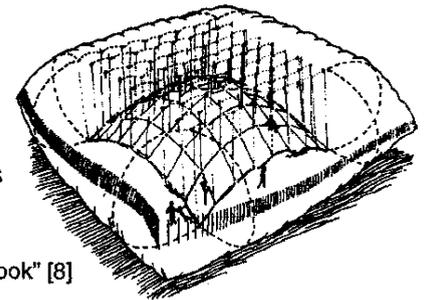
Fig. 3.52. "Suitaloon" [8]



**Fig. 3.53.** "Children-Clouds" [8]

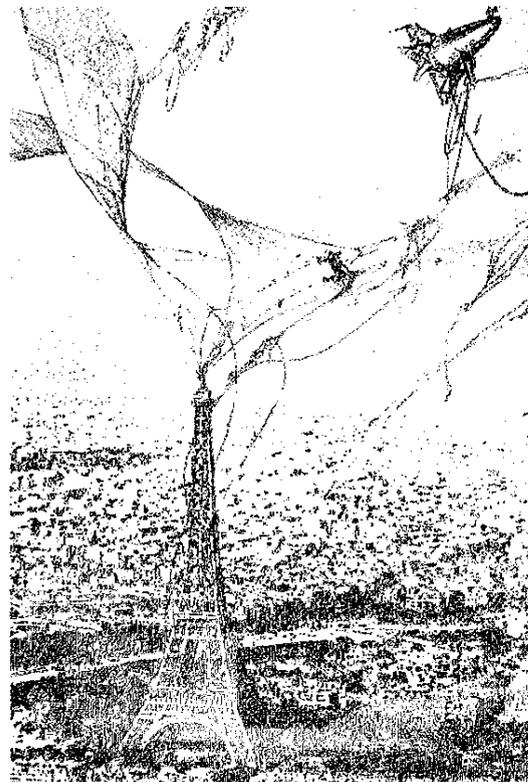
Os elementos do "Missing Link" de Viena, produziam ideias para estruturas desdobráveis e deformáveis com utilização de materiais têxteis. Os exemplos mais relevantes do trabalho destes são a "Fleder Housing", uma construção de tecido e materiais sintéticos suportados por perfis desdobráveis ligeiros e os "Children-Clouds", uma estrutura insuflável de forma orgânica, suspensa entre edifícios altos, que funciona como recreio para crianças, suspensas entre construções em altura. [8] (fig. 3.53.)

Nos Estados Unidos formou-se o grupo "Ant Farm", que trabalhou especialmente sobre estruturas pneumáticas, tendo inclusivamente produzido o "Inflatocookbook", um manual sobre estruturas móveis alternativas, pneumáticas. (fig. 3.54.) [8]



**Fig. 3.54.** "Inflatocookbook" [8]

Actualmente assistimos a um novo aumento do interesse pelas arquitecturas utópicas, o que se nota especialmente em certas tendências contemporâneas, tais como no desconstrutivismo, em alguns projectos de Daniel Libeskind, Coop Himmelbau ou Zaha Hadid. Lebbeus Woods é um arquitecto que se pode enquadrar neste movimento, se bem que ainda mais distante da prática, que tem concebido "imagens" com estruturas têxteis. A essência do seu trabalho é a ambição de criar uma nova forma de arquitectura baseada no indivíduo e na sua liberdade pessoal e não dependente das limitações e orientações impostas pela sociedade e pela funcionalidade. Mas isto não significa que os seus trabalhos estejam completamente afastados da construção verdadeira, pois as estruturas e materiais representados revelam a utilização de tecnologias actuais, mas apenas como ponto de partida e como elemento de referência à realidade, constituindo como que imagens surrealistas de arquitectura. No seu projecto "Aerial Paris" de 1989 (fig. 3.55.), ele coloca várias telas e cabos em suspensão amarrados à Torre Eiffel, criando uma ausência de gravidade, numa estrutura esvoaçante a flutuar com várias situações no espaço. [8]

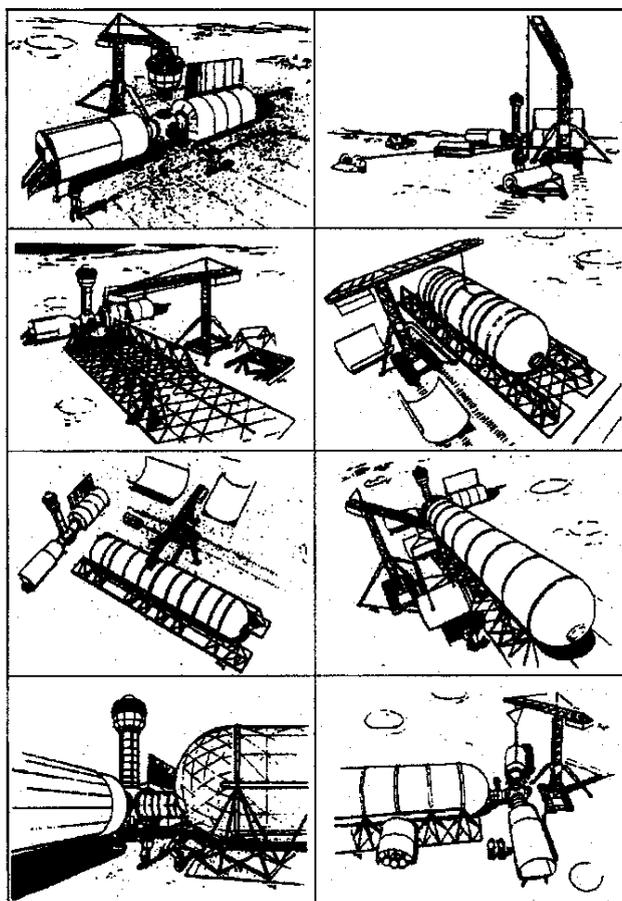


**Fig. 3.55.** "Aerial Paris" por Lebbeus Woods [8]

O campo das construções espaciais potencia o interesse que as estruturas têxteis e os materiais ditos "inteligentes" têm, já que esta é a área onde a pesquisa sobre estes temas se encontra sempre mais avançada. As propostas contemporâneas dividem-se em duas categorias:

- Estações móveis orbitais ou para viagens interplanetárias.
- Estações fixas a realizar na superfície da lua ou de outros planetas.

Em qualquer dos dois tipos, revelam-se no entanto essencial certas características comuns às construções móveis normais, mas com exigências superiores em termos de peso, resistência e volume transportável. São normalmente prefabricados com sistemas de encaixe de fácil montagem, resistentes a transportes demorados, desmontáveis, compactáveis e de manutenção relativamente fácil, de modo a serem evitados problemas que nestes casos seriam muito mais delicados que numa situação normal. As questões do peso e do volume têm, nas construções espaciais, uma enorme importância, pois uma redução de poucos quilos pode significar poupanças muito significativas, o que torna viável a utilização de materiais e sistemas que não podem pelo seu preço ser utilizados na construção civil. São obviamente os mais sofisticados abrigos que o homem concebe, pois



incluem, além da tripulação, todos os sistemas para a criação dum ambiente auto-suficiente em termos de oxigénio, pressurização e climatização além dos mantimentos e reservas. A utilização de materiais têxteis com alta tecnologia é actualmente feita em grande parte das construções espaciais, desde os fatos, aos painéis de células fotoeléctricas ligeiros, até às Estações espaciais propriamente ditas. Existem propostas da NASA para uma Estação planetária, composta de uma tela exterior que é insuflada dentro de um molde com a forma de um anel. [8] Uma segunda tela interior é posteriormente insuflada no interior desta, deixando uma caixa de ar entre as duas onde é injectado poliuretano expandido. [8] Os anéis construídos assim já na superfície do planeta são então associados, formando uma estrutura tubular modular. (fig. 3.56.)

Fig. 3.56. Estação planetária da Nasa [8]

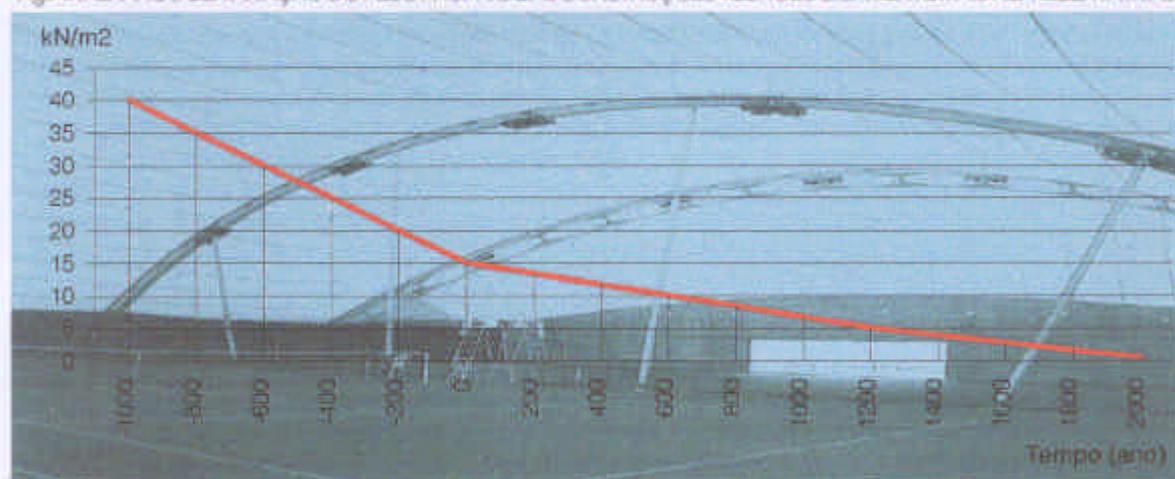
## C A P Í T U L O   I V   -   A   C O N C E P Ç Ã O

Neste capítulo é referida a especificidade associada à concepção das coberturas têxteis, nomeadamente de grande dimensão e os papéis do Arquitecto e Engenheiro neste processo. Tenta-se fazer uma classificação morfológica dos vários tipos de coberturas têxteis quanto à sua forma; como as formas de sela, tubulares, de deformação, etc. É também feita a apresentação dos diferentes métodos de pesquisa associados ao projecto, mais especificamente das estruturas suspensas, fazendo recurso nomeadamente a maquetas, CAD ou ambos. Finalmente, refere-se alguns cuidados especiais a ter com as estruturas têxteis quer durante o projecto (decidir o método de pré-esforço, moldes de corte da tela juntas), quer numa fase de assistência após a conclusão da obra (manutenção).

"We no longer believe in the monumental, the heavy and static, and have enriched our sensibilities with a taste for lightness, transience and practicality (...) We must invent and rebuild *ex novo* our modern city like na immense and tumultuous shipyard, active, mobile, and everywhere dynamic, and the modern building like a giant machine." Sant'Elia<sup>9</sup>

O peso próprio por metro quadrado de área coberta dos sistemas construtivos tecnologicamente mais representativos, tem vindo a diminuir ao longo da história da arquitectura. "Às construções dos Assírios, com um peso próprio de 40 kN/m<sup>2</sup>, sucedem-se as dos Romanos, com 15 kN/m<sup>2</sup>. No final da Idade Média, conseguiu-se chegar até aos 5 kN/m<sup>2</sup> nas catedrais Góticas<sup>10</sup>, ao que se seguiu algum retrocesso durante a Renascença. Foi especialmente após a revolução industrial (numa proporção muito maior do que até então), que se conseguiram estruturas substancialmente mais eficazes, com as construções de ferro. As estruturas metálicas do final do século XIX conseguiram chegar a 1 kN/m<sup>2</sup>, mas só as construções têxteis suspensas e pneumáticas conseguiram baixar ainda mais este valor, chegando inclusivamente aos 0,1 kN/m<sup>2</sup>." [1] A passagem de materiais e estruturas a trabalhar essencialmente à compressão, para estruturas em que grande parte dos esforços são de tracção, marca a diferença em termos de rendimento estrutural, dado pela relação entre resistência e peso próprio, que tem evoluído num gráfico em forma de hipérbole decrescente. (Fig. 4.1.) [1]

Fig. 4.1. GRÁFICO DE VARIAÇÃO DO PESO PRÓPRIO DAS CONSTRUÇÕES TECNOLÓGICAMENTE MAIS REPRESENTATIVAS



Isto deve-se, não apenas a uma evolução tecnológica que o permite (temos valores de isolamento equivalentes e estruturas mais resistentes com espessuras de parede e de estrutura muito menores), mas também derivado duma necessidade crescente de economizar meios e recursos, não só na matéria com que se constrói, mas também na maneira de construir, mais cuidada e especializada e logo mais rápida e precisa. Uma nova

<sup>9</sup> Citado por Robert Kronenburg em [8].

<sup>10</sup> Ezio Manzini no seu livro "A Matéria da invenção" referia também valores aproximados a estes: quatro toneladas para os Assírios, uma tonelada e meia para os Romanos e meia tonelada no período Gótico" [18].

corrente, a que se pode chamar de "Light-tech", [17] aposta na introdução de estruturas e materiais mais eficientes pela redução do peso e matéria, tais como as telas arquitectónicas.

Vários materiais têxteis têm vindo a ser aplicados em construção civil. Os exemplos mais conhecidos dizem respeito aos geotêxteis, às lonas com que são realizadas pequenas construções de carácter provisório, aos toldos, às alcatifas, às cortinas e aos estores. Casos menos "conhecidos", mas relativamente vulgares, talvez por serem menos visíveis, são os materiais de isolamento, de impermeabilização, de reforço para rebocos e de revestimento interior, essencialmente em Fibra de Vidro e Poliéster.

O tema central deste trabalho pretende-se que sejam os têxteis enquanto verdadeiros materiais construtivos, com características estruturais e nas potencialidades que podem trazer em termos de economia, quando utilizados em coberturas de tela. Tradicionalmente, as telas arquitectónicas estão conotadas como materiais de pouca durabilidade e resistência, o que actualmente já não é verdade. Além de poderem superar os 30 anos de vida útil, apresentam-se hoje como soluções viáveis e inclusivamente dotadas de mais valias, que podem em algumas aplicações ser aproveitadas de maneira muito mais eficaz do que soluções construtivas tradicionais. "O reduzido tempo de montagem destas e volume ocupado pelos materiais utilizados, permitem também a fácil desmontagem e replantação no mesmo ou noutra local, para uso efémero ou permanente, permitindo uma flexibilidade de uso do espaço coberto". [1]

Numa entrevista para a televisão, Frank Lloyd Wright definiu Arquitectura Moderna como: "não é uma Arquitectura feita no período moderno, mas antes uma arquitectura orgânica feita com forças de tracção". (citado em [3]) A tracção pura é seguramente a maneira mais eficaz de se utilizar um elemento estrutural fino (desde que utilizando um material apropriado, como o aço ou o próprio tecido no caso das coberturas têxteis). Um elemento sujeito a forças de compressão ou flexão, chega ao colapso muito antes do seu limite, devido aos elevados esforços interiores atingidos em algumas zonas, que são muito grandes relativamente às cargas aplicadas. [10] Os novos materiais têm tido uma evolução tremenda em termos de resistência à tracção, tornando-se inconcebível um aumento proporcional de resistência à compressão dos materiais para construção tradicional. Em terrenos pouco firmes ou em zonas de grande actividade sísmica, uma construção ultra leveira de tipo têxtil é, pela sua grande elasticidade e pouco peso, uma solução ideal pelo menor risco de abatimento comparativamente a uma solução tradicional. E mesmo que este se dê, mesmo por outras razões que não fenómenos sísmicos, como já tem sucedido em estruturas pneumáticas, os riscos de ferimento nos ocupantes são muito menores.[3]

"O objectivo tende a ser encontrar o peso próprio dos sistemas construtivos, através duma selecção racional e criteriosa dos materiais e dos sistemas, em função do tipo de esforços e das solicitações a que eles são submetidos" [18]. Desenvolve-se igualmente uma tendência que consiste em evidenciar a expressão arquitectónica dos sistemas estruturais. Contribui-se dessa maneira, através de estruturas cada vez mais ligeiras e recortadas, a

tornar claro e legível a estabilidade das construções e ao mesmo tempo aumentando a transparência, tendência que já havia surgido no Gótico com as catedrais, ou no século XIX com as construções de ferro e vidro. [18] Comparando uma estrutura têxtil em tracção com uma abóbada em tijolo, em que cada elemento é colocado em compressão e onde a estabilidade da estrutura se revela na consistência das peças e da argamassa de ligação, vemos que as principais vantagens das estruturas têxteis susupensas, residem no menor risco de colapso e de quase não dependerem para a sua estabilidade, da consistência dos materiais mas da sua resistência à tracção (com excepção dos mastros e traves). [3] “Enquanto os tijolos podem ser baratos na produção, durante a construção tornam-se, pelo seu peso, de aplicação demorada. O facto de serem opacos torna necessária a abertura de vãos, o que enfraquece a estrutura, ou obriga à colocação de iluminação artificial, mesmo para uma ocupação diurna. Possíveis alterações formais ou a deslocação da estrutura revelam-se operações impossíveis. Pelo contrário, uma tela têxtil é prefabricada e pode rapidamente ser erguida ou deslocada, pela sua ligeireza e rápida montagem”. [3]

Nas estruturas suspensas, os esforços actuantes são muito facilmente caracterizáveis e um material colocado para resistir à compressão não terá de sofrer esforços de tracção e vice-versa. São muito apropriadas quando se deseja utilizar o mínimo de matéria por razões funcionais ou mesmo por razões estéticas. “Ver uma estrutura em que todas as partes trabalham ao máximo da sua eficácia pode ser uma fonte de satisfação”. [10] Para muitos projectistas, a elegância conceptual centrada na evolução tecnológica, tornou-se a base duma estética que se baseia na fusão entre a estrutura e a pele; onde a forma, suporte, uso e os sistemas mecânicos se encontram todos integrados. Como frisou Z. S. Makowski “a grave recessão económica dos últimos dez anos, acentuou o interesse em estruturas mais eficientes”. [25] A rapidez com que a tecnologia e a demografia aumentam, torna os edifícios rapidamente obsoletos, pelo que se mostra interessante a capacidade de construção de edifícios com um custo inicial baixo, utilizando menos mão-de-obra, mas mais qualificada e com flexibilidade de utilização. Há ainda uma maior expectativa em torno dos materiais “inteligentes” para substituir os tradicionais materiais de “força bruta”. [3] Aparecem então com um novo impulso os materiais flexíveis, auto ajustáveis e até capazes de sofrer variações face a condições meteorológicas diversas, utilizados sozinhos ou compostos em sistemas híbridos, mais ou menos complexos, onde várias estruturas podem estar no mesmo lugar ao mesmo tempo, cada uma respondendo às solicitações quando necessitada, ou comportando-se neutralmente, se fôr mais adequado. “Estes novos ossos, peles, cérebros e músculos, podem-se combinar numa engenharia orgânica, para construir edifícios “inteligentes” que têm a capacidade de adaptação dos organismos vivos”. [3]

“Mais do que a evolução das tecnologias associadas aos materiais têxteis, era o desenho das estruturas que permitiam o aproveitamento da energia eólica nas velas das veleiros ou das pás dos moinhos de vento”. [8]

Um exemplo da importância do desenho na concepção das estruturas têxteis, era o caso das velas triangulares nas Caravelas Portuguesas, que permitiam navegar à bolina. Os juncos chineses (fig. 4.2.) tinham também essa particularidade e dispunham duma tecnologia de estruturas têxteis suspensas muito sofisticada. [9] Uma outra situação particular era a dos “clipper” na rota das Índias. Estes apresentavam velame de geometria definida, (por oposição às impostas pela deformação normal do material), obtida por um plano de corte e uma montagem das

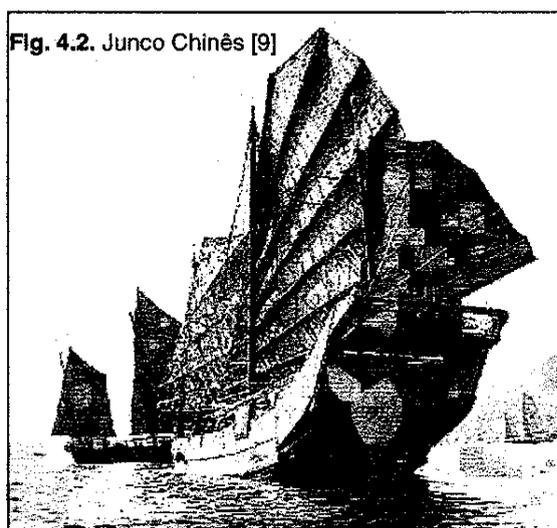


Fig. 4.2. Junco Chinês [9]

bandas do tecido em juntas paralelas, que tentavam responder mais à necessidade do estabelecimento duma superfície rigorosamente delimitada, do que propriamente às necessidades estruturais que estão na base do desenho das coberturas suspensas de tela. “Era a auto-adaptabilidade do material e a interação força / forma que permitiam recuperar o volume final das velas e assim, na elaboração destas, seguiam-se os conhecimentos empíricos e o ‘savoir faire’ dos mestres e não análises conceptuais sobre as propriedades das superfícies de dupla curvatura, como actualmente se faz para as coberturas têxteis”. [8]

Nos exemplos de arquitectura têxtil tradicional como a Tenda, o Tipi ou o Yurt, podemos observar que as suas formas não deixam de obedecer a um certo “critério”, se bem que não se possa falar de que eram concebidas segundo um “projecto”, no sentido actual do termo. A forma destas construções é fruto dum processo empírico de desenvolvimento do conceito base de abrigo, adaptado a um clima e a uma cultura, onde por vezes se introduzem sinais individualizadores, para o qual não se tornava necessário planear em termos de desenho, já que o conhecimento era transmitido por herança cultural. É um processo deste tipo o que ainda hoje está por trás da concepção de grande parte das pequenas coberturas têxteis, nas soluções com lonas em espaços de venda como feiras e mercados, na concepção de tendas e abrigos de emergência, de toldos comerciais, e outras situações em que os materiais têxteis utilizados são normalmente as lonas de fibras naturais, mais precisamente em algodão, cujo peso por metro quadrado é bastante elevado, tendo em conta a pouca resistência mecânica e durabilidade.

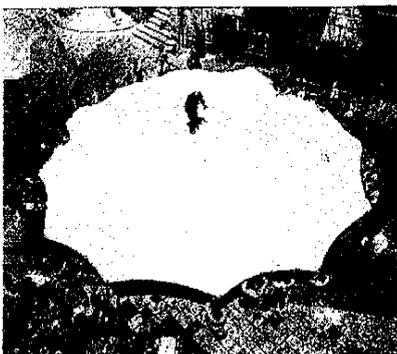
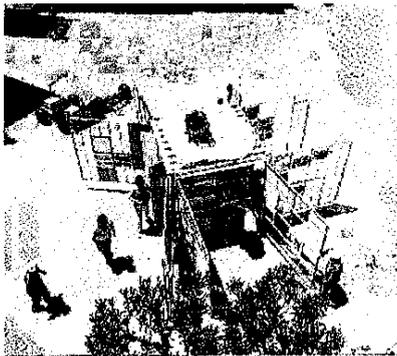
Se a arte e a técnica das construções têxteis tradicionais evoluía e era realizada sem o auxílio de técnicos especializados, [13] a grande tecnologia envolvida na realização das coberturas têxteis contemporâneas só é possível com a interdisciplinaridade e o trabalho em equipa de especialistas de diferentes áreas, num processo de permanente descoberta e inovação. Estes arquitectos e engenheiros, parecem utilizar a sua prática, experiências e estudos sobre o tema das estruturas ligeiras, como exercícios mentais que lhes dão maior abertura e lhes permite ser também pioneiros noutras áreas, no desenvolvimento de produtos e na investigação, como os estudos sobre biónica no caso de Frei Otto. [26] A ligação com a indústria e com a investigação tecnológica, nomeadamente pela exploração das capacidades limite dos materiais e novos sistemas constructivos, é também um factor que contribui para este processo de descoberta. As referências marítimas e aeronáuticas presentes nas estruturas de muitas coberturas têxteis e o trabalho paralelo que algumas empresas de materiais desenvolvem com os projectistas na divulgação e desenvolvimento de tecnologias são reveladores disso. O moderno projectista tem à sua disposição um grande conjunto de estudos, modelos e exemplos aos quais se pode referenciar. Muito se deve aos exemplos anteriores da história da arquitectura, contudo outras fontes de inspiração têm conduzido a diferentes orientações de projecto, como é o caso do estudo das estruturas orgânicas presentes na natureza – a biónica. Frei Otto dedicou-se ao estudo de estruturas orgânicas naturais e inspirou-se nestas para muitos dos seus trabalhos. Um exemplo concreto de como uma estrutura orgânica serve de inspiração a um produto de engenharia têxtil é o caso do Nomex, um painel “sandwich” flexível de alta resistência, com uma estrutura interior de meta-aramida em forma de favos de mel.<sup>11</sup> A teia de aranha é um outro exemplo. Trata-se duma estrutura suspensa e tanto a forma como a matéria que a compõe, pela resistência e elasticidade, têm sido alvo de estudo por Peter Rice e Fritz Vollrath, do departamento de Zoologia da Universidade de Oxford [27].

Um outro aliciente do trabalho inovador reside no interesse que pode suscitar em publicações, não só especializadas, mas também na imprensa de grande divulgação, junto do público em geral, o que de certo modo contribui para que a mensagem chegue a quem é muitas vezes responsável por um excessivo conservadorismo: o cliente. A maior parte das construções consiste na resposta a uma encomenda específica dum cliente ou dum grupo. Isto tem-se revelado muito restritivo, porque na grande maioria dos casos o cliente opõe-se à inovação ou tem uma ideia predeterminada muito forte, que nem sempre é a melhor, mas que força o projectista a ser menos criativo. É neste sentido que a publicação de trabalhos inovadores pode servir para ir modificando de certo modo o gosto dos clientes e utilizadores e torná-los mais receptivos a novas soluções estéticas e construtivas. [8]

---

<sup>11</sup> Nomex é a marca comercial da Du Pont para um produto com grande resistência a altas temperaturas e utilizado na engenharia aeronáutica e em desportos náuticos. (veleiros de competição e pranchas de windsurf)

Fig. 4.3. Laboratório de Reconstrução Urbana [8]



O trabalho de divulgação em campo pode ser ainda mais eficaz, como o prova o “Laboratório de Reconstrução Urbana” da UNESCO (fig. 4.3.), uma estrutura desdobrável com uma cobertura têxtil, que foi erigida pela primeira vez em Otranto, no Sul de Itália, em 1979. [8] Os autores do projecto, Renzo Piano e Peter Rice, criaram aquilo que eles mesmo chamaram de “laboratório móvel”, um ponto de encontro para residentes e projectistas da zona, onde estivessem expostas literatura e informação desenhada sobre técnicas de conservação dos centros históricos. A apresentação de casos concretos de bons restauros e intervenções, além do efeito pedagógico subentendido, pretendeu também funcionar como promotor da relação entre técnicos e clientes, neste caso os habitantes das casas degradadas. O facto de ser uma estrutura têxtil semiaberta e simples, como uma barraca de feira do livro, promove uma mais rápida ligação com a população que não é obrigada a “entrar” para ver.

O vanguardismo na arquitectura constitui sempre um sinónimo de rejeição da tradição, o que, para uma fase de mudança e transição numa sociedade, pode ser positivo e impulsionar o desenvolvimento, mas para um regime totalitário instituído, poderá ser considerada uma ameaça ao poder instituído e um foco para o desenvolvimento de contestação, sendo assim muitas vezes conotado como “oposição” ao regime. A experimentação sempre originou

a pesquisa de novos materiais e sistemas estruturais, o que se traduz em novas formas arquitectónicas. A “irrequietude” cultural tem por vezes o papel de abrir novas perspectivas, ou pelo menos conduzir à recusa sistemática do óbvio. Mas o processo de evolução cultural apresenta-se muitas vezes como um processo cíclico, pois o que já foi óbvio, poderá hoje em dia parecer inovador e vice-versa. O que importará mais ressaltar é que a tecnologia vai evoluindo dum forma mais ou menos constante, enquanto os hábitos e as modas obedecem a ciclos. A evolução real da construção só existe quando, durante a sua concepção, é feita uma aferição constante da tecnologia disponível, o que nem sempre acontece, pelo que por vezes não são os materiais mais adequados os utilizados na construção, mas sim aqueles que a moda ou os modelos exteriores ditam. E este fenómeno torna-se actualmente mais evidente, pela rapidez com que os intercâmbios culturais e tecnológicos se fazem, perdendo-se muitas vezes muitos elementos de uma herança cultural já depurada e sedimentada, substituindo-os por imagens importadas, não contextualizadas e sem que tenham passado por um período de adaptação e aferição, tornando-se mesmo chocantes e desadequados em termos funcionais, especialmente quando as referências formais não correspondem aos materiais utilizados.

Os dois únicos caminhos que nos parecem razoáveis são aqueles cujas pistas advêm ao mesmo tempo duma herança cultural consciente, bem como da verdade dos materiais e das funções a desempenhar. Poder-se-ia pensar que a experimentação ficava fora deste processo ou ficava limitada, mas o que se passa é exactamente o oposto. Novos materiais e sistemas estruturais sempre encorajaram a experimentação e a exploração de novas formas arquitectónicas. “Na sua procura de novos materiais e de novas técnicas de construção, os arquitectos e engenheiros civis contemporâneos com preocupações experimentais, exploram as possibilidades da interdisciplinaridade, estudando tecnologias de ponta associadas a áreas mais evoluídas como as da engenharia aeronáutica e da engenharia espacial no sentido de as poderem utilizar em áreas mais próximas ao homem comum, como a construção civil. Neste processo, as fronteiras na pesquisa de novas direcções têm de se manter abertas, com todas as possibilidades a serem exploradas”. [8]

A formação, tanto em Arquitectura como em Engenharia Civil, não abarca o estudo e a concepção de construções têxteis, daí que tenha surgido nalgumas faculdades, a formação de “superprojectistas”, os Arquitectos / Engenheiros, nomeadamente em Stuttgart na Alemanha, no IL (Institut für Leichte Flächentragwerke), onde existe uma formação especializada em construções suspensas e interdisciplinar nas duas áreas. [28] O que na maior parte das vezes acontece no desenvolvimento das coberturas têxteis, é que a um projecto inicial de um projectista não forçosamente especializado nesta área, se liga posteriormente para o desenvolvimento específico da estrutura têxtil, um Engenheiro especializado para poder conceber não só a estrutura de tela mas todos os acessórios, como as grandes rótulas, bielas, cabos e esticadores. Normalmente, a ideia e a forma inicial partem de arquitectos e o desenvolvimento da cobertura nos seus detalhes e cálculos estruturais devem-se a engenheiros especializados. Estes últimos, encontram-se muitas vezes ligados à empresa responsável pela construção da estrutura, que dispõe do “software”, dos equipamentos e da experiência necessários à sua execução, mas também ao cálculo. A grande complexidade de detalhes e conhecimentos, que a tecnologia da construção de estruturas de grande dimensão acarreta, implica que poucos arquitectos / engenheiros tenham conhecimento de todos os sistemas que compõem o edifício, pelo que normalmente as obras são realizadas por subempreitadas das diversas especialidades, tendo a empresa responsável por cada uma dessas especialidades (fundações, amarrações, fabrico e costura das telas, serralharia, cablagens, montagem, ventilação e AVAC, iluminação e rede eléctrica, águas e saneamento, etc.) técnicos especializados em cada uma das áreas a conceber os próprios projectos de especialidade. Por terem mais conhecimento específico, tornam este processo mais rápido e eficaz, já que para isso desenvolvem normalmente técnicas próprias de concepção (nomeadamente programas informáticos baseados na sua prática) e de construção (com métodos construtivos por eles desenvolvidos, nomeadamente de prefabricação e montagem).

“A maior parte das firmas especializadas em construções têxteis de grandes dimensões trabalha em termos de concepção / construção, com serviços que vão desde a consultadoria sobre conceitos estruturais e viabilidade em fase de anteprojecto, ao desenvolvimento para

construção das formas precisas, das análises estruturais da tela e dos outros elementos componentes e à execução dos planos de corte e montagem”. [7] Cabe ao arquitecto a coordenação do processo de desenvolvimento que leva à forma final, decidindo sobre esta, fornecer parâmetros gerais de conforto, de estética, referente aos materiais utilizados e às características particulares de cor, translucidez, isolamento, forma, etc. O acompanhamento da obra deve ser feito pelo arquitecto, para garantir que a execução se faça em consonância com os desenhos, mas sendo comum o trabalho dum equipa de fiscalização composta por engenheiros, contratada e nomeada pelo dono de obra, que estabelece a ponte de ligação com os interessês deste. [7]

O crescente uso de materiais têxteis, capazes de suportar forças em tracção é resultante do avanço nas tecnologias de cálculo e desenho de projecto. [3] Demarcando novas possibilidades para futuras estruturas está o recente uso de programas informáticos que permitem o desenvolvimento de sistemas construtivos extraordinariamente complexos. Estes permitem o desenho interactivo e análise, permitindo aos projectistas o “feedback” imediato sobre as qualidades e defeitos nas formas pesquisadas. Programas de computador têm sido desenvolvidos com vista a permitir visualizar formas complexas que doutra maneira só poderiam ser intuídas ou testadas com maquetas. A arquitectura e a técnica desenvolvem-se assim em conjunto. [3] Tony Robbin considera que existe algum perigo na aparente facilidade com que se pode projectar através do computador, “(...) criando um ambiente de exagerada descontração no processo de concepção. Quando não se tem consciência de que o computador é apenas uma ferramenta de projecto, cálculo e visualização, existe o perigo de se ignorar em demasia as fases de pesquisa formal e o aspecto criativo que a arquitectura tem sempre de conter” [3]. Pensamos contudo, não se poder dizer que esta facilidade trazida pela tecnologia, possa conduzir a uma estética “automática”, de computador, mas existe sem dúvida alguma relação causal, pelo fenómeno dos projectistas se deixarem levar pelo caminho fácil da excessiva repetição e da falta de pesquisa formal. As mais recentes aplicações informáticas e a sua generalização aos gabinetes de projecto são vistos actualmente como ferramentas fundamentais para a concepção de estruturas. “As actuais possibilidades de modelização e de visualização das formas, a evolução e a rapidez do processamento de cálculo tendem para um objectivo claro: mais reflexão para menos matéria. Um projecto pode existir virtualmente milhares de vezes antes de ser escolhida uma forma definitiva”. [18] Os computadores, quando explorados em todas as suas potencialidades de ferramenta ao serviço do homem, poderão inclusivamente conduzir a novas estéticas e possibilidades construtivas que anteriormente estavam vedadas por excessiva complexidade de cálculos e desenho associados. O recentemente construído Museu Guggenheim de Bilbao, projectado por Frank Ghery, é prova disso, já que foi concebido através de maqueta e digitalizado com um “scanner” tridimensional, associado a tecnologias até agora apenas utilizadas na engenharia aeronáutica e no design de automóveis<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> Segundo uma conferência proferida pelo próprio Frank Ghery na Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto em vésperas da inauguração do referido edifício.

Relativamente ao seu comportamento estrutural, as coberturas têxteis podem ser;

- **Planas** – Neste grupo podemos considerar dois sistemas estruturais distintos, em tensão plana ou simplesmente suspensas. Nas estruturas de tensão plana, a tela encontra-se em pré-esforço co-planar e a tensão é aplicada à tela por quadros rígidos ou extensíveis, mantendo-a esticada numa posição plana ou facetada em vários planos para realizar formas compostas. As simplesmente suspensas utilizam o peso próprio ou pesos artificiais como método de estabilização, podendo ser planas, no caso de paramentos verticais, ou de curvatura sinclástica (sendo curvas numa só direcção, já que na outra direcção são planas).
- **Pneumáticas** - A tela é suportada pela pressão ou depressão de ar interior, podendo-se distinguir dois sistemas estruturais; as coberturas insufláveis e as pneumáticas propriamente ditas. Em qualquer dos dois casos, a tensão sobre a tela é contínua em toda a superfície.
- **Suspensas** - No grupo das coberturas suspensas têxteis, poderemos referir duas, as de malha reticulada e as de tela estrutural. Em qualquer dos casos, a aplicação do pré-esforço de tensão sobre a tela pode ser linear ou pontual. Nas estruturas suspensas de malha reticulada (funiculares), uma rede estrutural de cabos é mantida em tensão e serve de apoio a elementos não estruturais de tela têxtil. São de tela estrutural a maior parte das coberturas têxteis contemporâneas e distinguem-se das estruturas funiculares pelo facto da tela, cuja forma deriva da aplicação de pré-esforço, ter função estrutural.
- **“Tensegrity” e Cascas reticuladas** - São normalmente em forma de cúpula ou abóbada. As estruturas “tensegrity” podem ser com elementos estruturais suspensos, normalmente compostas apenas por cabos tirantes e alguns elementos de compressão suspensos por estes, mantendo a cobertura estável com forças multidireccionais. Nas cascas reticuladas são utilizados elementos flectidos com resistência à compressão como nos Yurts. Em qualquer dos casos são estruturas auto portantes em que a tela não desempenha normalmente um papel estrutural. O apoio pode ser praticamente contínuo em toda a superfície da tela, sendo utilizadas secções compostas de várias telas estruturais de deformação pontual, ou telas simplesmente apoiadas.

Desde as telas simplesmente apoiadas planas às telas suspensas de grande vão livre, pode concluir-se que existem grandes diferenças no processo de abordar a sua concepção, tendo a ver não apenas com a dimensão, mas especialmente com a tecnologia e o conhecimento especializado envolvidos.

O tipo de coberturas têxteis estruturalmente mais simples são as telas planas e as simplesmente suspensas (de curvatura sinclástica ou planas numa das direcções).

#### TELAS PLANAS.

Este tipo de cobertura simples, de desenho normalmente simples e exigindo poucos cuidados de montagem, são mais utilizadas em coberturas de pequena e média dimensão. As telas simplesmente suspensas são muitas vezes utilizadas em sistemas conversíveis, como é o caso de muitos toldos exteriores, ou móveis como as marquesinhas. A principal desvantagem das telas planas é a limitada dimensão do vão que se poderá vencer, havendo sempre necessidade de peças de apoio em distâncias relativamente curtas, como no caso das lonas dos camiões. A tela pode estar dependente das estruturas de suporte, sendo a rigidez destas que permite manter a tensão na tela; quer por sistemas de regulação de tensão que afastam a tela do seu suporte (como nas telas com ilhós fixas por cordas);



Fig. 4.4. Fachadas com estores têxteis exteriores. (29)

quer fixas em peças lineares, como perfis de alumínio, tubos de ferro ou através de grampos a um estrutura de madeira (como uma tela num quadro), como nos toldos fixos; ou de recolher, como os estores de tecido interiores ou exteriores. (fig. 4.4.) De qualquer forma são planas pelo menos numa das direcções, ou facetadas e compostas assim de vários planos rectos, mesmo que a estrutura de suporte tenha forma curva em termos globais.

Os pavilhões de aluguer para a realização de exposições temporárias, com estruturas metálicas ou de madeira rígidas, planta rectangular e coberturas em duas águas são exemplos de coberturas de tela planas. (fig. 4.5.) As barracas ou tendas de praia, de planta e alçados rectangulares são também deste tipo. Os materiais normalmente mais utilizados em estruturas de tela planas são as lonas, os oleados e os encerados. Mais recentemente começam a surgir também as películas de PVC e as telas de Poliéster / PVC, utilizadas quando as dimensões, a durabilidade e a resistência exigidas são maiores.



Fig. 4.5. Pavilhões de exposição

Tal como a maioria das construções actuais, que têm formas rectilíneas, a representação e o cálculo bidimensional é suficiente para o entendimento das formas finais e posterior construção das coberturas têxteis mais simples, as planas. São de fácil entendimento e normalmente concebidas sem o apoio de Técnicos especializados, já que neste campo, a intervenção destes está normalmente mais associada ao desenvolvimento dos produtos em si e não no que diz respeito à sua aplicação formal. Em termos comparativos, poderíamos referir que acontece o mesmo que em outras áreas de arquitectura, como por exemplo quando um projectista prevê a colocação dum determinado caixilho em alumínio ou em PVC, para o qual se limita a decidir sobre a sua forma geral e dimensionamento e posteriormente vai ao mercado escolher entre diversos modelos já projectados e concebidos por técnicos especializados.

#### TELAS SIMPLEMENTE SUSPENSAS

No caso das telas simplesmente suspensas (fig. 4.6.), a curva que estas adoptam tem a ver com a atracção da gravidade, razão pela qual o equilíbrio depende essencialmente do peso próprio da tela, seguindo o mesmo princípio estrutural das primeiras pontes suspensas chinesas, já referidas. O que as distingue das telas planas é o facto da tela só estar apoiada em dois lados paralelos e não se encontrar pre-esforçada. Deve por isso ser bastante cuidado o aspecto da resistência aos ventos, especialmente quando as coberturas não são totalmente encerradas lateralmente, pois as correntes ascendentes

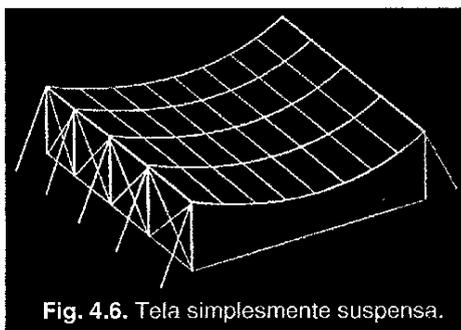


Fig. 4.6. Tela simplesmente suspensa.

provocadas pelo vento poderão levar a uma exagerada oscilação da tela e provocar a sua rotura por rasgo, especialmente em construções de grande vão. Por esta razão, este tipo de cobertura é actualmente muito pouco utilizada em soluções têxteis, ou então é utilizada com sistemas funiculares que lhe incrementam o peso e lhe dão uma maior resistência à flutuação ao vento.

Os materiais normalmente mais utilizados em estruturas de tela simplesmente suspensas são as telas de Poliéster / PVC, e de Fibra de Vidro / PTFE, utilizadas quando as dimensões, a durabilidade e a resistência exigidas são maiores, caso contrário, em pequenas coberturas, como é caso de alguns toldos telescópicos ou nos do tipo dos "Velarium" romanos já referidos, são utilizadas as lonas, os oleados ou encerados.

“Uma estrutura pneumática pode ser definida como um edifício construído com uma membrana de grande resistência, cuja forma e integridade estrutural advêm dum pré-esforço com pressão de ar interior”. [30] Implicam a existência de ventiladores / compressores de ar, localizados no limite exterior da estrutura pneumática e funcionando permanentemente, em coordenação com válvulas, de modo a ser mantida uma pressão constante no seu interior. [18] A escolha e manutenção destes sistemas deverá ser feita de acordo com parâmetros muito rigorosamente especificados. Componentes especiais, tais como: iluminação, ventilação, ar condicionado e sistemas de segurança, (compressores auxiliares) deverão também ser ponderados. [30] A primeira proposta para uma estrutura insuflável data de 1917, quando o Inglês William Lanchester propôs este tipo de construção como hospitais de campanha. [7] Ele obteve uma patente para este sistema, mas não chegou a construir nenhum exemplo. Em 1946 começaram a ser construídos "radomes", uma criação de Walter Bird. Durante os anos 50 e 60, estes radares em forma de semiesferas em tela, insufláveis, foram sendo realizados com vãos que por vezes atingiam um diâmetro de mais de 60 m, em tecido "Dacron" laminado, com um revestimento de "Hypalon". [31] Em 1958, a empresa de Walter Bird, a Birdair, construiu para o McBac Arts Center Theatre de Boston uma das suas primeiras coberturas insufláveis. [3] Na sequência desta, a Birdair continuou a realizar estruturas deste tipo, essencialmente nos Estados Unidos, sendo um dos maiores construtores actuais de coberturas insufláveis. [3] Na exposição de Ozaka em 1970, uma estrutura insuflável de tela para o pavilhão dos Estados Unidos foi totalmente inovadora, se bem que sendo inspirada nos "Radomes". Davis, Brody, Chermayeff, Geismer e Mark foram os arquitectos autores do projecto e Geiger o Engenheiro chamado a colaborar na execução técnica. A cobertura insuflável de baixo perfil, travada por uma rede de cabos colocada na diagonal da sua forma elíptica, cobria um vão livre de 78m por 139m e foi realizada com um custo extremamente reduzido. [3]

Nas coberturas insufláveis de Fibra de Vidro, o peso da neve e a chuva acumulada tornaram-se as grandes preocupações, mais do que as cargas provocadas pelo vento ou pelo peso próprio. A neve é derretida pela introdução de ar quente no interior da estrutura, ao mesmo tempo que sistemas de compressão automáticos aumentam a pressão do ar quando os cabos perdem tensão e drenos de emergência na cobertura abrem-se para permitir o escoamento da água acumulada e compensar o vento. [3]

Uma estrutura pneumática deverá ser concebida de forma a que as cargas do pré-esforço sejam distribuídas uniformemente por toda a superfície da tela. Este tipo de estruturas constitui o expoente máximo em termos de eficiência estrutural, já que o vão por elas realizado pode ser inteiramente livre e não existem mais elementos de suporte além da tela. Haverá no entanto que considerar um sistema de ancoragem sólido. A concepção das estruturas pneumáticas tem basicamente duas estratégias distintas; os insufláveis e as estruturas pneumáticas propriamente ditas.

## INSUFLÁVEIS.

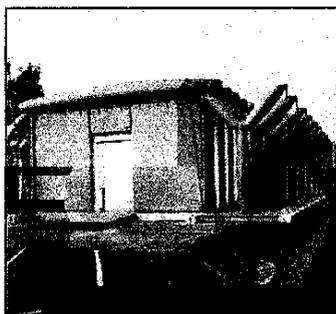
São suportadas pela pressão (positivas) ou depressão (negativas) do ar interior respirável, daí estarem normalmente associadas a um certo desconforto, mesmo quando associadas a soluções de climatização, já que a diferença de pressão interior causa problemas de adaptação. A entrada nestas tem de ser hermética, sendo feita normalmente por portas giratórias. [30] São as únicas em que podem existir exclusivamente esforços de tracção, já que não existem elementos de compressão. São sempre duplamente curvas, na mesma direcção nos dois sentidos opostos da tela (sinclásticas) e adoptam formas simples como semiesféricas, abobadadas, ou derivadas destas. (fig. 4.7.)



As coberturas insufláveis foram criticadas, devido a certos incidentes em que estas abateram parcial ou totalmente, após a acção de condições climáticas muito adversas ou falhas mecânicas. [3] Melhoramentos no design e nos procedimentos operativos têm reduzido bastante o risco de abatimento (que não é necessariamente perigoso) e o custo continua a ser um dos atractivos deste tipo de estruturas. "Estas apresentam um custo inicial mais baixo do que as mais económicas estruturas tridimensionais metálicas (cerca de metade) ou as estruturas suspensas (cerca de 3/4 do custo), ainda que os custos de manutenção sejam sempre maiores".[3] Nos anos 70 e 80, as coberturas têxteis insufláveis eram soluções bastante comuns, inclusivamente em Portugal, na protecção sazonal de recintos desportivos, como piscinas e "courts" de ténis, mas na sua quase totalidade foram sendo substituídas por soluções de construção tradicional ou deixaram simplesmente de ser utilizadas. Apesar dos melhoramentos técnicos, os problemas mecânicos e os custos associados à manutenção dos sistemas de compressão do ar, a limitação formal que estas acarretam e principalmente ao desconforto devido à excessiva pressão de ar no seu interior, levaram à adopção de outros tipos de solução e "(...) a substituição deste tipo de estruturas por outras do mesmo tipo é improvável, já que se prevê que a grande maioria destas, quando as telas que as compõe cheguem ao fim da sua vida útil, sejam substituídas por estruturas ligeiras de outros tipos, como as suspensas de tela".[7] No entanto, haverá sempre situações, como a cobertura sazonal de piscinas, (Fig. 4.8. - interior de Piscina com cobertura insuflável [catálogo Canobbio]) ou para cobrir vãos excepcionalmente grandes, onde uma estrutura insuflável continua a ser uma opção indicada.



## PNEUMÁTICAS (TIPO CÂMARA DE AR)



**Fig. 4.9.** Pavilhão "Airtecture" [12]

**Fig. 4.10.** Pavilhão da Fuji [32]



A pressão de ar é exercida no interior de câmaras de ar em tela ou "almofadas" que servem para suporte da estrutura, sendo independentes da atmosfera respirável no interior da cobertura, não necessitando por isso de portas herméticas, ao contrário dos insufláveis, e podendo inclusive ser coberturas abertas. Podem-se comportar aparentemente como elementos de compressão, se a pressão do ar no interior dos "tubos" o permitir, como se pode ver no exemplo da fig. 4.9.

As estruturas pneumáticas não apresentam grande parte dos problemas das insufláveis, nomeadamente as questões de conforto, que neste caso até são eventualmente superiores às outras estruturas têxteis, devido essencialmente ao isolamento associado à grande espessura da caixa de ar e à existência dum sistema duplo de tela. Não existem muitos exemplos, talvez devido ao seu maior custo de fabrico e dificuldade de montagem, associadas aos custos de manutenção, ligado à pressão de ar que terá de se manter no interior do sistema para manter a estabilidade da estrutura, compensando as cargas de vento através de compressores e válvulas. O exemplo mais conhecido é o Pavilhão da Fuji na Expo 72 de Osaka (fig. 4.10.) Concebido por Yutaka Murata, tinha uma planta circular com um diâmetro de 50 metros a partir do qual se elevavam 16 tubos de tela com 4 metros de diâmetro e 72 metros de comprimento (medida do perímetro dos arcos que formam). [8]

A fixação dos tubos entre si era feita por cintas horizontais de meio metro de largura. A membrana de 4mm de espessura e com uma densidade de 5 Kg/m<sup>2</sup> era constituída por duas telas de "Vinylon" coladas por "Neoprene", sendo a exterior tratada com "Hypalon" e a interior com PVC. [32] Em contraste com a sua forma estática, a estrutura tinha de ser permanentemente compensada em termos de pressão por um compressor e válvulas, em função das solicitações exteriores como o vento ou a temperatura. (ver detalhe construtivo no anexo A19).

“No séc. XIX, as evoluções técnicas e as pesquisas desenvolvidas para a realização de pontes suspensas, introduziram os primeiros sinais de metodologia científica ao desenho e cálculo de estruturas suspensas. As evoluções desta metodologia e o aparecimento de fibras acrílicas trouxeram, já no presente século, a compreensão sobre o comportamento mecânico das estruturas e métodos de cálculo fiáveis”. [18]

Se as tendas negras africanas eram já estruturas têxteis suspensas, a sua concepção não era propriamente resultante dum processo de projecto. O incremento de dimensão em estruturas suspensas têxteis traria obviamente problemas, não só referentes à resistência dos materiais utilizados, mas também à forma e ao pré-esforço necessário, que exigiam também métodos de cálculo mais fiáveis. A introdução de novos materiais, nomeadamente as telas arquitectónicas, em que os tecidos base são realizados com fibras não naturais, tornou também necessário adoptar novos sistemas de cálculo, métodos construtivos e tipologias, em que a relação entre vão livre e peso próprio da estrutura se encontrem optimizadas e permitindo-se a criação de formas construtivas inovadoras. O peso próprio das estruturas de tela arquitectónica chega a ser normalmente inferior à pressão / depressão do vento (ver fig. 4.1.), donde surge a necessidade de estabilizar estas estruturas no que diz respeito à instabilidade aerodinâmica, colocando novos problemas mas também dando novos estímulos construtivos e a exigência de aprofundar os conhecimentos experimentais para poder controlar tais fenómenos. Quase todas as coberturas têxteis recentes de dimensão notável têm sido ensaiadas com modelos rígidos e elásticos em túnel de vento e sucessivamente reformuladas as suas formas com base nos resultados dos ensaios realizados. Quando se constrói uma cobertura têxtil de grandes dimensões e depois se vêem vários camiões trazer toneladas de betão para o local, podemos questionar-nos sobre o facto de se chamar construção leve. [18] Apesar do aspecto ligeiro, estas estruturas têm de ser pesadamente ancoradas, ou doutra forma a tensão desaparecia e a tela voava. Expressando os esforços de tracção a que as estruturas têxteis são sujeitas, elas equilibram-se em oposição com as pesadas fundações onde assentam ou com os sólidos edifícios donde se podem suspender, [18] como no caso da cobertura do Arco de “La Défense”. (fig. 3.1.) O equilíbrio concebe-se então como resultado da oposição entre duas categorias de elementos, uns pesados e outros ligeiros, constituindo o testemunho da dialéctica que é intrínseca a muitos dos projectos de arquitectura têxtil. [18] A tensão autoportante é também utilizada, especialmente em situações móveis, mas também se exige bastante peso de sustentação ou uma amarração sólida, especialmente em zonas pouco abrigadas de ventos.

O processo de desenho que leva à concepção duma estrutura suspensa de tela não pode ser reduzido a um sistema linear, devendo-se antes entender como um processo aberto, onde vários factores participam e influenciam a forma final, sendo esse sistema que o seguinte diagrama (fig. 4.11.) pretende representar:

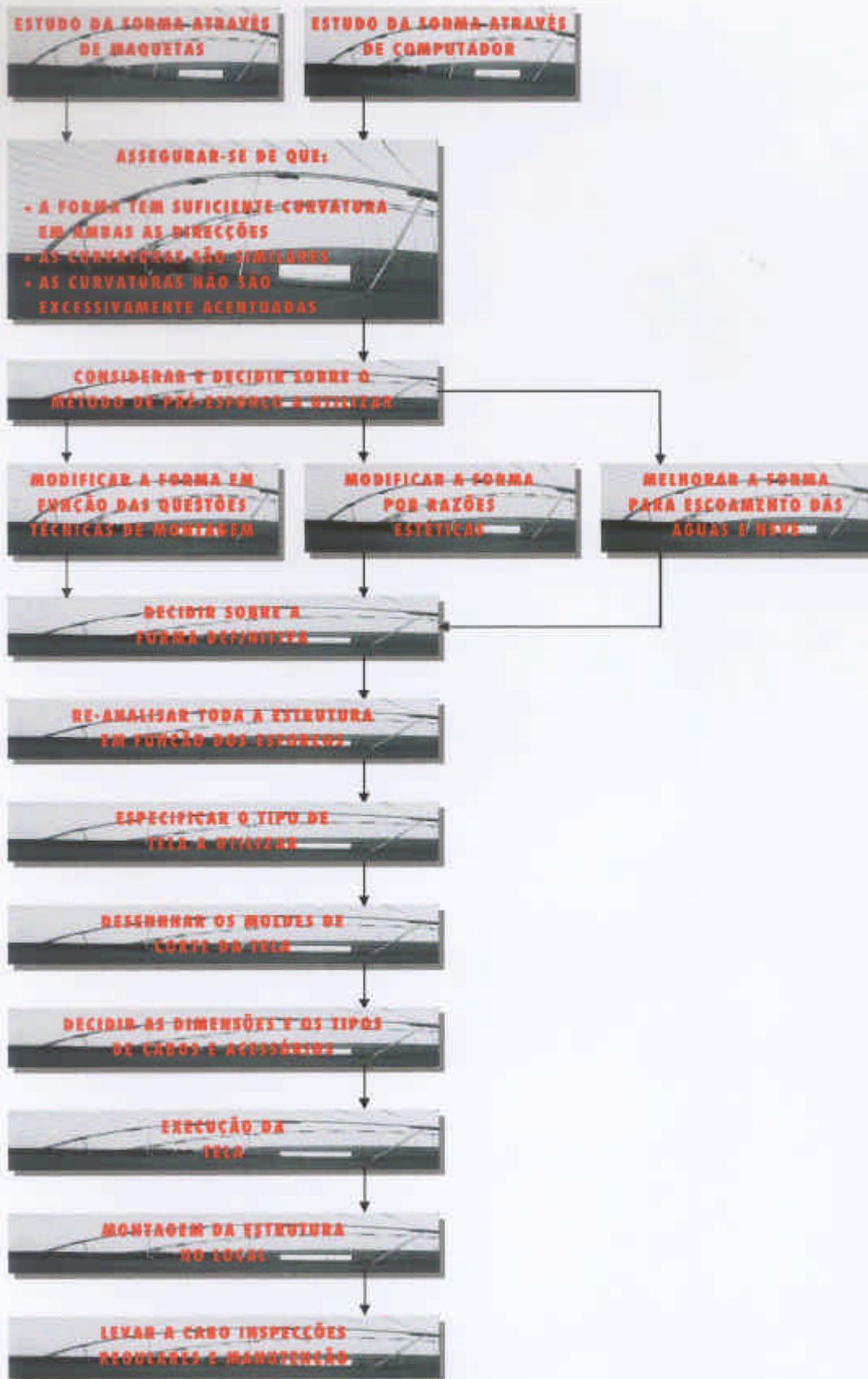


Fig. 4.11. Fases do processo de concepção de uma estrutura têxtil suspensa. [10]

As coberturas suspensas têxteis podem ser de dois tipos: funicular (com uma malha reticulada estrutural que pode suportar uma tela ou outro material), ou de tela estrutural (com a própria tela a ser um elemento resistente da estrutura).

## SUSPENSAS FUNICULARES.

Este tipo de estruturas suspensas são as antecessoras das coberturas suspensas de tela estrutural. A primeira cobertura suspensa de grande dimensão, que se pode referir como contemporânea, foi a da J.S. Dorton Arena, projectada em 1951 por Matthew Nowicki com apoio técnico e cálculos do Engenheiro Fred Severud, com um revestimento em chapa metálica. (fig. 2.11.) Foi este projecto que Frei Otto referiu como tendo tido um impacto significativo no seu percurso profissional e o terá influenciado posteriormente a especializar-se na área das coberturas suspensas. Também do gabinete de Fred Severud saíram os cálculos do projecto de Eero Saarinen para o Ringue de Hóquei da Universidade de Yale, cujo revestimento era de contraplacado (1957). Seguiram-se a cobertura do Pavilhão Francês na Feira Internacional de Bruxelas de Rene Sarger e o Meyer Music Bowl em Sidney do arquitecto Robin Boyd e do engenheiro Bill Erwin ambos em 1958.

Terá sido essencialmente por uma questão de pouca resistência dos materiais têxteis, que se começaram a fazer coberturas suspensas funiculares, começando por ser mais um material de revestimento e impermeabilização do que estrutural. Sem dúvida que o principal impulsionador deste tipo de estruturas suspensas têxteis foi Frei Otto. [3] Quando este projectou o pavilhão da Alemanha para Expo 67 em Montreal (fig. 4.12.), as telas têxteis existentes ainda não eram suficientemente fortes para resistir por si só às tensões em vãos livres desta dimensão, suportada em apenas seis mastros. Otto recorreu a uma rede de cabos de aço interligados e suspendeu uma tela imediatamente abaixo desta. Esta estrutura serviu mais tarde de referência a muitas obras de arquitectura têxtil e o conceito de cobertura suspensa funicular foi especialmente desenvolvido quando Otto concebeu uma estrutura semelhante, mas ainda de maior dimensão, juntamente com o Arquitecto Gunther Behnisch, para o Estádio Olímpico de Munique, se bem que nesta a tela têxtil foi substituída por acrílico. [3]

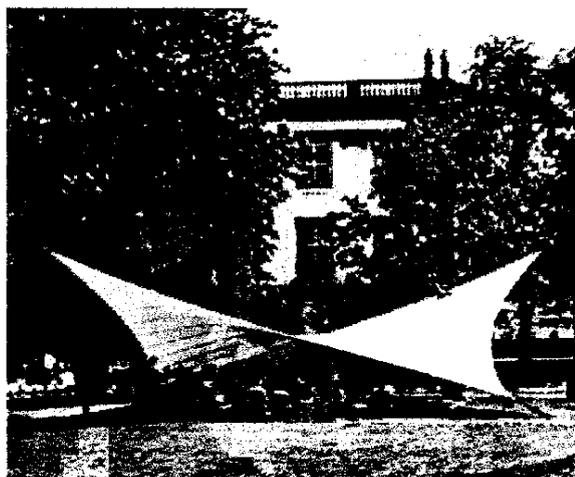
Mas ainda hoje este tipo de estruturas tem aplicação, pois apesar das telas arquitectónicas terem um desempenho estrutural cada vez melhor, em certos casos, onde se mostram necessários grandes vãos suspensos e estiver atingido o limite de resistência das telas disponíveis, é sempre possível introduzir um sistema de rede de cabos que possa permitir ultrapassar esse limite.



Fig. 4.12. Pavilhão da Alemanha [3]

## SUSPENSAS DE TELA ESTRUTURAL

Este é o tipo de coberturas que mais nos interessa estudar, pelas características específicas que as telas deverão neste caso ter, e por serem deste tipo a maior parte dos exemplos de arquitectura têxtil. O facto de se exigirem dos materiais têxteis utilizados, as suas capacidades de resistência limite, impulsionou a evolução tecnológica das telas, o que se deu especialmente após a 2ª Guerra Mundial, com a introdução das fibras e revestimentos sintéticos e de novos métodos de cálculo tridimensional. “O estudo teórico e a aplicação construtiva das coberturas têxteis atingiu actualmente a maturidade. No último decénio, inúmeras investigações teóricas, experiências tecnológicas, construtivas e de montagem e, sobretudo, a observação do comportamento, com o uso, das obras realizadas, têm sido objecto de estudo dos investigadores, projectistas e fabricantes.” [34]



**Fig. 4.13.** Pavilhão de Música em Kassel [9]

A principal característica das coberturas suspensas de tela estrutural, é que a sua estabilidade resulta duma dupla curvatura em direcções opostas (forma anticlástica), curvatura definida em projecto, à qual é propositadamente aplicado um pré-esforço. Frei Otto, começava por experimentar formas através de modelos à escala com materiais como as bolas de sabão, as redes e as malhas elásticas que ele usou apenas em tensão. [10] Um dos seus primeiros projectos, realizado em 1955, foi um pavilhão de música numa Exposição em Kassel, (fig. 4.13.) na então Alemanha Federal, que marcou “o início

da era moderna das telas pré-esforçadas suspensas”. [7] Após este projecto, sucederam-se outras coberturas do mesmo tipo, incluindo a estrutura da entrada para a Exposição de Colónia de 1958 e o Pavilhão de dança, todas de pequena dimensão, com vãos inferiores a 25 metros, pois ele ainda não dispunha duma tela suficientemente resistente como a que viria a existir posteriormente, em Fibra de Vidro com revestimento a PTFE. Frei Otto foi também autor duma série de coberturas destinadas a eventos comerciais e exposições nacionais, que introduziram uma série de novas ideias sobre forma, técnicas de montagem, métodos e materiais para pré-esforçar as estruturas e de unir as juntas das telas. [10] “Estas construções, muitas delas temporárias, tiveram uma grande influência para as posteriores gerações de projectistas. Elas forneceram uma combinação de clareza estrutural e apelo estético, com formas arredondadas que muitas vezes sugerem fenómenos naturais como ondas, nuvens ou neve a cobrir o topo de montanhas.” [10]

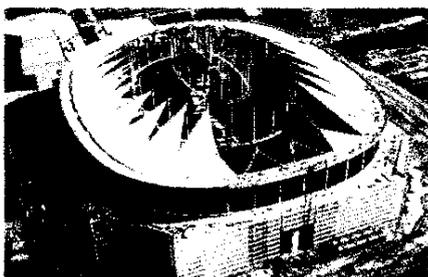


Fig. 4.14. "Georgia Dome" em construção. [9]

Em qualquer dos casos, a tela encontra-se normalmente simplesmente pousada em planos facetados, pelo que pode ser considerada de plana. No entanto, podemos considerar que no conjunto tela / estrutura, as formas podem ser sinclásticas ou anticlásticas, especialmente no caso das cascas reticuladas, que são muito versáteis em termos formais.

### ESTRUTURAS "TENSEGRITY"

Uma outra tecnologia estrutural para a realização de coberturas têxteis de grande vão diz respeito às estruturas tridimensionais "tensegrity", assim chamadas porque se baseiam no "tensegrity dome" (fig. 4.15.), desenvolvido durante os anos 50 e patenteado em 1962 por Buckminster Fuller. O primeiro exemplo teórico deste tipo de estrutura, teve lugar na Rússia, por Karl Ioganson, um elemento do movimento construtivista que em 1920 desenvolveu uma escultura a que chamou "Estudo em balanço". [3] No entanto, não teria desenvolvimento, senão quando, Fuller desenvolveu esta como um sistema estrutural para construção. Este sistema estrutural, esférico, apresentava em termos práticos alguma instabilidade simétricas, problema que face a condições de carga não impediu a sua utilização até que algumas alterações foram introduzidas por David Geiger e David Chin. [7] (fig. 4.16) Os elementos estruturais que a compõem, basicamente cabos suspensos entre estes, mantêm a cobertura estável através de forças multidireccionais. Por esta razão, são estruturas normalmente autoportantes, onde a tela ou outro material que se coloque suspenso desta, apenas cumpre um papel de protecção e não tem influência no comportamento estrutural.

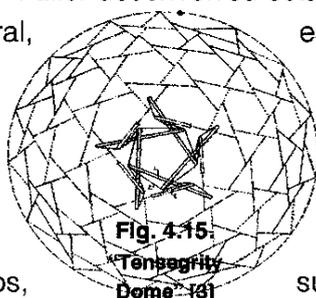


Fig. 4.15: "Tensegrity Dome" [3]

As formas são normalmente semiesféricas, de planta circular, oval ou elíptica e de curvatura variável e permitem uma montagem a partir do chão, sem necessidade de guias, segundo um método patenteado por Geiger. As duas primeiras estruturas deste tipo, com 120 e 90 metros de diâmetro respectivamente, foram construídas em 1986, por ocasião dos Jogos Asiáticos e dois anos mais tarde utilizadas quando dos Jogos Olímpicos de Seul. A maior estrutura deste tipo, o "Georgia Dome", em Atlanta, foi terminada em 1992. Tem uma planta oval, com 235 por 186 metros e foi concebida por Matthys Levy. (fig. 4.14.)

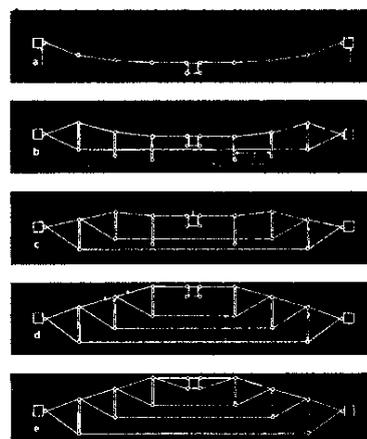


Fig. 4.16. Tensegrity de Geiger [3]

## CASCAS RETICULADAS

As cascas reticuladas ou malhas de nós rígidos (Grid Shells), são estruturas tridimensionais compostas de elementos rígidos a trabalhar à compressão e com resistência à flexão [35], como tubos em aço, alumínio, régua de madeira ou lamelados, unidos entre si por nós articulados e formando uma rede de losangos ou rectângulos que suportam a tela ou outros materiais como acrílico, contraplacado ou chapas metálicas. Na situação que nos interessa, as telas, estas podem-se aplicar por cima, por baixo ou no mesmo plano da estrutura, mas sem que a tela tenha normalmente um papel estrutural, excepto se considerássemos uma estrutura deste tipo como de deformação contínua em que a estrutura faz pressão sobre a tela, criando nesta tensão e ao mesmo tempo obtendo-se um conjunto tela / estrutura interligado. Em termos de raciocínio construtivo, nas cascas reticuladas parte-se dum retículo plano uniforme. Variando distintamente o ângulo de cruzamento dos nós em zonas distintas do retículo, criam-se deformações tridimensionais, já que esta actua como um conjunto e não se pode deformar apenas em plano. A máxima deformação do ângulo de cruzamento aparece na zona periférica, na direcção diagonal aos polígonos. [36] Durante a montagem pode-se moldar a forma, mexendo nos ângulos dos nós dentro dos limites que estes permitam. Quando se obtenha a forma pretendida, os nós são normalmente fixos, através de parafusos, soldadura ou outro sistema. Podem-se assim obter formas livres anticlásticas, como as de telas suspensas, mas também sinclásticas, normalmente semelhantes a estruturas insufláveis.

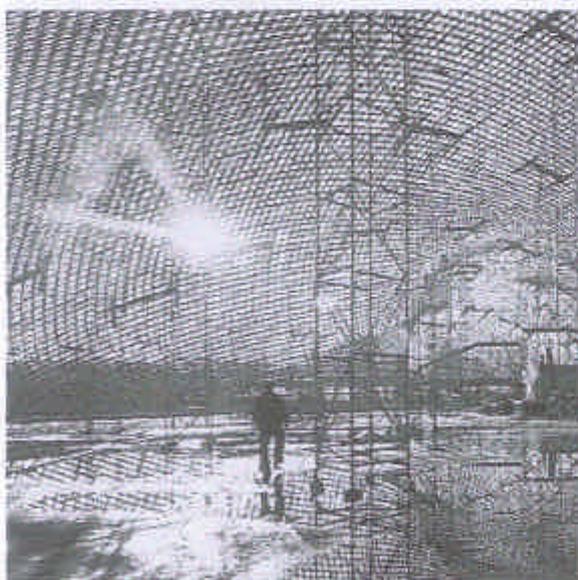
A utilização de um retículo triangular ou hexagonal é mais limitativa, pois impede o tipo de raciocínio precedente de ir ajustando os nós e a forma, já que estas estruturas não se conseguem deformar tridimensionalmente a partir dum plano. [36] Para se obterem formas livres, obrigaria a dimensionar individualmente todas as peças do conjunto. No caso de cúpulas geodésicas já se torna possível considerar peças de igual dimensão, pelo que as malhas triangulares ou hexagonais estão normalmente associadas a formas geodésicas sinclásticas, como no Pavilhão dos Estados Unidos de Buckminster Fuller, para a Expo 67 em Montreal (fig. 4.17), mais ou menos facetadas, conforme a abertura da malha estrutural.



Fig. 4.17. Cúpula geodésica da Expo 67.

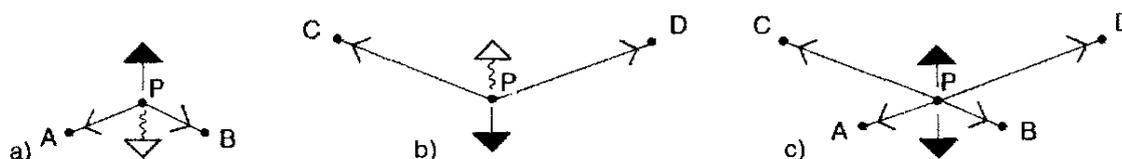
Um exemplo de estrutura de casca reticulada foi concebida por Frei Otto, para Mannheim e construída em 1975. De forma livre sinclástica, com uma área coberta de 7400 m<sup>2</sup>, é revestida pelo exterior por uma tela de Poliéster / PVC em cor escura e brilhante que lhe dá um aspecto plástico e de onda, transparecendo a malha reticulada interior, realizada em réguas de madeira formando rectângulos e reforçada por uma rede de cabos colocados diagonalmente. [22] (fig. 4.18.)

**Fig. 4.18.** Pavilhão multiuso em Mannheim [22]



A maneira como uma cobertura têxtil se mantém estável e a sua forma são indissociáveis. Devido à sua reduzida espessura, as telas têm uma resistência praticamente nula à compressão, o que implica que a sua forma seja determinada duma maneira extremamente precisa, para que todas as cargas aplicadas possam ser distribuídas apenas em esforço de tracção. A única maneira prática de realizar uma tela suspensa suficientemente resistente e estável, é através da combinação de curvatura e pré-esforço. [10] A determinação destas formas é complexa, pois o seu cálculo deverá ser realizado em termos dum raciocínio tridimensional, ao contrário do cálculo duma estrutura convencional de viga e pilar de betão ou metálica que pode ser determinada bidimensionalmente. A combinação de curvatura e pré-esforço, permite garantir que a tela se mantenha em esforço e portanto estável, mesmo após a aplicação de cargas não uniformes, tais como rajadas de vento, que podem trazer as mais variadas direcções, inclusivamente ascendentes. O pré-esforço aplicado, deve ser suficientemente forte, de modo a nunca ser anulado por forças exteriores em qualquer direcção. A curvatura deverá ser do tipo mais adequado para cada caso e a sequência de esquemas da fig. 4.19. ilustra os princípios de equilíbrio inerentes ao desenho das estruturas têxteis suspensas. Em a), um ponto P é mantido estável por elementos fixos em A e B, esse ponto vai ficar seguro em relação a forças aplicadas na direcção ascendente, mas no entanto ficará incapaz de resistir a forças do sentido contrário. O oposto verifica-se em b), quando um ponto P é mantido em tensão pelas cargas C e D. Um ponto P mantido em tensão pelos pontos A, B, C e D ao mesmo tempo, mantém-se estável em relação a cargas aplicadas em qualquer direcção, como se pode observar em c). [10]

Fig. 4.19. Princípio de equilíbrio [10]



Como se pode ver na fig. 4.20., se a tela for simultaneamente curva em duas direcções opostas e mantida nessa posição pela aplicação de pré-esforço, então cada ponto individual da sua superfície apresenta a condição de equilíbrio da fig. 4.19.c) e a estrutura mantém-se estável em relação a todas as direcções possíveis das cargas exteriores em toda a sua superfície. A uma superfície deste tipo chama-se anticlástica. À situação oposta, em que uma superfície é duplamente curva na mesma direcção, chama-se sinclástica. [10]

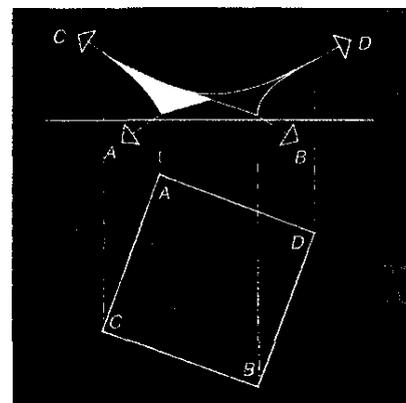
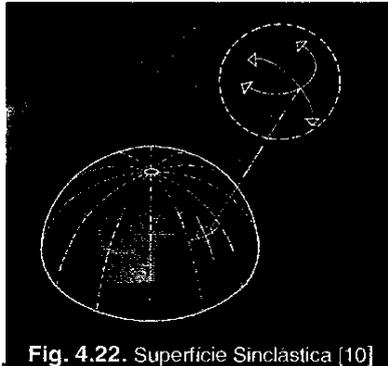


Fig. 4.20. Superfície anticlástica [10]

**Fig. 4.21. Arco Sinclástico / Anticlástico [10]**

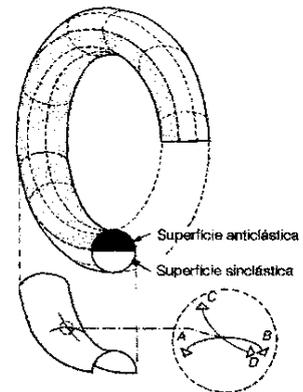
Como se pode ver na fig. 4.21., qualquer área da superfície interior sombreada satisfaz a condição de estabilidade, por ser uma superfície anticlástica, onde as curvas A-B e C-D têm direcções opostas. Pelo contrário, na superfície não sombreada do arco, as curvas A-B e C-D têm a mesma direcção (superfície



**Fig. 4.22. Superfície Sinclástica [10]**

sinclástica) e por essa razão não oferecem resistência às forças que actuam na direcção do exterior para o interior da estrutura; o mesmo se passaria numa cúpula tipo insuflável,

(fig.4.22.) que para contrariar as forças de gravidade e do vento necessita de pressão de ar no interior. [10] A área destacada da superfície interior do anel na fig. 4.21. mostra



uma superfície anticlástica tipo, com as linhas A-B e C-D apresentando duas direcções opostas de curvatura, uma côncava e outra convexa. As cargas ascendentes de sucção, causadas pelo vento, são contrariadas pelas cargas da direcção A-B e as cargas provocadas pela gravidade ou por pesos como o da neve são contrariados pelas forças contrárias na direcção côncava (C-D). [10] Os seguintes cuidados deverão ser tomados em conta quando se define a geometria precisa da estrutura têxtil suspensa [10]:

- Quanto mais curva for a superfície, mais eficaz resultará o pré-esforço aplicado no sentido de aumentar a estabilidade da tela, se bem que uma curvatura excessiva poderá também colocar dificuldades práticas, nomeadamente quando se trabalha com materiais duros como a tela de Fibra de Vidro / PTFÉ, que tem uma grande resistência à deformação mas pouca elasticidade e assim não distribui convenientemente as cargas de pré-esforço.
- Os raios de curvatura ao longo da tela deverão ser relativamente uniformes, pois as grandes variações destes poderão conduzir à formação de zonas muito tensas e de outras muito frouxas, o que poderá ser contraproducente à estabilidade da tela.

Nas estruturas têxteis suspensas com mastros de suporte verticais, estes são normalmente deixados à vista, podendo atravessar ou não a tela, bem como os cabos auxiliares, que tanto podem ficar localizados, em relação à tela, pelo exterior, pelo interior, ou atravessando esta. O padrão de juntas da tela realizado com a intenção de minimizar os desperdícios de material e maximizar a eficácia estrutural, constitui também um elemento visual importante, ajudando a leitura das formas, enfatizando quer as características radiais, horizontais, verticais ou outros aspectos intencionalmente ou apenas por razões técnicas.

A maior parte dos exemplos de arquitectura têxtil tradicional tem as seguintes formas; sinclástica, com os elementos estruturais a trabalhar em compressão, que pode ser cónica, com as paredes a terminar em vértice (como nos Tipis) ou abóbada (como nos Yurts); a suspensa anticlástica, onde só os elementos de suporte trabalham em compressão (como nas Tendas negras). Nos exemplos tradicionais, só nas formas anticlásticas a tela tem um papel estrutural, já que as únicas coberturas sinclásticas de tela estrutural só recentemente surgiram com as estruturas pneumáticas e insufláveis. Há vários tipos de formas anticlásticas; as puras, como a parabolóide hiperbólica (forma de sela), as resultantes da união de dois anéis e as formas modificadas, obtidas com deformação pontual, de bicos, bossas, arcos, etc. "As formas puras podem ser entendidas como as ideais, já que os esforços são uniformes em todos os pontos e direcções". [10] <sup>13</sup> Poderão existir várias razões pelas quais se torna necessário a alteração das formas puras, como por exemplo:

- **As condicionantes climáticas** - Em zonas onde por exemplo possa haver neve ou chuva abundante, será de prever um incremento das pendentes e do esforço.
- **Por razões estéticas** - A forma "ideal" pode não se revelar interessante ou não corresponder às expectativas do projectista e do dono de obra.
- **Por razões construtivas** - Quando por exemplo um vão se revela demasiado grande para manter a tensão de uma tela e ser necessário criar outros apoios.

A tela que resulta transformada, pela introdução de deformação, pode já não apresentar uma tensão uniforme e necessitar a incorporação de cabos ou reforços da tela nos pontos de concentração de esforço. Nestes casos, a estrutura já não poderá ser representada por um modelo de tensão uniforme como a bola de sabão, tendo que se optar por visualizações em computador ou através de maquetas com tecidos elásticos. [10]

Podemos dizer que as coberturas têxteis podem ser enquadradas em três tipos base de formas; planas, sinclásticas e anticlásticas. Já vimos que as formas mais simples são normalmente as de telas simplesmente apoiadas que são planas ou eventualmente podem ser sinclásticas, isto é terem os raios de curvatura na mesma direcção em toda a superfície suspensa, sendo este o caso das coberturas simplesmente suspensas (estabilizadas pelo peso próprio). As coberturas insufláveis são normalmente sinclásticas, com excepção das coberturas pneumáticas tubulares, que podem ser exclusivamente sinclásticas (como almofadas), ou ao mesmo tempo sinclásticas e anticlásticas (como câmaras de ar de pneus). As coberturas suspensas são normalmente anticlásticas. Nas seguintes alíneas apresentam-se algumas das formas mais comuns. Como se trata de fazer uma classificação, não se exclui a possibilidade de existência de outros tipos de formas, nomeadamente formas híbridas compostas destes vários tipos apresentados.

---

<sup>13</sup> Podemos entender como formas puras, todas as que poderão ser obtidas com modelos em bolas de sabão.

As formas planas podem ser derivadas do caimento "natural" do tecido (no caso deste ser vertical, como nas telas de um teatro) ou ser traccionadas tomando uma forma totalmente plana ou facetada em vários planos. Nas telas planas, a tensão provocada pelas estruturas de suporte é que mantém a tela estável e é responsável pela sua forma, sendo estas normalmente em perfis de alumínio, como nos toldos comerciais ou nos pavilhões de exposições

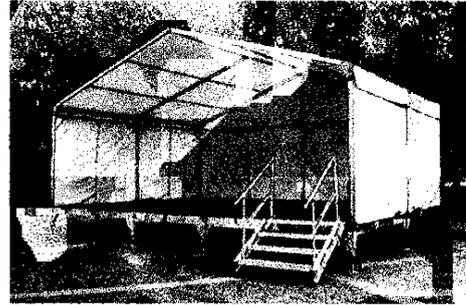
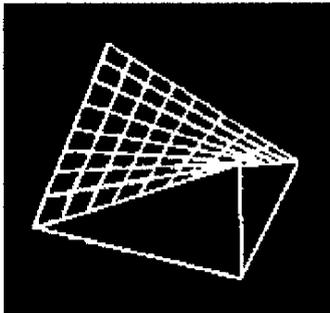


Fig. 4.23. Cobertura com forma plana.

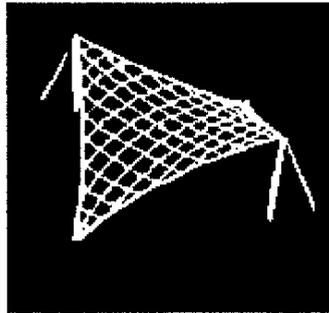
(normalmente com coberturas de duas águas) que vulgarmente são montados por empresas especializadas (fig. 4.23.). A dimensão de vão livre que a tela plana pode vencer entre suportes, pode atingir no máximo 4 m [7], o que constitui a sua principal limitação, pelo que só se adapta a pequenas coberturas, como tendas de estrutura rígida, marquesinhas e toldos (a aplicação mais comum para estas). Uma forma simples de ultrapassar esta limitação pode ser composta através da justaposição de vários troços planos ou curvos de peças de suporte e ser ou não pré-esforçada, pelo que se poderá aproximar a uma estrutura de deformação. O que importa pôr em evidência para distinguir as formas planas das seguintes, tem essencialmente a ver com o papel estrutural que a forma da tela tem na manutenção do equilíbrio da cobertura, que no caso presente não é significativo.

No caso das formas de suspensão simples, sinclásticas, em que o caimento "natural" da tela se dá num plano horizontal, a forma da tela também não tem a ver com o equilíbrio da estrutura. Neste caso, o equilíbrio depende essencialmente da gravidade (do peso da cobertura) e da ausência de ventos laterais, pelo que a forma não é condição de equilíbrio. Neste caso, apesar de serem curvas numa direcção, mantêm-se normalmente planas na outra, a não ser que a tela se suspenda de quatro pontos em que estes se aproximem e provoquem a formação duma superfície abaulada "sinclástica", mas neste caso não haveria condição de equilíbrio em nenhuma direcção, pelo que, com um material a trabalhar puramente em tensão, como as telas arquitectónicas, se tornaria uma situação pouco sensata.

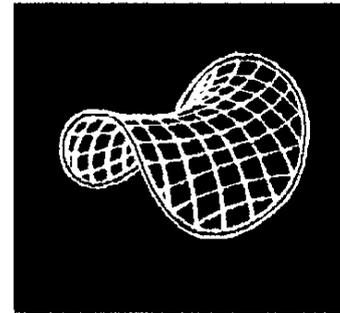
Esta é a forma mais simples de cobertura têxtil suspensa anticlástica e é gerada por quatro pontos, dois elevados e dois mais baixos em vértices opostos não co-planares. A forma resultante é a de um parabolóide hiperbólico, com quatro arestas rectas (fig. 4.24.), com arestas curvas resultantes da suspensão pontual dos cabos do perímetro em quatro pontos, a “vela” (fig. 4.25.) ou um perímetro contínuo rígido em arco, com os dois eixos principais formando curvaturas de secção em forma de parábola, neste caso sendo conhecida por forma de “sela” (fig. 4.26.). Essas parábolas têm curvaturas opostas, uma côncava e outra convexa, o que satisfaz o princípio de estabilidade já referido anteriormente (forma anticlástica). A tela vai ser assim capaz de resistir às forças de gravidade e às de sucção bem como às de outras direcções, desde que seja pré-esforçada. [10]



**Fig. 4.24.** Parabolóide hiperbólico

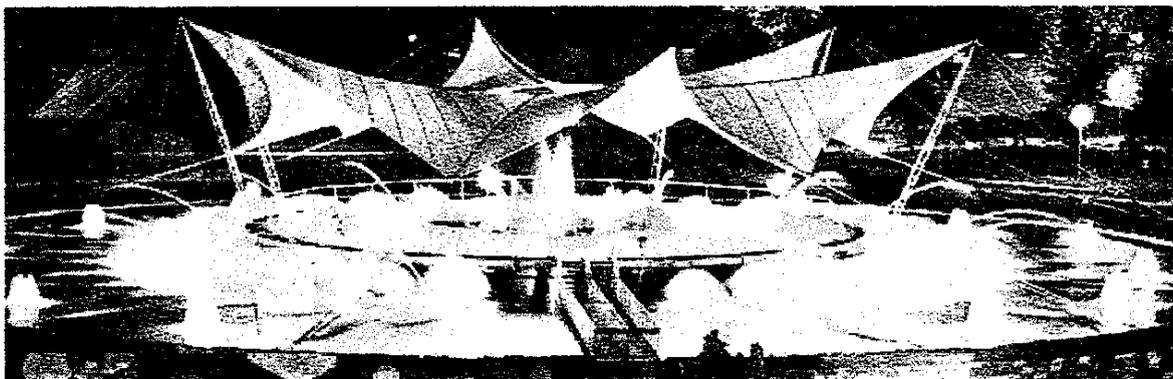


**Fig. 4.25.** Vela



**Fig. 4.26.** Sela

As formas de “vela”, as mais comuns, são normalmente realizadas em tela através de dois mastros, formando os pontos elevados, e de dois apoios ao chão, pontos mais baixos. A partir desta forma base, podem-se criar uma série de outras formas, obtidas pela deslocação dos pontos de apoio, mas sempre mantendo a dupla curvatura invertida nas direcções opostas. A associação de várias peças pode ser combinada resultando em formas compostas novas, como a “onda estrelar”, duma das primeiras coberturas de grande dimensão, realizada por Frei Otto para a Exposição de Jardins de Colónia (fig. 4.27.).



**Fig. 4.27.** “Onda estrelar” de Frei Otto [22]

Nas coberturas suspensas, estas formas são obtidas por uma deformação forçada das telas com um elemento pontual de compressão, normalmente metálico ou de madeira o que implica uma tensão descontínua na tela (em maqueta não podem por isso ser representadas com modelos de bola de sabão). Nas telas insufláveis, o mesmo princípio pode ser aplicado, mas com sentido negativo, para criar depressões na forma base, daí que possam ser utilizados elementos a trabalhar à tracção. Torna-se, em qualquer dos casos, normalmente necessário reforçar essas áreas, com a introdução de uma tela sobreposta à tela principal ou com a introdução de cabos ou costuras suplementares.

#### FORMAS ARREDONDADAS (BOSSAS).

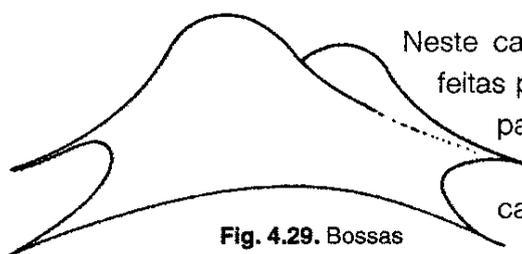
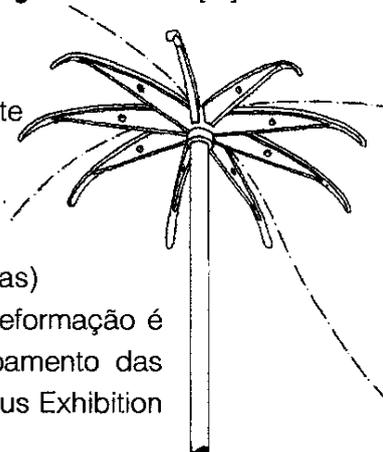


Fig. 4.29. Bossas

Neste caso, as deformações são normalmente feitas por estruturas metálicas em forma de palmeira com arcos concêntricos (fig. 4.28.) ou de semiesfera, que causam uma ou várias curvaturas (bossas)

a uma estrutura inicial plana. Esta deformação é normalmente feita no sentido ascendente de modo a permitir o escoamento das águas pluviais. (fig. 4.29.) Existem alguns exemplos, como o British Genius Exhibition no Battersea Park, ou os Imagination Headquarters, ambos em Londres.

Fig. 4.28. Palmeira [10]



#### CONES.

As formas de vértice puro (fig. 4.30.), nunca podem ser totalmente realizadas em tela, havendo que recorrer a alguns sistemas de remate. "Para demonstrar a dificuldade que existe em realizar os vértices em tela, poderíamos recorrer a um exemplo muito simples, que consistia em tentar esticar uma bola de sabão com uma agulha". [10] A concentração dos esforços nesse ponto iria provocar a rotura. Todas as soluções para se obter este tipo de formas

passam por criar remates ou reforços no vértice da estrutura. Uma solução é fazer passar cabos radiais pelo cimo da estrutura e pela tela de modo a que se distribuam as cargas concentradas aí. Em estruturas mais pequenas basta por vezes a colocação duma anilha de reforço, eventualmente com uma chapa em forma de cone a recobri-la [10]. Um exemplo de



Fig. 4.31. Cobertura de "La Verne" [3]

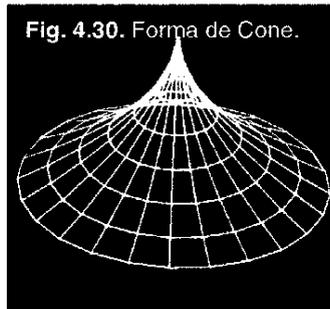
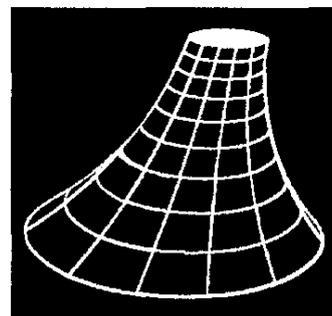


Fig. 4.30. Forma de Cone.

cobertura deste tipo é o Centro de estudantes da Universidade de La Verne, de John Shaver e Bob Campbell, Califórnia. (fig. 4.31.)

A forma gerada pelo afastar de dois anéis, em planos diferentes, é outro grupo das estruturas suspensas anticlásticas, o das formas tubulares, que também poderão ser chamadas de “cones de duplo anel” ou de “cones truncados”. (fig. 4.32.) Para que a tensão na tela fosse uniforme em toda a superfície, a cobertura teria uma forma muito específica, raramente utilizada, um tubo de arestas iguais afunilado no meio. Ao alterar a posição e a dimensão dos anéis, por exemplo descentrando um aro mais pequeno, e se tivéssemos um modelo em bola de sabão, esta reberitaria indicando que a tensão na tela já não era uniforme. [10] Com uma tela real, esta necessitaria algum tipo de reforço, por exemplo pela sobreposição de tela ou utilizando costuras de reforço ou cabos embutidos radiais. O Terminal Hajj do Aeroporto de Djedda (fig. 3.15.) é um exemplo duma estrutura deste tipo.



**Fig. 4.32.** Cone truncado.

A maior parte das coberturas pneumáticas (não insufláveis) são também derivadas da justaposição de formas tubulares, tal como o pavilhão da Fuji para a Expo 70 de Osaka (fig. 4.10.) e neste caso constituem também formas sinclásticas (se considerarmos cada unidade tubular como o elemento estrutural e não a cobertura na sua globalidade, o que neste caso faz sentido).

Se a deformação das telas for resultante de um arco côncavo ou convexo, ou de uma linha recta, então temos um novo tipo de estrutura de tensão descontínua, que é a de aresta. [10] Na fig. 4.33 está representada uma estrutura de deformação com arco. O exemplo mais famoso é o das Bilheteiras do Buckingham Palace. (fig. 3.4.) Aqui, as arestas são formadas pela suspensão da tela em arcos que a suspendem, e não colocados pressionando por baixo desta. Se bem que o sentido das forças que causam a deformação



Fig. 4.33. Deformação com arco



Fig. 4.34. Estrutura de arcos pneumáticos com tela suspensa [4]

é o mesmo, a lógica é inversa. "Se as arestas fossem também pontos de ligação para estruturas distintas e formassem juntas, então já não seria uma estrutura de deformação mas um conjunto de telas de tensão uniforme". [10] Os arcos podem ser peças metálicas de tipo viga treliça de secção triangular, rectangular ou planas, normalmente ancoradas ao chão, como na estrutura de Venafro (ver fig. 3.45.), podem ser simples perfis tubulares suspensos, ou mais recentemente aparecem estruturas do tipo suspensas tipologicamente semelhantes à de Venafro, mas em que os arcos estruturais são realizados em tubos pneumáticos de alta pressão, como o estudo de FTL Happold para a "US Army". (fig. 4.34) A pressão no interior destes tubos estruturais pode chegar aos 4 Bar, com telas de Kevlar / PTFE). [37]

As únicas coberturas que adoptam formas de deformação uniforme são as estruturas insufláveis, já que a forma final de “bolha” é obtida pelas cargas de compressão do ar interior que incidem sobre toda a superfície da tela com um valor igual. Podem ser associadas várias “bolhas” ou criadas zonas de depressão, estabelecendo formas mais complexas, mas sempre com base no princípio de deformação uniforme. (fig. 4.35.)

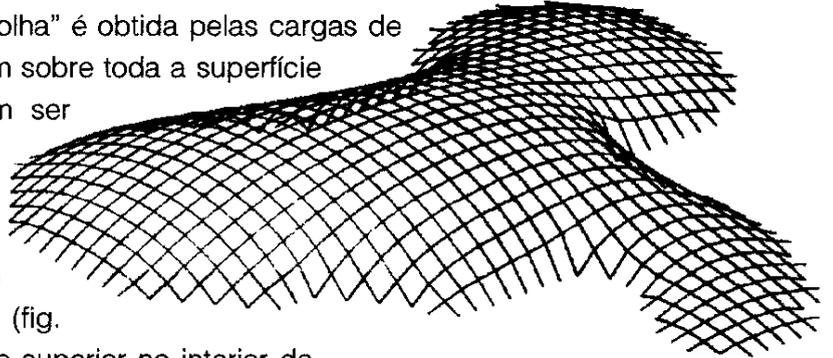


Fig. 4.35. Formas livres [32]

A pressão do ar é normalmente superior no interior da cobertura, por isso podem-se chamar estruturas pneumáticas de pressão positiva. Se a pressão do ar interior fosse menor que a exterior, seria uma estrutura de depressão ou de pressão negativa, o que não é muito comum no caso das coberturas insufláveis, pois além dos problemas de desconforto, não permitem a fácil realização de coberturas com condições para o escoamento das águas pluviais. Frei Otto

concebeu uma estrutura de pressão negativa para um ecrã de projecção para numa Feira Industrial que teve lugar em Berlim, em 1968. (fig. 4.36.) No caso das estruturas tipo “almofadas”, as soluções de depressão tornam-se mais viáveis, especialmente para soluções com duplicação da tela ou de tectos falsos em que a tela interior é mantida por ar com pressão negativa ou em soluções de grande inclinação como paredes / cobertura.



Fig. 4.36. Pressão negativa. [22]

Algumas estruturas tridimensionais “tensegrity” e as cascas reticuladas, poderiam aparentemente ser consideradas como de deformação uniforme, por adoptarem muitas vezes, formas semelhantes às das estruturas insufláveis, baseadas em cúpulas e formas sinclásticas livres. No entanto, não podem ser entendidas como estruturas têxteis de deformação uniforme, já que a tela não se encontra normalmente sob tensão na sua globalidade, mas simplesmente esticada em múltiplos planos. Poderíamos no entanto entender que, como princípio teórico, este tipo de estrutura poderia funcionar solidariamente com a tela e exercer uma tensão de deformação uniforme sobre esta, e assim poder ser considerada uma estrutura de deformação uniforme, o que na prática não se tem realizado por dificuldades óbvias de montagem.

Como a forma da estrutura têxtil suspensa resulta directamente da geometria das suas arestas, entre as quais é suspensa, o projectista não pode simplesmente desenhar uma forma e deixar para que os engenheiros especializados a calculem. Deverá antes, em colaboração com estes, desenhar a forma do perímetro a partir do qual a estrutura pretendida será gerada. Este limite da tela é normalmente contínuo, podendo ser flexível ou rígido. A maioria dos limites são flexíveis, com cabos inseridos no próprio tecido por uma costura de remate ou exteriores, formando catenárias. [10] Na pesquisa da solução arquitectónica deverão ser realizados modelos à escala, que terão de ser cuidadosamente estudados e calculados de modo a ficar garantida a adequação da forma da tela à sua estrutura de suporte. Estes modelos poderão ser feitos em maquete ou actualmente através de simulação em computador e o seu cálculo já é praticamente sempre realizado através de ferramentas informáticas. As duas fases podem ser sequenciais, mas preferentemente, deverão ser realizadas simultaneamente. [38]

A forma correcta para uma tela suspensa pode ser encontrada com a ajuda de modelos tridimensionais em bola de sabão, materiais flexíveis tecidos ou películas tais como o nylon, a licra ou o acrílico. [10] Uma película de sabão pode ser formada no interior de um perímetro delineado em arame ou fio. Esta irá automaticamente adoptar uma forma de superfície em tensão uniforme, que será uma réplica à escala, da forma "ideal" resultante. (fig. 4.37.) Alternativa ou complementarmente poderão ser utilizados tecidos suficientemente flexíveis e finos, onde eventualmente serão colocados pequenos pesos ou molas para simular o comportamento real. (fig. 4.38.) [10] Haverá então condições para serem tiradas fotografias da

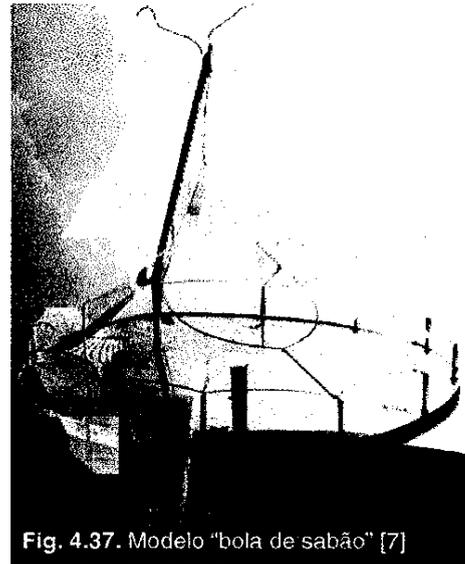


Fig. 4.37. Modelo "bola de sabão" [7]

forma resultante e do efeito das cargas na estrutura, nomeadamente através do método especial de "Moiré", [32] tiradas medidas e dimensionados os moldes para corte das peças definitivas. Trabalhar com estes modelos dá ao projectista uma boa previsão dos resultados,



Fig. 4.38. Maquete em tecido [9]

mas comporta também alguns problemas, nomeadamente os devidos à ampliação de um modelo tão pequeno para uma realidade tantas vezes maior. (onde os erros poderão resultar aumentados na mesma proporção da ampliação, tal como sucede nas mesas de corte de tecido para vestuário com moldes em escala reduzida) [10].

No caso concreto de Frei Otto, nos seus primeiros projectos dos anos 50, este testava-os usando modelos com "bolas" de sabão, que lhe dava a resolução natural da forma gerada dentro do perímetro definido. Posteriormente fazia maquetas de maior precisão em tecido, as quais eram utilizadas para analisar as deformações e cargas da estrutura, o que se fazia utilizando finos cabos de aço e molas calibradas. [8] Experiências em túnel de vento eram levadas a cabo, sendo os modelos fotografados, quando sujeitos a diversos tipos de cargas, de modo a poder ser analisado o seu comportamento estrutural. Os modelos finais são realizados numa escala mais pormenorizada e servem para determinar os padrões de corte da tela ou de outro material utilizado (no caso do Estádio Olímpico de Munique era acrílico). O processo de desenho e cálculo da cobertura do Pavilhão da Alemanha na Expo 67 de Montreal, utilizando este método, levou a Frei Otto e aos seus colaboradores 20.000 horas de trabalho. [8]

A complexidade inerente à concepção duma arquitectura minimalista como são as coberturas têxteis de grande dimensão, não apenas no que diz respeito aos cálculos de estrutura, mas também à sua visualização, exigia novas ferramentas de trabalho. O desenvolvimento da informática trouxe um método alternativo para o desenho e cálculo das estruturas têxteis suspensas e pneumáticas: o desenho assistido por computador. (CAD) Este método permite aos projectistas e às empresas especializadas na construção de estruturas têxteis concretizar as suas ideias num espaço de tempo muito menor do que sucedia ainda há menos de 20 anos. [10] As 20.000 horas que Frei Otto e os seus colaboradores perderam no desenho, cálculo e afinação da forma do Pavilhão da Alemanha na Expo 67 de Montreal, eram actualmente reduzidas a bastante menos horas de trabalho e a uma equipa muito menor, inclusivamente com mais rigor, utilizando o CAD.

Uma vantagem associada a estes sistemas é a de permitir ao Projectista, modificando todos os dados possíveis, testar alterações na forma, nos materiais, nas diferentes maneiras de distribuir as tensões na tela e nas amarrações do solo, até conseguir encontrar a afinação ideal. [10] Os computadores hoje, não só permitem o cálculo mais rápido das estruturas, como também a visualização e o estudo coordenado da sua forma. [8] Podem ser por exemplo, definidas e visualizadas no monitor diferentes cores, para facilmente se visualizar a distribuição do esforço em todas as zonas da membrana e eventualmente detectar falhas no comportamento da estrutura. [10] Existem agora programas de computador capazes de calcular as estruturas com muita precisão, em função dos parâmetros já definidos de resistência dos vários tipos de tela e de cabos, além de fazerem apresentações virtuais com realismo.

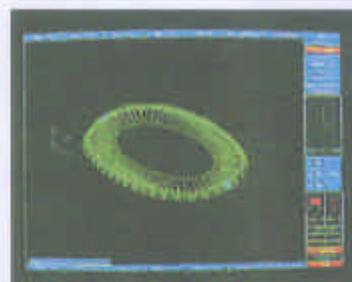


Fig. 4.39. CAD - Modelo linear [18]

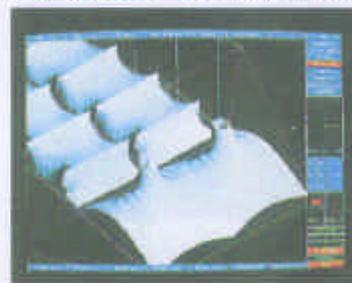


Fig. 4.40. Cad - Modelo "Shade" [18]

Podem-se considerar cinco fases no projecto duma construção têxtil com CAD:

- Pesquisa da forma com o auxílio das ferramentas tridimensionais de desenho com computador e determinação do perímetro em alçados, cortes, planta e mesmo na determinação da verdadeira grandeza da área.
- Cálculo da forma "pura" que uma tela assumirá quando se estabelece a ligação entre os perímetros propostos para esta, e, tal como num modelo de bola de sabão, as cargas são uniformemente distribuídas pela superfície.

- Ensaio das características físicas duma determinada tela e o seu comportamento dinâmico em função do tipo de tela, da largura e espessura desta, das diferenças de resistência entre tela e trama, ou outras que possam influenciar a forma predefinida. [10]
- Podem ser feitas apresentações com aspecto mais "desenhado", em cores (fig. 4.40.) ou a preto e branco, com ou sem sombras e mesmo imagens "fotorrealistas", por exemplo com a colocação do modelo tridimensional CAD com "Rendering" (fig. 4.41.) sobre fotografia do local a implantar.
- Finalmente, o CAD poderá ser utilizado para a determinação dos padrões de corte da tela (fig. 4.42.), ligando a sistemas (CAD / CAM) podendo automaticamente ser feita a previsão dos gastos de tela e o corte automatizado, minimizando os desperdícios.

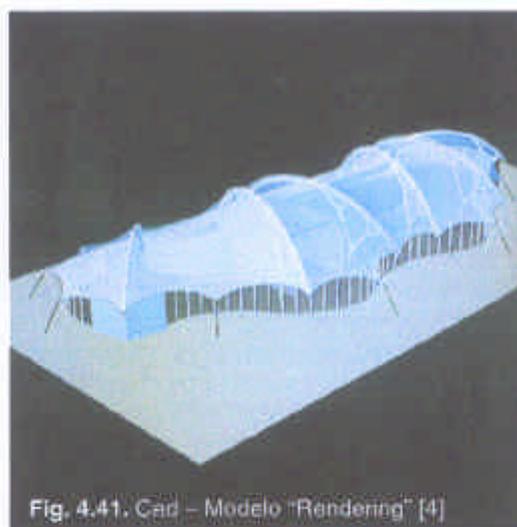
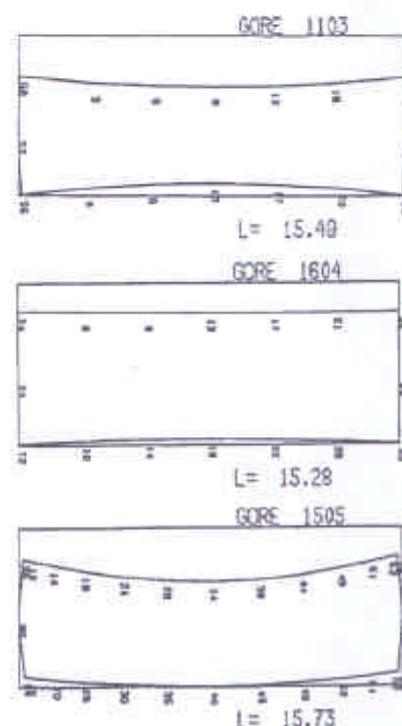


Fig. 4.41. Cad - Modelo "Rendering" [4]

Fig. 4.42. Desenho CAD dos padrões de Corte das Telas [9]

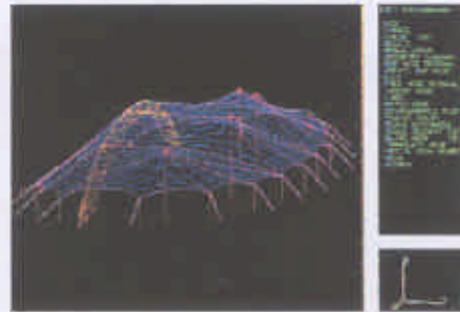
Podem no entanto apontar-se algumas desvantagens associadas à utilização do CAD, quando não se tem cuidado na maneira como se faz essa utilização [10]:

- O projectista pode chegar a respostas satisfatórias sem estar consciente dos princípios teóricos e físicos que estão por trás da concepção das telas arquitectónicas, o que limita de certa forma a criatividade.
- As imagens de computador acabam por não ser tão facilmente visualizáveis como uma maquete e poderão induzir em erro. Por exemplo, áreas que no modelo de computador podem parecer suficientemente inclinadas para escoar água da superfície, poderão não o ser na realidade, o que, através duma maquete mais facilmente se veria.
- Os programas são bastante específicos e complexos e requerem muitas vezes conhecimento especializado, além de que muitos dos programas são desenvolvidos pelas próprias empresas de construção de estruturas têxteis e não estão disponíveis no mercado, ou são vendidos a um preço muito elevado.



Existem vários programas CAD, já disponíveis no mercado, para concepção e cálculo de estruturas têxteis, [38] normalmente lançados por empresas especializadas na construção e projecto deste tipo de coberturas; como a Birdair, com o MCMlite; (fig. 4.43.) [catálogo] a Buro Happold, com o Tensyl-XM [4] ou módulos de extensão a trabalhar com base em programas de CAD para arquitectura, lançados pelas empresas de informática, como a Softdesk. Os programas podem dispor de vários graus de complexidade e ser mais vocacionados para a pesquisa da forma e visualização, ou então para o cálculo estrutural, mas continuam a deixar os projectistas relativamente dependentes da consulta aos especialistas que os criaram, já que normalmente exigem conhecimentos especializados na manipulação das suas ferramentas mais complexas. [38]

Fig. 4.43. MCMlite [catálogo da Birdair]



Parece no entanto que a maneira mais sensata de pesquisar sobre a forma das telas têxteis suspensas será através duma complementaridade entre os dois tipos de modelos, realizando maquetas para as primeiras pesquisas de forma e testá-las em alternância com modelos tridimensionais realizados em computador, analisando-as sob diferentes solicitações de carga e, já na fase de execução, recorrendo ao computador para a realização dos moldes de corte. As maquetas, mesmo sabendo que hoje dispomos dos métodos de visualização por computador, têm sempre a vantagem de ser meios experimentais mais perceptíveis e assim abrir novas pistas na pesquisa da forma, pois é por vezes “moldando” a forma numa maquete que surgem soluções inesperadas ou que se sugerem outras.

Nas coberturas de grande dimensão, sujeitas a tensões e a cargas fora do comum, revela-se por vezes necessária a realização de modelos à escala real, como no caso da estrutura do Terminal Hajj. “Duas maquetas à escala 1/1 foram realizadas em Ohio, em 1978, para testar a tela através da colocação pontual de medidores de carga e sensores, verificando os valores resultantes dos cálculos de computador e demonstrar assim a viabilidade do projecto”. [10]

As telas usadas em estruturas têxteis, principalmente nas suspensas, trabalham sobre esforços de tracção. São normalmente utilizados cabos periféricos para ajudar a definir a forma. Os cabos encontram-se normalmente mais tensos que a tela, pelo que a tela tem tendência a ganhar maior deformação entre estes, reduzindo o seu vão livre. Um vão menor deflece com um raio de curvatura menor, para um esforço de tracção igual, pois a capacidade resistente duma estrutura de membrana suspensa é inversamente proporcional ao seu raio de curvatura. [7] As telas são normalmente pré-esforçadas uniformemente segundo duas direcções. Quando em esforço de carga, a curvatura e o esforço têm tendência a aumentar na direcção dos esforços principais e diminuir na outra, até a tela ficar "solta" nessa direcção. A existência destas "folgas" é indesejável pois pode levar ao excessivo esforço sobre uma direcção ou permitir uma oscilação exagerada, por exemplo por acção do vento, e conduzir à rotura da tela em fenómenos conhecidos como "galope" e "flutuação". [34] Neste caso, as características anisotrópicas de grande parte das telas poderão ser exploradas para permitir um comportamento mais homogéneo da estrutura, tornando-se por isso importante decidir as direcções da teia e da trama. É também neste sentido que as estruturas suspensas de tela são normalmente sujeitas a um elevado pré-esforço, que varia com o módulo de elasticidade e com a resistência à tracção dos materiais utilizados.

Em estruturas com arcos rígidos de suporte, vigas rígidas e ancoradas no chão ou a estruturas rígidas, as deformações são pequenas ou mesmo inexistentes, comparadas com o movimento elástico da tela, pelo que poderão ser ignoradas. Contudo, em estruturas suportadas por mastros, como as de deformação pontual ou as cónicas, estes deverão ser estabilizados com a ajuda de cabos que o impeçam de varejar, ou então, poderão mais vantajosamente ser oscilantes, com uma base em rótula, calculados juntamente com a tela, permitindo assim minimizar a tensão sobre a tela causada por esforços de carga aplicados, como os do vento, distribuindo estes mais uniformemente pela superfície da membrana.

O pré-esforço mais elevado está normalmente associado a telas menos elásticas e também a um maior grau de precisão de corte e de montagem. A carga de pré-esforço varia também com os esforços a que a tela irá estar sujeita, mas essencialmente às características da tela. Assim, os valores típicos para pré esforço são, segundo R. E. Shaeffer [7];

- 6-8 kN por metro em telas de Fibra de Vidro / PTFE pesadas.
- 4-6 kN por metro em telas de Fibra de Vidro / PTFE ligeiras.
- 1-4 kN por metro em telas de Poliéster / PVC.

Para a escolha do sistema de pré-esforço, existem três aspectos práticos a considerar [10]:

- A forma - Não deverá ser excessivamente curva, o que poderia originar tensões exageradas, sendo aconselhável, antes de decidir sobre a forma final, colher a opinião de especialistas com prática, nomeadamente construtores e fabricantes de telas. A fig. 4.44. dá um exemplo do resultado do processo de pré-esforço.

- O Material da tela - O tipo de tela que normalmente levanta mais problemas na montagem é a Fibra de Vidro / PTFE, pela sua pouca elasticidade e excessiva resistência que dificulta a distribuição das cargas.

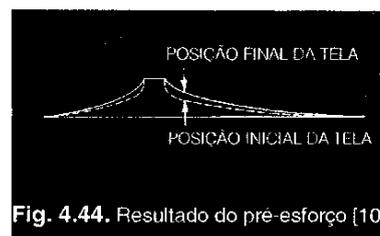


Fig. 4.44. Resultado do pré-esforço [10]

- Os sistemas de suporte - Deverão ser concebidos de modo a poderem ser ajustáveis e flexíveis, para ser possível mover as suas partes nas direcções necessárias à criação do pré-esforço. Normalmente estes movimentos serão em direcções contrárias, expandindo a base e puxando o apoio superior. (fig. 4.45.)

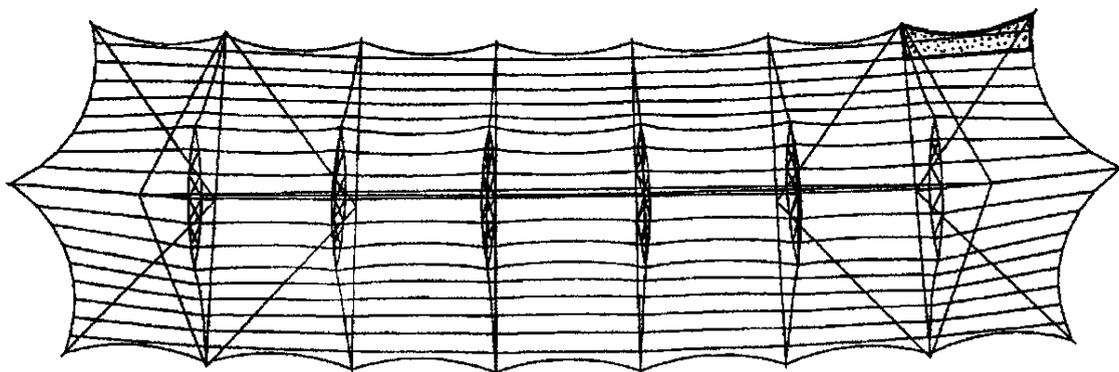


Fig. 4.45. Aplicação do pré-esforço [10]

No caso das estruturas pneumáticas, o pré-esforço é contínuo ao longo de toda a tela e consiste na aplicação duma pressão de ar superior à pressão de sustentação da estrutura.

Estando definidas a forma, o método e a direcção do pré-esforço deverá então ser cuidado o aspecto da orientação do tecido (se à teia ou à trama) e das costuras. [10] Deverão ser considerados os seguintes aspectos quando se decide sobre as direcções:

- **Aparência.** As telas arquitectónicas são feitas de tiras de tecido e as juntas que as ligam vão formar um desenho. A direcção e o desenho das costuras é, além dum aspecto técnico importante a considerar, um factor estético essencial. Por exemplo será completamente diferente ter umas costuras em anel, em vez de radiais, numa forma cónica. [10] Na figura 4.46., temos um exemplo dum desenho do padrão de tiras da cobertura do edifício das bilheteiras do Buckingham Palace.
- **“A anisotropia”.** O diferente comportamento entre a teia e a trama, nas telas que têm por base tecidos, provoca características anisotrópicas que deverão ser tidas em conta ao decidir as direcções do tecido. As telas tecidas são normalmente pré-esforçadas na direcção da teia e não da trama, o que iremos desenvolver no capítulo referente aos materiais. Quando o esforço é aplicado na direcção da trama, a tela é pré-esforçada só na direcção dos fios de trama. Se esse pré-esforço for aplicado na direcção da teia, os fios de teia forçam a trama a ceder para o interior o que causa uma distribuição das cargas pelas duas direcções, chamando-se a esse fenómeno interligação dos frisados (crimp interchange), [10] o que é vantajoso para o aumento de resistência da tela estrutural e dá à tela características mais isotrópicas, permitindo um menor cuidado ao decidir qual a direcção da teia e trama na cobertura.



**Fig. 4.46.** Padrão de tiras. [10]

As telas arquitectónicas são fornecidas em rolo, que pode ter várias larguras, mas normalmente estão limitados a valores máximos que variam entre 1,5 e 4 metros. Além disso, os padrões de corte nem sempre seguem formas rectilíneas, por exemplo em estruturas radiais, pelo que as tiras de tela ainda se tornam mais estreitas que a largura dos rolos, pelo que a existência de juntas na superfície da tela é sempre inevitável. É importante que os esforços da tela sejam transmitidos pelas juntas sem nenhum efeito

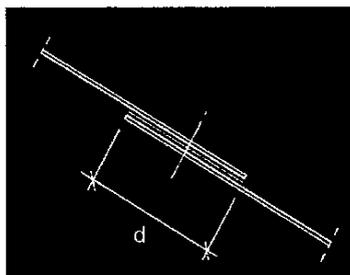


Fig. 4.47. Sobreposição de telas. classe LSa [39]. (fig.4.47.)

perverso sobre a estrutura, ou seja, estas deverão ser capazes de ter um comportamento solidário com a tela. Deverão ser previstas juntas com resistência adequada a esforços de carga curtos, como o vento, e longos, como o peso próprio e adequadas ao pré-esforço definido. Em grande parte dos casos existe a sobreposição das telas apenas nos bordos, podendo-se classificar como costuras de

Existem fundamentalmente três métodos de unir as telas arquitectónicas:

- **Costuras com linha.** Trata-se do mais forte tipo de junta, mas há que ter cuidado pois a linha é muito susceptível de degradação, perdendo-se assim resistência. As costuras são normalmente indicadas para o Poliéster / PVC onde normalmente são combinadas com a colagem a quente, para aumentar a resistência e em situações exteriores deverão ser protegidas por um revestimento de PVC adicional. As costuras não são apropriadas para a tela de Fibra de Vidro, pela sua natureza "quebradiça". Na fig. 4.49. apresenta-se uma costura deste tipo, com a vantagem de ser do tipo de laçada, o que diminui a possibilidade de infiltração e aumenta a elasticidade. [10]
- **Colagem a quente.** Neste caso a ligação é feita por sobreposição das telas, aquecendo a junta acima do ponto de fusão da camada de revestimento das telas e pressionando-as enquanto se dá o arrefecimento. O aquecimento pode ser feito através de um jacto de água quente, por contacto com elementos aquecidos ou, mais frequentemente, por radiações electromagnéticas (alta frequência). As colagens a quente são apropriadas tanto para o Poliéster / PVC como para a Fibra de Vidro / PTFE. No segundo caso um material diferente deverá ser entreposto entre as duas telas, pois o revestimento de PTFE não apresenta as propriedades colantes que as permitam ligar entre si. (fig.4.48.b e 4.48.c) [10]

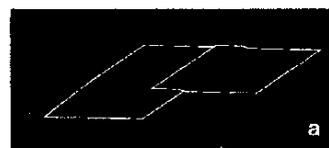


Fig. 4.48. Colagem de telas [13]

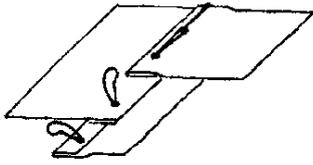


Fig. 4.49 Laçadas [13]

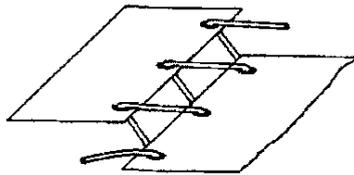


Fig. 4.50. Ilhós [13]

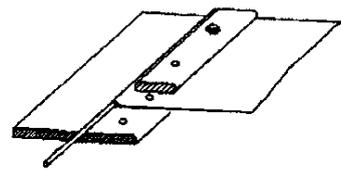


Fig. 4.51. Varões (perspectiva) [13]

- **Ligação mecânica.** As juntas do tipo mecânico são normalmente as mais indicadas para a execução em obra. Existem ligações mecânicas de três tipos: 1º O método mais simples é ligar uma série de ilhós espaçados em intervalos regulares através de uma corda ou cabo. (fig.4.50.) Este tipo de junta é fácil e rapidamente realizada em obra mas não é impermeável. 2º Um outro método é o que se mostra na fig. 4.51. e 4.52. e que consiste em dobrar as duas telas, fazendo passar nas dobras varões e fixar ambos através de barras de alumínio descontínuas e fixas à pressão por varão de aço e porcas. 3º Como se mostra na fig. 4.53., pode-se também ligar as duas telas através dum perfil metálico, normalmente alumínio, no qual se encaixam as duas telas e onde, previamente, foram colocados varões de remate. Estes perfis de alumínio deverão também ser descontínuados, como no caso anterior, para permitir os movimentos da estrutura. [10]

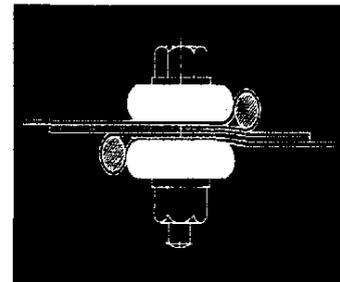


Fig. 4.52. Varões (corte) [10]

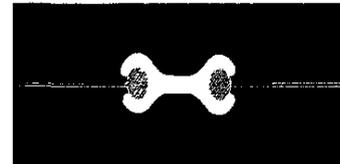


Fig. 4.53. Perfil especial [10]

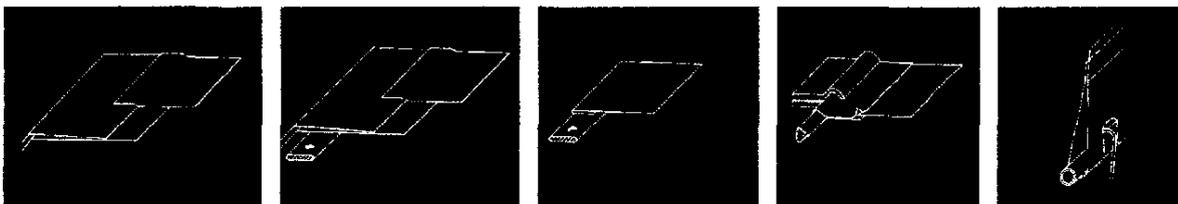


Fig. 4.54. Ligações perimetrais [13]

Os mesmos princípios aplicam-se normalmente à ligação da tela na periferia, quer com os cabos e tubos que circunscrevem o perímetro, quer com elementos diferentes, rígidos ou flexíveis. A figura 4.54. mostra exemplos de algumas dessas ligações.

A qualidade da resistência das juntas tem a ver com a adesão dos revestimentos e a largura da sobreposição das telas no caso da termocolagem e ligação mecânica e com a largura e tipo de ponto no caso da costura com linha. As larguras típicas  $d$ , (fig. 4.47.) para as juntas, são de 25 a 50 mm para telas de Poliéster / PVC e de 50 a 75 mm para telas de Fibra de Vidro / PTFE ou Fibra de Vidro / Silicone e o tipo de ligação mais adequado é normalmente recomendado pelo fabricante conforme se pode ver nas tabelas do anexo B.

A maior ou menor durabilidade duma cobertura ou duma construção em que uma tela têxtil é utilizada no exterior, depende da combinação de vários factores, que vão desde as características do material utilizado, à concepção formal, ao desenho das suas componentes, à qualidade da construção e às características ambientais a que está sujeita (humidade, insolação e poluição na área). Os factores de desenho que condicionam a durabilidade e podem prolongar ou limitar esta são, entre outros;

- A exposição às radiações ultravioleta do sol é um dos principais factores de desgaste das telas, pelo que deverá ser ponderado o reforço das zonas expostas ou o seu sombrear (tendo em conta as perdas térmicas inerentes), para não se dar um desgaste prematuro. Poderá durante o desenho ser prevista a fácil substituição das zonas mais expostas. As telas que têm como base tecido de Poliéster são muito mais susceptíveis de sofrerem desgaste, pela exposição às radiações solares, do que as de Fibra de Vidro. Por esta razão, as telas de Poliéster, mais opacas e brancas (com mais reflectância), apresentam uma maior durabilidade do que as mais escuras e/ou transparentes e por isso menores custos de manutenção.
- Cuidar do potencial efeito de abrasão sobre a tela, especialmente em orientações particularmente ventosas (por exemplo junto ao mar onde o vento transporta areia), reforçando a tela, utilizando barreiras de vento naturais como árvores ou dunas ou trabalhando a aerodinâmica da forma.
- Calcular rigorosamente a forma final, os padrões de corte do tecido e os esforços a que a tela está sujeita de forma a prevenir situações de excesso ou falta de tensão que podem resultar em perda de propriedades estruturais ou rasgo.
- Em locais de fácil acesso ou perigosos, configurar a estrutura de maneira a evitar actos de vandalismo, como cortes na tela ou impactos com objectos contundentes.
- Cuidar especialmente os pontos em que existe uma concentração superior de esforço, como os vértices de estruturas suspensas de deformação pontual. O reforço dos pontos pode ser através de cabos de reforço, da colocação de uma segunda tela nesse ponto ou da execução de costuras especiais.
- Cuidar do transporte das telas para o local de obra ou em estruturas móveis sempre que há uma reimplantação, prever as condições de acondicionamento em viagem e das operações de montagem e desmontagem, bem como escolher o material mais apropriado.

## LIMPEZA

Um dos factores essenciais que diz respeito aos cuidados de manutenção é a limpeza. Estruturas bem concebidas e com materiais auto-laváveis, não requerem grandes cuidados de limpeza e têm uma fácil manutenção. Com certos materiais, como a Fibra de Vidro / PTFE, os únicos cuidados de manutenção, em termos de limpeza, dizem apenas respeito a pequenos riscos ou manchas que podem ser devidos a vandalismo ou à proximidade de vegetação ou animais, para os quais as empresas fornecem normalmente aos utilizadores pequenos Kits de limpeza com produtos adequados. [3]

Os tecidos normais, sem revestimentos protectores, como as lonas de algodão, têm normalmente uma grande propensão à acumulação de sujidades e mesmo humidade. No caso das fibras naturais, isto sucede mais frequentemente e torna mais difícil a sua limpeza, já que a própria fibra absorve as sujidades. Este facto acelera também o seu processo de envelhecimento, pelo que a sua durabilidade, mesmo quando sujeita a tratamentos simples de protecção, revela-se bastante reduzida. Estes tratamentos de protecção podem ser feitos com acetato de alumínio [36], resinas ou ceras e têm como principal função a impermeabilização. A pouca resistência mecânica destas fibras, a sua pouca durabilidade e o elevado peso relativo, torna-as no entanto inviáveis para a realização de grandes coberturas, pelo que só com fibras não naturais, a arquitectura têxtil se torna efectivamente competitiva para estruturas não efémeras e de grande dimensão.

Mas, mesmo no caso dos tecidos realizados com fibras acrílicas, como o Poliéster e a Fibra de Vidro, a durabilidade ficaria seriamente comprometida sem uma protecção eficaz, pelo que se criaram diversos processos de revestimento. No caso do Poliéster, geralmente o PVC e no caso da Fibra de Vidro, o PTFE ou a Silicone. O PVC no entanto, apresenta alguma tendência a reter sujidades, pelo que se torna necessária uma limpeza regular. Quando esta limpeza se torna difícil, especialmente quando a acessibilidade à cobertura é difícil, as telas de Poliéster / PVC ainda podem ser posteriormente protegidas com tratamentos anti-sujidade ou sobre-revestimentos (top coatings) para uma menor necessidade de limpeza e uma maior durabilidade. No caso dos tecidos de Fibra de Vidro, a protecção da própria água e da humidade é muito importante, pois a Fibra de Vidro é facilmente atacada pela água, sendo normalmente utilizado o PTFE e mais recentemente a Silicone como revestimentos protectores. Os revestimentos de PTFE, como o Teflon, mantêm normalmente o seu bom aspecto, pois as partículas de sujidade não aderem à superfície e a água da chuva remove todas as poeiras, daí serem consideradas auto-laváveis. Também não mostram tendência a amarelecerem, antes pelo contrário, já que o sol branqueia o PTFE, pelo que não se mostra tão necessário cuidar no seu desenho, a acessibilidade para limpeza. [10] Surgiu recentemente um tecido de PTFE que, com uma resistência bastante elevada, intermédia entre o Poliéster e a Fibra de Vidro, se revela, no entanto, sem as desvantagens de durabilidade de qualquer um deles, não necessitando assim de qualquer revestimento protector.

O facto de uma estrutura ser itinerante e a frequência de desmontagens e montagens, podem também fazer variar a sua durabilidade, que pode chegar a diminuir para metade em relação a uma estrutura fixa (se considerarmos apenas o tempo em que a estrutura está exposta aos agentes atmosféricos). Neste caso, os tecidos recomendados são os de base Poliéster e o tecido de PTFE referido anteriormente, mas por questões de custo a opção recai geralmente sobre os primeiros, nomeadamente o Poliéster / PVC. Para soluções onde a durabilidade exigida é maior e a dificuldade de acessibilidade não permite limpezas e renovações frequentes, o segundo é indicado (por exemplo em coberturas de estádios conversíveis). Existem contudo empresas especializadas em realizar limpezas em coberturas, mesmo de acesso difícil. (fig. 4.55.) [catálogo da DMS Int.]

Fig. 4.55.



## REPARAÇÃO

Pequenos rompimentos, provocados por vandalismo, podem normalmente ser reparados no sítio. Deverão, por várias razões, ser feitas inspecções regulares à superfície da tela, já que estes pequenos rompimentos podem resultar em danos mais graves e mesmo no colapso de algumas estruturas. A infiltração de humidade nas fibras do tecido interiores por danos no revestimento pode por exemplo levar à perda das propriedades mecânicas do tecido interior, por exemplo no caso da Fibra de Vidro. Grandes danos deverão ser comunicados ao construtor da estrutura que poderá necessitar removê-la para reparação. [10]

## REAJUSTE DA TENSÃO

Nas estruturas suspensas, após a construção, só se tornam necessários pequenos reajustes da tensão (normalmente dispendo para isso de esticadores), especialmente em materiais menos estáveis como o Poliéster / PVC. Estes reajustes fazem normalmente parte dum plano de manutenção que os próprios construtores realizam. As estruturas com Fibra de Vidro / PTFE não mostram normalmente grande perda de tensão. [10]

## INSPECÇÃO DOS CABOS

Os cabos exteriores são normalmente objecto de corrosão e deverão ser regularmente inspeccionados, principalmente nas ligações com os acessórios metálicos como os esticadores, as forquilhas e especialmente quando estes têm protecções plásticas que escondem o seu interior. [10]

# C A P Í T U L O      V   -   M A T E R I A I S

Neste capítulo faz-se uma breve descrição dos primeiros materiais construtivos ligeiros e a evolução registada até às soluções actualmente disponíveis no mercado, nomeadamente as telas arquitectónicas. É feita uma análise da composição das telas mais utilizadas e dos materiais que as compõem - as fibras, os tecidos, os revestimentos e os painéis "sandwich". Finalmente apresentam-se as principais propriedades estruturais e não estruturais dos diferentes tipos de telas e os métodos de avaliação destas.

Os materiais de construção dos primeiros abrigos eram cascas de árvore suportadas por ramos. Por cima destas eram utilizadas peles de animais e, posteriormente, folhas de palmeira entrançadas que gradualmente, foram sendo substituídas por tecidos de lã ou algodão. Com a sedentarização, a pouca durabilidade e resistência das fibras naturais levou a um certo abandono das construções têxteis, ficando relegadas para utilizações pontuais de carácter efémero e normalmente associadas a povos ou grupos nómadas. “Ao longo da história da arquitectura e em todas os continentes, os têxteis nunca se evidenciaram como um material para construções permanentes, mas mais vulgarmente para a realização de abrigos. Construir subentende durabilidade, proteger é pelo contrário, um acto efémero”. [18] Só no presente século, com a generalização das fibras não naturais e dos revestimentos plásticos, os materiais têxteis para arquitectura evoluíram numa forma significativa, sendo talvez essa a razão pela qual o interesse nas construções têxteis se tem vindo gradualmente a retomar. Os motivos que levaram inicialmente ao seu abandono, como a pouca resistência e durabilidade das fibras naturais com que eram feitas, que não as tornava adequadas para a realização de grandes construções de carácter perene, deixaram uma impressão negativa sobre as construções têxteis que tem sido difícil contrariar, especialmente em mercados mais “tradicionais”, menos receptivos à inovação, como o Português. O facto dos materiais de que são feitas as telas serem hoje muito mais evoluídos, nomeadamente pela utilização de fibras sintéticas e terem valores de isolamento e resistência superiores a uma vulgar parede realizada em tijolo, mas com uma espessura muito menor e um custo relativamente acessível, podem não ser razões suficientes para despertar a credibilidade dos utilizadores ou dos promotores para estas soluções. A resistência à utilização dos têxteis como um material de construção, baseia-se num pressuposto cultural de que uma tenda não é um edifício - que não é forte, permanente, à prova de fogo ou suficientemente isolante. [3] As telas têxteis são talvez melhor entendidas quando utilizadas como um material simbólico, se a sua leveza for essencial para passarem despercebidas, para a cobertura se diluir no ar e confundir a relação interior / exterior. Continuam no entanto a subentender um carácter efémero, apesar de hoje em dia serem utilizadas em certas construções de carácter definitivo. Mas sem dúvida que a leveza é a sua característica fundamental, quando se revela importante a existência de mobilidade e de flexibilidade de uso.

Os engenheiros, arquitectos e designers de hoje têm disponíveis materiais cada vez mais evoluídos, que permitem a exploração de novos conceitos e sistemas construtivos, mas que ainda não têm uma aceitação generalizada, por razões de diversa ordem, entre as quais os custos, mas que têm vindo, numa tendência crescente, a incrementar a sua presença. Muitas vezes, é a insuficiente exploração das capacidades dum material que leva à sua pouca utilização, já que alguns materiais aparentemente mais caros, podem na realidade, se devidamente compreendidas as suas potencialidades e correctamente

aplicados, levar a significativas poupanças. Materiais com características que há poucos anos só eram possíveis em ficção científica, constituem hoje uma realidade, e não apenas no que diz respeito às matérias primas e sistemas construtivos, mas também à exploração de novas fontes de energia ou ao melhor aproveitamento das existentes. Os custos reais de limpeza e recuperação dos danos ambientais, causados pelas fontes de energia tradicionais como o carvão, o petróleo e o gás natural, obrigam-nos a pensar em estruturas e materiais mais eficientes, aos quais também poderemos chamar de "inteligentes", que poderão facilmente ser construídos em estaleiro, rapidamente montados em obra, com menores gastos em energia, matérias primas, mão de obra, menor ruído e sem poluição atmosférica. Poderão mesmo num futuro próximo, incorporar materiais e sistemas que se auto "construam" e façam a sua própria manutenção e que podem muito bem ser têxteis ou compostos de têxteis. [3]

Um dos materiais que o Homem utilizou para cobrir os seus primeiros abrigos artificiais, quando começou a abandonar as cavernas, bem como para o seu vestuário e para a escrita, foram as peles dos animais. Quando estas se começaram a revelar insuficientes, tanto em questão de quantidade como em questão de qualidade, o Homem foi sentindo a necessidade de desenvolver produtos alternativos, inicialmente cascas de árvores e folhas de palmeira entrançadas e mais tarde, possivelmente há cerca de 10.000 anos, os têxteis, no caso do vestuário e abrigos. Da mesma forma, o papiro e o papel tomaram também o lugar das peles como suporte para a escrita. Os primeiros tecidos para a construção, realizados com fibras naturais como a lã ou o algodão, serviam para a realização de tendas ou mesmo no aproveitamento de energias alternativas, como por exemplo nas pás dos moinhos de vento ou nos veleiros. O algodão ainda é a fibra mais utilizada em tecidos destinados a pequenas coberturas e toldos. Também se utilizam, se bem que com menor frequência, linho, cânhamo ou juta. [36]

Estas fibras naturais, que o homem utilizava nos tecidos até ao princípio do nosso século, quer fossem animais ou vegetais, dispunham de qualidades mecânicas reduzidas, permitindo apenas utilizações provisórias e em estruturas de pequeno porte. [18] Ainda nos anos 50, os tecidos e os revestimentos de que dispunha Frei Otto apenas permitiam a realização de vãos pequenos e de estruturas com pouca durabilidade. [10] Impunham-se assim novos materiais, que pudessem responder com eficácia a estas limitações.

Com a aplicação das fibras não naturais, ou químicas (que conjugavam resistências mecânicas e durabilidade muito superiores à das fibras naturais), assistimos a um aumento do interesse, por parte dos técnicos de construção, pelas estruturas têxteis arquitectónicas. [18] “Nos anos 60, o desenvolvimento destas continuou no entanto limitado pela falta de alguma audácia dos técnicos. Com efeito, se outros materiais estruturais como a madeira, a pedra, o betão e o alumínio são tecnicamente acessíveis e fonte de criatividade, o mesmo não se terá passado com as telas”. [18] As dificuldades de concepção eram grandes, em parte pela limitação provocada pelos complexos cálculos e pela demorada concepção formal através de maquetas. Com efeito, o comportamento destas difere bastante da realidade, além de que se detectam dificuldades ao nível da determinação das formas iniciais e na representação gráfica das superfícies. A falta de informação e prática dos construtores e a vulnerabilidade aparente do material face às intempéries, faziam recuar grande parte dos promotores perante uma proposta de cobertura têxtil. O panorama só se começou a alterar a partir dos anos 70, graças à generalização dos sistemas informáticos, que já não se limitavam aos centros de investigação das universidades e surgiam agora nas empresas de projecto e também à pesquisa de novos materiais de alta tecnologia. [18] Foi a conjugação dos novos materiais com os métodos de cálculo por computador, que terá permitido que as estruturas têxteis sejam hoje muito mais resistentes e fiáveis, mais generalizadas e com um custo muito menor.

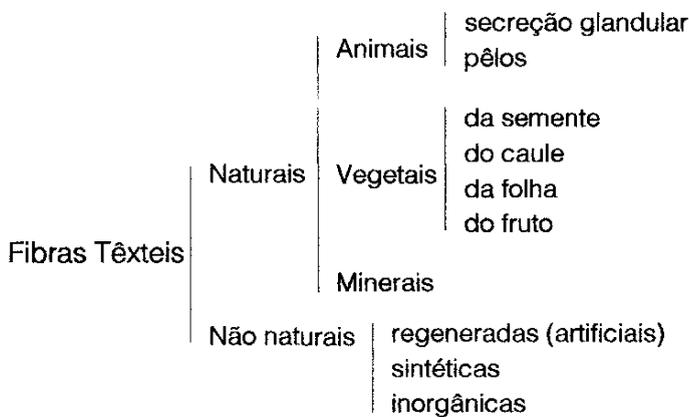


Nas construções têxteis, a dimensão é actualmente o factor que mais influencia a escolha do tipo de tela de cobertura, mas outros factores como a translucidez, a reflectância, a durabilidade e o preço, podem condicionar as opções. Em coberturas de pequena escala, e em que a tela não é elemento estrutural, utilizam-se frequentemente lonas realizadas com fibras naturais como o algodão, em tecidos simples, apenas tratados para impermeabilização e durabilidade; (no caso do algodão com sulfato de alumina) [36] para coberturas de grandes dimensões e de tela estrutural, são utilizados mais frequentemente tecidos realizados com fibras não naturais, principalmente o Poliéster e a Fibra de Vidro, revestidas com materiais de protecção e impermeabilização. A estes compósitos, em que normalmente entram dois elementos, um tecido estrutural e uma película de revestimento dá-se geralmente o nome de Telas ou Membranas arquitectónicas. Iremos neste capítulo aprofundar as diversas opções existentes no mercado. Os tecidos mais vulgares são realizados com Poliéster ou com Fibra de Vidro. No caso do Poliéster é utilizado como revestimento, principalmente o PVC e o Vinilo. No caso dos tecidos de Fibra de Vidro, são utilizados os revestimentos de PTFE e de Silicone, que conseguem repelir as poeiras e ser auto-laváveis, apenas com a intervenção ocasional da água da chuva.

Do ponto de vista estrutural, as telas para coberturas têxteis podem ser utilizadas como elemento resistente ou apenas como material de protecção ou revestimento. A principal distinção que se pode fazer das duas situações, diz respeito ao comportamento dinâmico da cobertura com e sem a membrana. Nas coberturas em que a tela é o próprio elemento resistente, a não existência desta implica que a estrutura não tenha forma. No segundo caso, a forma da cobertura depende exclusivamente do material de suporte estrutural, (perfis de alumínio ou aço, redes de cabos de aço, estruturas metálicas espaciais ou estruturas em madeira) e a resistência da tela não é relevante no equilíbrio da estrutura, que mantém a mesma forma quando esta não é colocada. No caso das coberturas em que estas são um elemento resistente, a escolha do tipo de Membrana arquitectónica / Tela, revela-se especialmente importante, bem como é fundamental perceber qual a escala e as características resistentes do material, quando por exemplo se pretendem montagens e desmontagens sucessivas ou uma estrutura de implantação definitiva.

As Membranas arquitectónicas podem ter outras aplicações em construção, além das já referidas construções têxteis simples. Um exemplo recente é o das construções tipo "casca" de betão e tela, (Anexo A20) em que a tela têxtil serve ao mesmo tempo de cofragem perdida, de material estrutural e de material de revestimento e protecção. A forma é normalmente semiesférica quando a construção é realizada com base num sistema pneumático ou as formas normais das estruturas suspensas, como a forma de sela.

As fibras são a matéria prima base utilizada nos fios com os quais se fazem os tecidos estruturais das telas arquitectónicas, sendo, por essa razão, responsáveis pelas propriedades mecânicas destas. "As fibras têxteis podem ter várias origens, e é esse o critério vulgarmente utilizado para a sua classificação. Assim, as fibras podem ser: de origem natural se são produzidas pela natureza sob uma forma que as torna aptas para o processamento têxtil; ou de origem não natural se são produzidas por processos industriais, quer a partir de polímeros naturais transformados por acção de reagentes químicos (fibras regeneradas ou artificiais) quer por polímeros obtidos por síntese química (fibras sintéticas)". [39] A classificação geral das fibras pode ser assim representada:



**Fig. 5.1.** Classificação das fibras quanto à sua origem. [39]

Existem exemplos de fibras descontínuas e de fibras contínuas. As contínuas têm um comprimento muito grande que é apenas limitado por razões técnicas, como o tamanho das bobines, sendo o caso da grande maioria das fibras sintéticas aqui referidas, utilizadas em construção. As descontínuas, têm normalmente o comprimento limitado a alguns centímetros o que leva a que também, por não disporem por si só de certas características mecânicas, como elasticidade ou resistência, terem de ser fiadas. Esta combinação tanto pode ser feita da forma mais comum, por torção das fibras, como por justaposição paralela das fibras (fiação sem torção). No caso das coberturas têxteis, são utilizados normalmente fios com torção das fibras, pois permite-se assim uma maior elasticidade. No caso dos tecidos de Poliéster (com as marcas comerciais de Dacron, Terylene, Trevira), presentes na maior parte das telas arquitectónicas na Europa, são utilizadas fibras contínuas (normalmente de alta tenacidade). No caso dos tecidos de Fibra de Vidro, como estas são descontínuas e muito pouco elásticas, têm de ser forçosamente utilizados fios com bastante torção das fibras, que têm de ser muito finas. Fazemos no anexo A21 a descrição das fibras mais utilizadas em construção têxtil, maioritariamente fibras não naturais sintéticas, com excepção da Fibra de Vidro que é inorgânica e do algodão, que é natural.

Em regra geral, todas são utilizadas em tecidos que posteriormente são revestidos com um material de revestimento. A excepção faz-se no caso do algodão, a única fibra natural que ainda tem aplicação significativa em construção, em pequenas coberturas e toldos. A outra excepção é o tecido de PTFE expandido, que é uma inovação, já que é actualmente utilizado como tela sem revestimento, já que as propriedades de durabilidade deste material não necessitam duma protecção posterior em forma de revestimento.

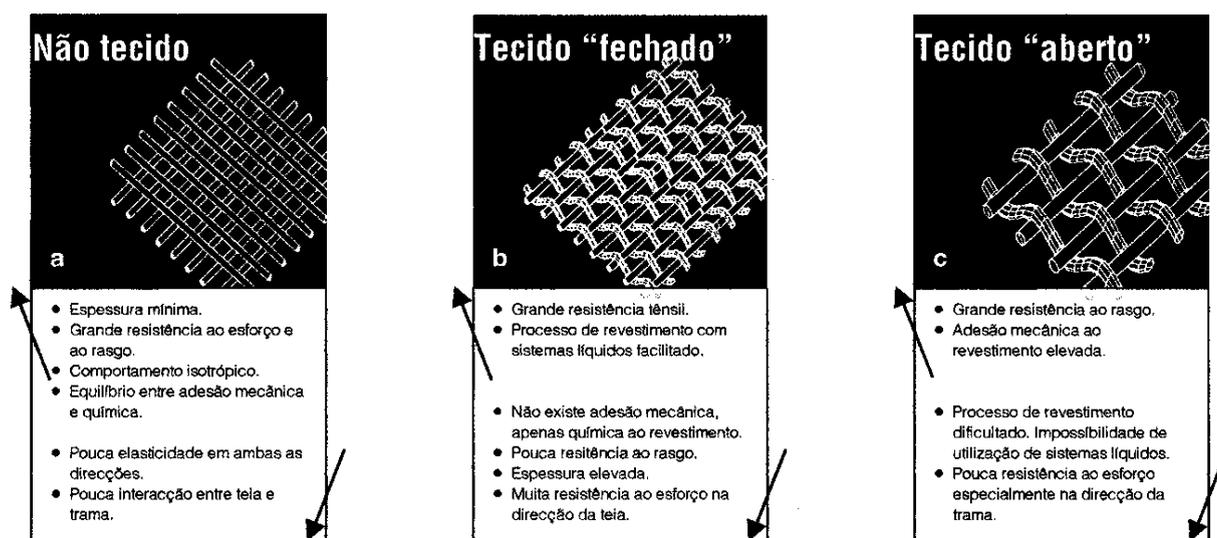
A estrutura dos tecidos de base para as telas é normalmente o debuxo de tafetá:  $\frac{1}{1}$  A1

Também é comum a utilização de derivados do tafetá, como o panamá. Mais raramente são utilizados outros tipos de debuxo, como cetim ou sarja. Também podem ser utilizadas malhas e também “não tecidos”. Podem ser entendidos como “não tecidos” certos casos em que são utilizados filamentos, normalmente contínuos, dispostos em uma, duas ou em várias direcções, simplesmente pousadas em camadas sobrepostas, sem ligação mecânica, ou apenas ligadas através da fusão do próprio material de revestimento.

Os tecidos podem ter um “factor de cobertura” variável, sendo mais ou menos abertos, dependendo das características estruturais e da “transparência” requeridas. Os tecidos “fechados” são normalmente os mais comuns em utilizações de coberturas têxteis, já que a resistência e homogeneidade obtidas serão sempre superiores às de um tecido do mesmo tipo mas com uma estrutura menos densa. Podemos considerar como “redes” os tecidos mais abertos, que podem ser, conforme o processo de revestimento, impermeáveis ou não. Nos não impermeáveis, o revestimento é descontínuo (apenas cobre os fios), e a sua função é unicamente a protecção das fibras e têm como objectivo a produção de sombra, sendo por isso muito utilizados em toldos, estores ou eventualmente como segunda tela exterior. Também podem ter uma função resistente e em estruturas suspensas. Nas redes tecidas o revestimento contínuo é utilizado normalmente em telas transparentes, sendo por isso mais adequados em construções do tipo “estufa”, em climas frios ou em utilizações nocturnas mais “espectaculares”.

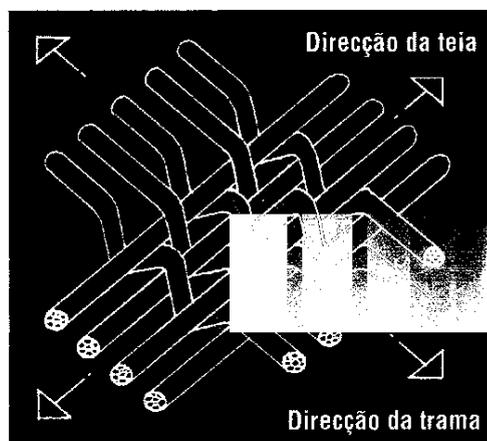
Os tecidos que servem de base às telas têxteis tecidas são normalmente anisotrópicos nas duas direcções principais, ou seja, têm comportamentos diferentes no sentido da teia e no sentido da trama, quando em esforço, sendo mais resistentes mas menos elásticos no sentido da teia. [10] Durante a tecelagem, os fios de trama ficam normalmente mais “relaxados”, pois os fios de teia estão sob tensão no tear. Além deste factor, também a densidade dos fios na tecelagem vai influenciar o comportamento da tela. A fig. 5.2. apresenta as vantagens e desvantagens das diferentes estruturas utilizadas. Um tecido muito fechado (fig. 5.2.b) implica uma espessura quase três vezes superior à do fio utilizado e uma textura mais acentuada, com um gasto superior de fio bem como de material de revestimento. Um tecido mais aberto (Fig. 5.2.c) poderá ser mais vantajoso nalgumas situações, não só pela redução da espessura, mas também pela maior resistência ao rasgo. Os “não tecidos” em que é utilizado o mesmo fio na teia e na trama, (colocado perpendicularmente com o mesmo espaçamento) (Fig. 5.2.a) têm um comportamento isotrópico e, além disso, para uma mesma densidade, têm uma espessura menor que o tecido “normal” mais fechado e uma resistência superior ao esforço de tensão. Além disso, por serem mais “lisos”, o gasto em material de revestimento é

normalmente menor. Nos tecidos normais as diferenças de comportamento relativamente às duas direcções da tela, podem ser minimizadas ou mesmo eliminadas (tornando-se isotrópicos nas duas direcções principais) através de técnicas de tecelagem apropriadas, nomeadamente através do fenómeno de interligação dos frisados (crimp interchange). [10] Um procedimento normal de muitos fabricantes de tecido para telas arquitectónicas é o pré-esforço do tecido (Fig. 5.4.), antes e durante a aplicação do revestimento protector, como através da tecnologia patenteada “Ferrari Preconstraint” [catálogo].

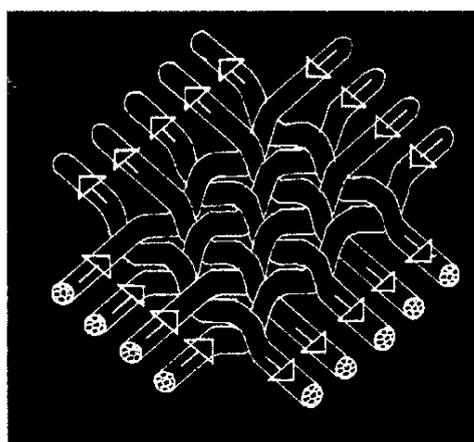


**Fig. 5.2.** Vantagens ↗ e desvantagens ↘ de diferentes estruturas de tecido utilizadas em telas arquitectónicas.

A técnica “Preconstraint” é uma técnica patenteada que consiste num pré-esforço contínuo e controlado na direcção da trama durante o processo de passagem do tecido na calandra para aplicação do revestimento, levando a uma sinuosidade do fio equivalente nas duas direcções do tecido, o que permite a redução da espessura, uma maior regularidade da superfície para aplicação do revestimento, além das características isotrópicas de igual resistência à tracção nas duas dimensões.



**Fig. 5.3.** Tecido normal (sem pré-esforço)



**Fig. 5.4.** Tecido com aplicação de pré-esforço.

Em aplicações simples, como toldos, pequenas coberturas efémeras, estruturas interiores, em que a impermeabilidade, resistência e durabilidade não são factores importantes, um tecido simples sem revestimento pode ser uma opção viável. Em situações onde a impermeabilidade e a durabilidade são importantes, mas a resistência necessária não é importante, podem eventualmente ser utilizadas películas sem qualquer tecido estrutural. No entanto, a generalidade das aplicações têxteis em coberturas de médias e pequenas dimensões, especialmente as suspensas, implicam a existência de durabilidade, impermeabilidade e resistências mecânicas elevadas, pelo que são utilizados os tecidos revestidos com películas de protecção. Este revestimento pode ser feito apenas de um dos lados, pelo exterior, ou então de ambos os lados. O material de revestimento mais comum para os tecidos de Poliéster é o PVC (Cloro de Polivinilo) mas são também usados outros revestimentos protectores, nomeadamente o Vinilo, os ésteres do ácido poliacrílico (de marca comercial Plexigum), o Poliuretano, a Borracha, as Borrachas sintéticas (com marcas comerciais Hypalon, Opanol, Neoprene), o Polietileno, o Betume ou a Parafina. Associados aos tecidos de Fibra de Vidro são utilizados o PTFE e também a Silicone. Associado aos tecidos com fibras do tipo aramidas, é normalmente aplicado o PTFE como revestimento.

Enquanto o tecido interior tem um papel essencialmente estrutural, a camada de revestimento é utilizada como complemento, cabendo-lhe as seguintes funções:

- Proteger os filamentos do tecido contra a abrasão e os raios ultravioleta.
- Proteger o tecido das sujidades e dos agentes químicos que existam no ar.
- Assegurar a estanquicidade.
- Permitir a termocolagem do material, evitando a costura com linha ou protegendo-a.
- Conferir-lhe um carácter ignífugo.
- Dar cor, transparência ou diferentes graus de translucidez.

O material de revestimento pode ser aplicado seguindo diferentes métodos;

- Aquecido até ficar líquido e então espalhado pelo tecido.
- Espalhado em pasta e pressionado até penetrar nos fios e nas fibras.
- Aplicado em película sólida que posteriormente é colada ao tecido por pressão, por termocolagem ou por adesão química.

Pela adesão química verificada entre o tecido e o revestimento, o comportamento dos dois revela-se como mais do que a soma das propriedades de ambos. Certas características têm de ser complementares, como a elasticidade (por exemplo não faria sentido um

revestimento pouco elástico sobre um tecido muito elástico, já que levaria à fissuração ou à rotura do revestimento). Apresentam-se seguidamente os revestimentos disponíveis actualmente no mercado para telas arquitectónicas. Além dos revestimentos, será de realçar o facto de algumas telas necessitarem de tratamentos posteriores ou sobre-revestimentos (top coatings) apenas para acabamento, para por exemplo dar uma protecção adicional aos raios ultravioleta, tornar um revestimento auto-lavável ou prolongar o tempo de vida útil.

Existe actualmente apenas um tecido para estruturas de grande dimensão que não é revestido, mas com durabilidade e resistência mecânica igual ou superior a estes, já que é realizado com fibras de PTFE expandido, que curiosamente é um dos materiais de revestimento mais resistentes. Talvez no futuro, o desenvolvimento de novos materiais sintéticos mais resistentes implique o abandono das telas compostas por um tecido revestido a uma ou mais películas e surjam tecidos ou películas simples, com as propriedades que até agora só na conjugação dos dois, se podiam obter.

No anexo A22 são apresentadas mais detalhadamente as características dos revestimentos mais comuns, nomeadamente o PVC, o PTFE e a Silicone

As telas utilizadas em grandes coberturas são materiais compósitos que envolvem algumas tecnologias de produção diversas e com alguma especificidade. Por essa razão são geralmente produzidas por diversas empresas que se especializam em determinadas áreas, como a fiação, o fabrico do tecido, os revestimentos, os acabamentos de protecção, o corte, a montagem. Apresentam-se aqui exemplos das telas mais utilizadas em construções têxteis de pequenas e médias dimensões, também chamadas de membranas.

#### POLIÉSTER / PVC

Na Europa, a grande maioria das estruturas têxteis construídas (quase 95 % [5]) utilizam membranas compostas por tecido de Poliéster revestido a PVC (Policloreto de Vinilo), devido fundamentalmente à sua relação custo / qualidade, pelo facto de serem mais fáceis de trabalhar e por serem mais económicas na produção. Apresentam no entanto algumas desvantagens se comparadas com as telas de Fibra de Vidro / PTFE, como a sua menor durabilidade, maior propensão para acumular sujidades e menor resistência ao esforço de tracção, [10] além de derreterem na presença do fogo. São classificadas como sendo combustíveis e estão por essa razão proibidas nos Estados Unidos para construções permanentes, sendo no entanto utilizadas para construções temporárias. Na Europa, no entanto, são permitidas em estruturas permanentes. [3]

Existem diferentes telas no mercado, com pesos totais que podem chegar aos 2000 g / m<sup>2</sup> com cargas de rotura de 6 a 20 toneladas por metro linear. A solicitação de tracção da membrana leva-se sempre a cabo na parte inicial da sua curva tensão / deformação (zona linear) e aplicam-se coeficientes de segurança entre 5 e 6. [5] O tecido de Poliéster pode abrir (alongar-se com o tempo) o que por vezes torna necessário um grande cuidado e acompanhamento de manutenção após ser pré-esforçado, nomeadamente reajustando a tensão. A sua elasticidade pode no entanto constituir uma vantagem durante os processos de construção, quer no corte dos módulos onde não é necessário tanto rigor, quer na montagem, onde são admissíveis mais variações da forma predeterminada. A elasticidade do material garante também uma boa resistência a tratamento menos cuidadoso durante o transporte e embalagem o que as torna especialmente adequadas a construções de carácter móvel e temporário e para a realização de pequenas construções permanentes, como toldos, tendas e marquesinhas.

Os revestimentos de PVC têm tendência a acumular sujidade e é aconselhável evitar o seu uso sem protecção em zonas urbanas ou com poluição. [10] Devem ser regularmente limpas para se evitar o aspecto sujo, bem como a perda de translucidez, ainda que, como já referi no capítulo referente à manutenção das telas, acabamentos de superfície possam reduzir o problema. A limpeza regular pode constituir um problema nos revestimentos de

PVC pois, quanto mais são limpos, mais se desgastam pelo contacto com os detergentes. Não existe nenhuma solução para este problema, excepto pelo cuidado na exclusiva utilização dos produtos e dos métodos recomendados pelos fabricantes. [10] Tal como o tecido de Fibra de Vidro revestido a PTFE, o Poliéster revestido a PVC é eficazmente colado a quente, mas a uma temperatura mais baixa que a usada para outras telas. De facto, a cerca de 70 °C as costuras começam a ceder e perdem toda a resistência sob o efeito de cargas concentradas na tela, pelo que não são adequadas a todos os climas. Correntemente os rolos têm também largura inferior aos tecidos de PTFE (entre 2 e 3 metros), pelo que requerem mais costuras. [3]

Em resumo, o Poliéster / PVC tem três grandes vantagens: pode ser fabricado em grande variedade de cores, é muito mais barato em grosso do que as outras telas revestidas e é especialmente elástico, pelo que se torna bastante fácil a montagem de coberturas com este material, especialmente apropriado para construções móveis, desmontáveis e efémeras.

#### FIBRA DE VIDRO / PTFE

Nos Estados Unidos, a tela têxtil mais utilizada é a de Fibra de Vidro revestida a PTFE e foi precisamente neste país que ela teve origem. Tem-se actualmente revelado como o tipo de tela com mais durabilidade e apesar do seu preço relativamente elevado tem sido a mais utilizada em coberturas de grande dimensão e onde a mobilidade não é condição necessária. [3] Na Europa, no entanto, apenas 5% das estruturas têxteis são realizadas com esta tela, [5] em grande parte devido à existência de poucas estruturas de grande dimensão, mas principalmente devido ao seu custo e a legislações menos exigentes quanto ao comportamento face ao fogo (e mesmo à inexistência de legislação específica para este tipo de construções). [5]

Na cobertura do Pavilhão dos Estados Unidos na Expo 70 de Ozaka, foi utilizada uma tela de Fibra de Vidro revestida a PVC, [32] mas "o sucesso revelado por esta obra, encorajou Geiger, a conceber um tecido inalterável e incombustível, desenvolvendo com este objectivo a tela de Fibra de Vidro / PTFE". [3] Este composto revelou um custo superior, mas um incremento tecnológico muito significativo, que o revelaram como extremamente resistente, durável, incombustível, translúcido e auto-lavável. [3] A tela de Fibra de Vidro / PTFE teve a sua primeira aplicação nos Estados Unidos, na construção do "Student Center" da Universidade de La Verne, na Califórnia, uma estrutura têxtil projectada em 1973 por John Shaver e Bob Campbell. (fig. 4.31.) Foi o Engenheiro David Geiger quem idealizou a associação destes dois materiais, utilizada nesta construção, tendo recorrido à colaboração de Harold Gores e ao seu Laboratório de Formação Académica na Ford Foundation. Gores, por sua vez, juntou a Du Pont (o fabricante do PTFE / Teflon), a Owens-Corning Fiberglass (o produtor da Fibra de Vidro), a J.P. Stevens (a empresa têxtil) e a Chemical Fabrics

Corporation, hoje chamada Chemfab<sup>14</sup>. [3] Esta colaboração resultou num novo material híbrido cuja primeira aplicação foi feita apenas um ano depois no “Student Center”. [3] (fig. 4.31.) A estrutura de La Verne revelou-se mais do que um laboratório de ensaio para a Fibra de Vidro / PTFE, que tem sido largamente utilizada em estruturas têxteis e tem mantido na prática, mais do que era esperado inicialmente, a sua resistência e viabilidade. Com vista a controlar o seu desgaste, a tela foi regularmente examinada. “As conclusões desse controle regular indicam que a tela ultrapassou as expectativas do fabricante da Fibra de Vidro, a Owens-Corning, em 50%, mantendo 70% da força de tracção do seu tecido e 80% da sua curvatura original. Como a perda de tensão tem diminuído durante os últimos cinco anos, espera-se que agora a tela continue eficaz por mais trinta anos”. [3] Os cortes em secção, comparando amostras de tela não utilizadas de 1973 com telas do tipo utilizado na estrutura de La Verne, revelaram que a tela de PTFE da Du Pont continua igualmente translúcida e não perdeu a cor. Esta durabilidade deve-se, não só ao PTFE, mas à grande estabilidade mecânica da Fibra de Vidro, além da sua insensibilidade aos raios ultravioleta, que não afectam a sua resistência.

O PTFE protege as extremamente resistentes fibras de vidro, da água, o seu principal inimigo, segundo Tony Robin [3], apresentando uma longa duração quando a humidade é afastada do tecido. O produto é quimicamente inerte e assim, a maioria dos poluentes, poeiras e sujidades libertam-se sem o sujar. [3] Este é bastante resistente à abrasão, podendo ainda evoluir neste domínio. Tem também uma grande resistência ao fogo, estando classificado como M1 em França, A2 na Alemanha (norma DIN 4102) e classe B (norma VASTM E 108) nos Estados Unidos, [5] sendo por isso o tipo de tela preferido em estruturas permanentes de grande dimensão, principalmente nos Estados Unidos onde estão homologadas para a realização deste tipo de obra, o que não acontece com o Poliéster / PVC. [3] A sua especial vocação para a realização de coberturas suspensas de grande dimensão deve-se também às particulares características de resistência mecânica da Fibra de Vidro, com valores de módulo elástico muito elevados. Apesar de conferir às estruturas uma grande estabilidade, o uso da tela de Fibra de Vidro / PTFE, implica no entanto uma diminuição de elasticidade, exigindo um maior cuidado no corte da tela, na montagem e nos cálculos estruturais, que deverão ser mais rigorosos.

A tela pode deixar passar até 18% da luminosidade incidente e é altamente reflexiva, absorvendo poucas radiações em forma de calor. O PTFE pode ser colado a quente na obra (fazendo recobrimentos sobre costuras mecânicas), pelo que a cobertura resulta totalmente impermeável. A colagem a quente poupa tempo de mão-de-obra e evita complicados sistemas de grampos e costuras, reduzindo o custo final da obra para níveis competitivos, ainda que o custo da tela possa ser caro (três a dez vezes mais elevado que a tela de Poliéster / PVC). A tela pode ser fornecida com larguras de até 3,80 metros, reduzindo o número de painéis e costuras. [3]

---

<sup>14</sup> Empresa de revestimentos químicos que já utilizava o PTFE no revestimento de superfícies para linhas de fabrico de bolachas.

A tela de Fibra de Vidro revestida a Teflon apresenta outras desvantagens, além do seu custo inicial elevado. Como a tela é relativamente quebradiça quando dobrada, o seu transporte, empacotamento e instalação são operações delicadas sendo necessário alguma experiência e cuidado. Em cada tela deverá também ser cuidadosamente feita a modulação pois a Fibra de Vidro tem pouca elasticidade e as pequenas diferenças entre cada lote / rolo deverão ser testadas separadamente de modo a serem programadas as variáveis de corte dos módulos para cada rolo específico. [3] Além disso, esta tela só se encontra disponível em branco (sendo até acastanhado no início, vai-se tornando branca com a incidência dos raios solares, pelo que as zonas onde não há exposição ao sol, se mantêm acastanhadas).

Em resumo, a tela de Fibra de Vidro / Teflon apresenta quatro grandes vantagens: é não inflamável, é auto-lavável, é facilmente colada a quente, não necessita de costuras mecânicas e tem uma grande estabilidade e resistência à tracção, pelo que se torna mais adequada a construções de grande dimensão e não efémeras.

#### FIBRA DE VIDRO / SILICONE

A película de silicone reforçada com tecido de Fibra de Vidro, cujo lançamento no mercado data de 1981, foi usada para a Callaway Gardens na Geórgia (projectado pelos Arquitectos Craig, Gaulden e Davis e pelo Engenheiro Horst Berger) e nas abóbadas suspensas realizadas para os Jogos Olímpicos de Seul. A borracha de Silicone é mais flexível que o PTFE e o tecido de Fibra de Vidro revestido com ela torna-se mais resistente e requer menos cuidados de transporte, empacotamento e aplicação. [3] “Desenvolvimentos recentes nos revestimentos de tecidos, nomeadamente no mercado dos airbags para automóveis têm explorado as vantagens da silicone como parte do compósito têxtil com que estes são realizados.” [40] As suas principais vantagens são:

- Ter uma grande resistência mecânica (por ter como base a Fibra de Vidro) e grande elasticidade, o que elimina a desvantagem principal associada às telas tradicionais de Fibra de Vidro / PTFE, pela grande elasticidade da Silicone. [3]
- A sua grande translucidez, que pode chegar aos 25% na tela arquitectónica e a 90% em películas sem reforço têxtil, ou com uma malha muito aberta. [3] A principal vantagem, relativamente a outras soluções é a de se conseguirem graus de translucidez elevados, sem que isso acarrete problemas de resistência mecânica. Com várias camadas de tela translúcida e lã de vidro pode ao mesmo tempo haver iluminação interior natural durante o dia e um alto coeficiente de resistência térmica (R).[41]
- Grande impermeabilidade o que garante a protecção da Fibra de Vidro.

- Excelentes propriedades de resistência ao desgaste natural, devido à exposição aos agentes atmosféricos, incluindo temperaturas extremas. O fabricante garante mais de 10.000 horas de tempo de vida útil para a tela.[3]
- Grande resistência aos agentes químicos, nomeadamente aos solventes [3].
- Baixo grau de toxicidade (por ser um material muito estável ao desgaste não liberta poeiras) [3].
- Comportamento ao fogo de classe M0 (não combustível).
- Facilmente pigmentado e disponível em cores standard. [3]

A empresa Dow Corning Limited (D.C.), um fabricante e construtor de telas detém a patente da tela de Fibra de Vidro revestida a silicone. De acordo com a D.C., recentes avanços técnicos resolveram parcial ou totalmente os problemas surgidos inicialmente na construção da tela revestida a silicone. As costuras podem agora ser quimicamente soldadas (aceleradas a quente) tornando-se mais fortes que o próprio material, como com o PTFE [3]. A D.C. também afirma ter melhorado as propriedades de auto-limpeza da silicone, tornando-a quase igual ao Teflon, apesar de ainda recomendar uma limpeza anual. Ao estabelecer a comparação com as membranas revestidas a PTFE, algumas divulgações contraditórias relativamente às suas características, podem no entanto trazer para segundo plano o facto de ambas as telas terem uma resistência ao fogo de classe M0. (e ainda que a silicone possa produzir fumos, estes são benignos) A D.C. insiste no facto da tela de Fibra de Vidro revestida a silicone ser 20% mais barata que o PTFE, em grande parte devido ao processo de plastificação que são realizados a uma temperatura muito mais baixa. [3] Relativamente ao PVC, o custo do processo de revestimento em silicone é de aproximadamente cinco vezes superior.[40]

## PELÍCULA DE ETFE

A mais recente tela arquitectónica não é um compósito têxtil mas sim uma película sem reforço têxtil - uma folha de filme polímero, normalmente utilizada em forma de almofadas de ar insufláveis [3], mas nem por isso deixa de poder ser considerada como pertencente ao grupo de materiais adequados para "Arquitectura Têxtil". Ainda que investigadas e utilizadas desde 1950, as películas tornaram-se aplicáveis em arquitectura com a introdução do ETFE, feito dum copolímero resultante da ligação de monómeros de etileno e tetrafluoretileno. [3] É feita uma descrição mais detalhada no Anexo A23.

## SOBRE-REVESTIMENTOS (TOPPINGS)

As poeiras e a poluição, além de causarem perda de translucidez e um aspecto estético negativo, podem causar um envelhecimento prematuro do revestimento e perda de propriedades. Uma forma de proteger o revestimento é através da aplicação de tratamentos de protecção suplementares, como os sobre-revestimentos. Estes, além de melhorarem ou fornecerem ao revestimento base, características auto-laváveis (remoção das sujidades acumuladas apenas com intervenção da água da chuva), podem servir também para fornecer uma protecção adicional contra os raios ultravioleta. Um dos materiais utilizados como sobre-revestimento é o Fluoreto de polivinilo (PVF), conhecido pela sua marca comercial "Tedlar" e produzido pela Du Pont. Trata-se duma forte película transparente que tanto pode ser aplicada sobre revestimento de PTFE como de PVC, mas mais vulgarmente sobre o segundo. Ele melhora a sua durabilidade (a empresa fabricante, a DCI, garante 15 anos de vida útil para a tela assim protegida) mas torna o processo de montagem mais difícil, pois não permite a colagem a quente. [3] No caso do PVC, também podem ser aplicados sobre-revestimentos de Fluoreto de polivinilideno (PVDF) acrílicos ou uretano. Ainda que vários tratamentos possam ser aplicados sobre o Poliéster / PVC, isso representa um acréscimo no custo do material. Os revestimentos acrílicos de protecção são mais baratos, mas também os menos eficazes, pois acabam por se desgastar e amarelecer com o tempo e a exposição solar. Os tratamentos relativamente recentes, à base de PVDF, têm revelado melhores qualidades, diminuindo consideravelmente a retenção de sujidades, pelas suas características auto-limpáveis e incrementando a durabilidade. Testes de simulação ao desgaste indicam que o PVDF poderá aumentar o tempo de vida da tela para 15 a 20 anos, quando o tempo de vida esperado da tela tratada com acrílico ou sem este é de apenas 5 anos. [3]

As telas e as películas tornam-se mais eficazes do ponto de vista térmico quando combinadas em compostos de duas ou mais camadas. Tanto as telas de Fibra de Vidro / Silicone como as telas de Fibra de Vidro / PTFE, estão disponíveis comercialmente em compostos de duas telas tipo "sandwich", com isolamento em fibra translúcida, com caixa de ar, e frequentemente com a inclusão de barreiras de vapor e de isolamento acústico. As telas apropriadas para abafar ruídos têm pequenos orifícios, pois o som perde energia ao passar por eles e já não volta a sair, eliminando-se os fenómenos de reflexão acústica, sendo normalmente as telas interiores componentes dos painéis "sandwich". [3] As telas duplas ou de mais camadas podem ter uma caixa de ar ou ter um material isolante entre elas. Quando se pretende manter a transmissibilidade das telas, este isolamento terá de ser translúcido. Existem também telas duplas construídas com ligação tecida ou outro tipo de ligações como se pode ver na figura 5.5. (alternando as posições das telas), 5.6. (usando ligações pontuais com uma fita de tecido) e 5.7. (usando perfis I metálicos, em PVC ou têxteis em soluções do tipo almofada pneumática ou cheias com espuma de Fibra de Vidro ou de Poliuretano expandido).

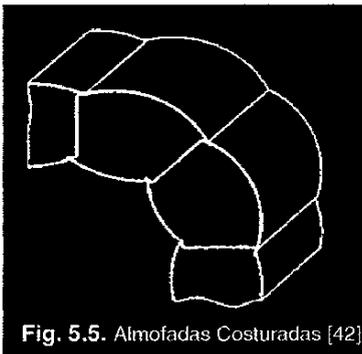


Fig. 5.5. Almofadas Costuradas [42]



Fig. 5.6. Ligação com Tiras [42]

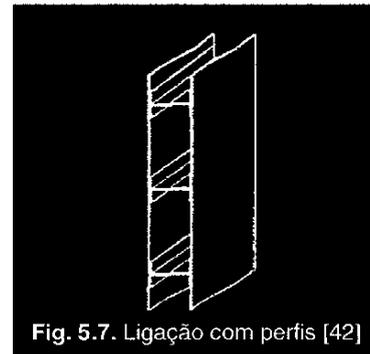


Fig. 5.7. Ligação com perfis [42]

Um trabalho que propõe a utilização de sistemas construtivos baseados em painéis tipo "sandwich" planos, foi apresentado na última "Techtextil" de Frankfurt, seguindo um raciocínio próximo à construção de pré-fabricados em madeira ou chapa, com a vantagem do menor peso associada aos têxteis. [42] A estrutura neste caso pode ser metálica (figuras 5.8.a e b), de madeira (fig. 5.9.) ou mesmo pneumática com tubos de Kevlar. [42]

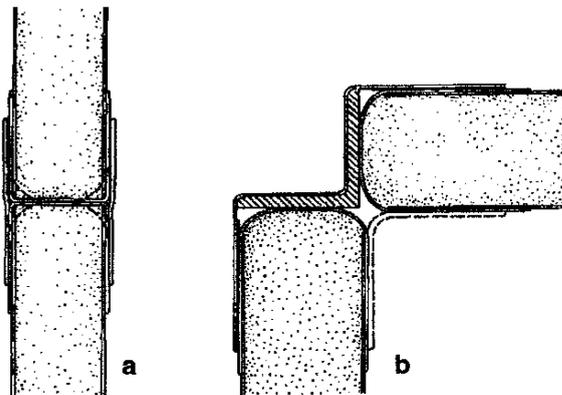


Fig. 5.8. Estrutura metálica [65]

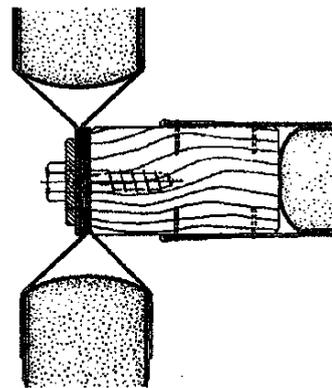


Fig. 5.9. Estrutura de madeira [65]

As telas têxteis têm várias propriedades que as distinguem entre si e através das quais se podem classificar e comparar. São basicamente de dois tipos:

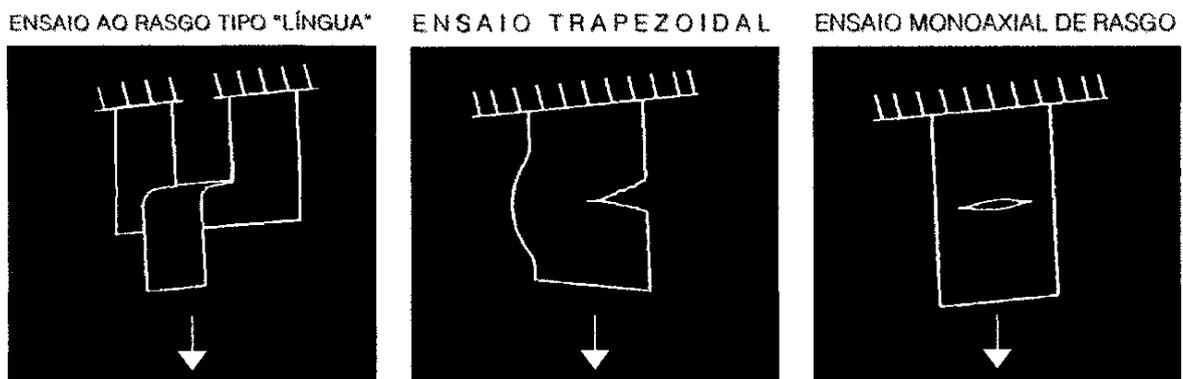
- **Propriedades estruturais.**
- **Propriedades não estruturais.**

Interessa-nos basicamente fazer referência às telas utilizadas em grandes e médias coberturas têxteis, nomeadamente as que apresentam características de resistência que lhes permite suportar esforços e que por isso participam do equilíbrio da estrutura, pois só nestas as propriedades estruturais são realmente importantes.

Descrevemos aqui as propriedades estruturais e não estruturais das telas arquitectónicas mais representativas, bem como alguns dos testes levados a cabo para avaliação quantitativa e qualitativa destas. As propriedades das telas podem ser avaliadas em termos de comportamento a curto termo ou a variação destas ao longo da vida útil do material, a longo termo. No anexo B, são apresentadas tabelas referentes às propriedades de algumas das telas arquitectónicas comercialmente disponíveis, segundo dados do fabricante.

### RESISTÊNCIA AO RASGO.

As telas suspensas têm mais propensão à rotura por rasgo do que por carga directa, pelo que a resistência ao rasgo e à propagação deste é de vital importância. A tela de Poliéster / PVC tem uma resistência média, enquanto a de Fibra de Vidro / PTFE tem uma resistência elevada. [10] Em situações práticas, o rasgo das telas arquitectónicas tem muitas vezes a sua origem em incidentes que podem advir de factores inesperados, não só naturais mas por exemplo a vandalismo ou a falta de manutenção. Quando um pequeno dano, que pode ser uma perfuração ou um corte profundo ou superficial tem lugar na tela, torna-se essencial evitar que este se propague. A própria tela pode e deve ser capaz de evitar o agravamento da situação, pelo menos até ao momento em que a reparação é possível. Um dos factores que condiciona a propagação do rasgo tem a ver com a interacção entre o tecido e o revestimento. Esta interacção é feita através de duas formas complementares, a mecânica e a química. A interacção mecânica realiza-se pela presença física do revestimento nos interstícios do tecido. A interacção química é devida à adesão do revestimento à superfície das fibras no tecido. A principal resistência à propagação do rasgo advém do agrupamento dos fios no sítio do rasgo. Este fenómeno, não só traz mais fibras para entrar em acção, mas também as coloca num ângulo mais favorável para dar resistência. Torna-se portanto melhor que o revestimento deixe as fibras "livres" para poderem deslizar ao longo do fio, do que as mantenham com muita adesão. Existem diversos tipos de rasgo e de propagação deste, que podem ser lineares ou não e também vários tipos de testes, tais como os representados na fig. 5.10.



**Fig. 5.10.** Ensaios de rasgo.

Para os ensaios de rasgo são normalmente utilizados dinamómetros normais, tais como os utilizados para os ensaios de tracção uniaxiais. As características que distinguem os vários métodos dizem essencialmente à forma de cortar e montar os provetes, no método de os segurar nas amarras e na interpretação dos resultados obtidos [39].

Existe uma relação directa entre a resistência ao rasgo e a resistência ao esforço de tracção, sucedendo muitas vezes o facto destas serem inversamente proporcionais, ou seja, uma tela com uma grande resistência à tracção ser muito pouco resistente ao rasgo. Isto de certa forma constitui um factor de incompatibilidade de certas soluções como a Fibra de Vidro / PTFE, por exemplo em locais onde a ocorrência de danos é muito provável, bem como em locais de fácil acessibilidade ou em soluções móveis. Isto porque apesar da sua elevada resistência a esforços de tracção, a Fibra de Vidro possui muito pouca resistência ao rasgo, o que se pode explicar pelo seu elevado módulo de tracção (que lhe confere pouca elasticidade), combinado com a grande adesão química do revestimento de PTFE [7]. Por esta razão, este tipo de tela exige um elevado factor de segurança no seu cálculo, já que a maior parte dos colapsos em estruturas deste tipo se devem a situações de rasgo.

## ADERÊNCIA

Esta propriedade diz respeito à adesão entre o tecido de base e o material de revestimento, pelo que só tem significado em telas arquitectónicas ou em tecidos revestidos. Como já referimos, esta propriedade tem bastante influência no rasgo, bem como na durabilidade da tela. As tabelas no anexo B mostram alguns valores típicos de aderência das telas mais utilizadas em coberturas têxteis.

## RESISTÊNCIA EM ESFORÇO DE TRACÇÃO.

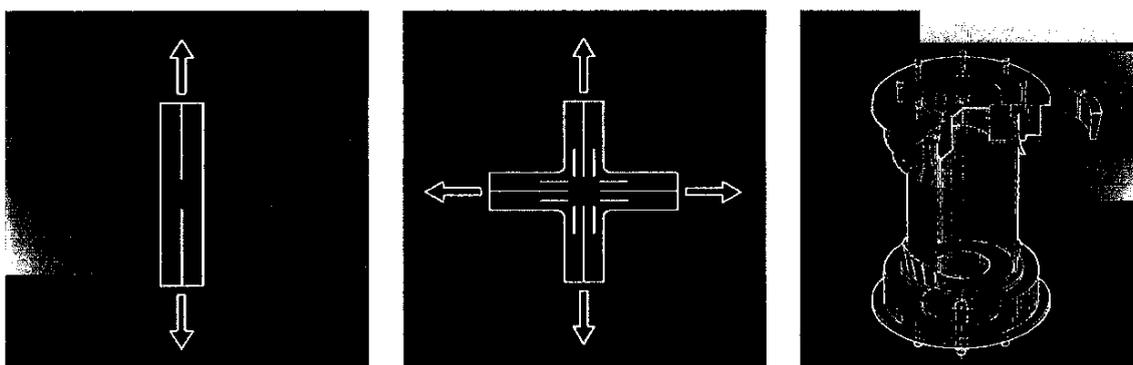
Esta propriedade diz respeito à resistência da tela à rotura em esforço de tracção, que deverá obviamente ser superior às cargas a que poderá ser solicitada [10]. Em soluções tradicionais com elementos estruturais a trabalhar exclusivamente à compressão / flexão, os materiais não perdem muita resistência durante o seu tempo de vida útil e o factor de resistência é mais facilmente extrapolado para os cálculos estruturais do que no caso duma cobertura têxtil suspensa, a trabalhar à tracção. A resistência mecânica do tecido vai diminuindo ao longo do tempo, quer por influência da acção dos raios ultravioleta, quer pela humidade ou mesmo pela acção continuada do esforço de tracção. A incidência de cargas anormalmente grandes, como o peso da neve em países frios, também deverá ser ponderada, daí que os factores de segurança para uma cobertura têxtil sejam muito elevados. Estas cargas dizem normalmente respeito ao peso de agentes exteriores, como a neve. As telas de Fibra de Vidro / PTFE, as mais resistentes ao esforço de tracção, podem suportar cargas de até 16 toneladas por metro linear [10].

As perdas de resistência de uma tela, devidas à exposição aos raios ultravioleta e à humidade variam com a exposição solar, o clima, mas especialmente com o tipo de fibra e tecido utilizados. Mas o factor principal tem a ver com o tipo de revestimento de protecção, já que apesar deste não influenciar duma forma significativa as propriedades mecânicas

da tela, é ele que vai permitir ao tecido manter a sua capacidade resistente ao longo do tempo, prolongando-a durante pelo menos o tempo de vida útil esperado. Assim sendo, no caso duma tela têxtil, não será suficiente conhecer a sua resistência inicial ao esforço de tensão para se calcular uma cobertura. Além disso, o comportamento biaxial e não-linear duma grande parte dos tecidos dificulta a análise rigorosa em termos de esforços para cálculos estruturais, sendo uma das razões pela qual os valores considerados como valores operativos de esforço estão tipicamente limitados a uma reduzida percentagem em relação ao esforço de tensão limite antes da rotura. [7] A resistência em esforço de tracção das diversas fibras utilizadas bem como do tipo de tecidos é bastante variável, bem como as diferenças reportadas aos tecidos anisotrópicos (em relação às duas direcções principais) da diferente relação tracção / alongamento entre a direcção da teia e a direcção da trama. Esta relação é também diferente, para o caso da tela, antes da primeira aplicação de esforço e das seguintes, no caso dos tecidos que não são pré-esforçados.

Podemos considerar que basicamente existem dois tipos de testes de resistência de tecidos à tracção:

- **Testes uniaxiais** (Processo da tira e Processo "grab").
- **Testes biaxiais** (Tipo cruciforme, Teste de cilindro).



a) Processo da tira.

b) Tipo cruciforme.

c) Teste de cilindro. [9]

**Fig. 5.11. Testes de resistência à tracção**

O Processo da tira (fig. 5.11.a), conforme o próprio nome indica, consiste num teste em que uma amostra de tira de tecido é submetida a esforço de tracção que pode ser até à rotura, ou no caso presente das telas de arquitectura de vários ciclos de carga / descarga e a sua relação com a extensão do tecido. Dos testes [7] efectuados às telas mais utilizadas em construções têxteis suspensas e insufláveis, a Fibra de Vidro / PTFE e o Poliéster / PVC, pode concluir-se que não existe nenhuma parte da curva de carga / extensão que seja linear e além disso a curva só se torna elástica após vários ciclos de carga / descarga. "O Processo da tira apenas consegue uma aproximação pouco exacta às condições reais de esforço da tela aplicada numa cobertura, pois os fios na direcção oposta à carga aplicada, têm um comprimento reduzido, o que permite que os fios na

direcção do esforço se estendem mais facilmente durante o teste e assim transmitam um valor de resistência à tracção falseado. O cálculo da média de vários testes é normalmente feito, pois o facto dos fios testados serem curtos implica uma probabilidade menor de terem pontos fracos do que numa área extensa como sucede na realidade". [7] O Processo "Grab" é semelhante ao processo da tira, com a diferença de que neste caso apenas parte da largura do provete é fixado nas amarras. Por exemplo, se a largura do provete for de 100 mm e a largura das amarras 25 mm, o provete deverá ser fixado centralmente nas amarras. A parte do tecido tracçãoada entre as amarras é ligeiramente reforçada pelo tecido em ambos os lados, pelo que os resultados obtidos por este processo diferem dos obtidos pelo processo da tira, mas tem a vantagem da preparação dos provetes ser mais simples. [39] A tabela 5.1 mostra valores típicos de Resistência de tracção à rotura em esforço uniaxial para telas de Poliéster / PVC e Fibra de Vidro / PTFE.

TABELA 5.1. VALORES TÍPICOS DE RESISTÊNCIA À ROTURA EM ESFORÇO UNIAXIAL PARA TELAS ARQUITECTÓNICAS.

| Tipo de Tela    | Espessura da tela (mm) | Tracção de rotura (kN/m)<br>(direcção teia/trama) | Alongamento à rotura (%)<br>(direcção teia/trama) |
|-----------------|------------------------|---|---|
| FV / PTFE       | 0,7                    | 144 / 126   | 0,0864 / 0,087                                    |
| Poliéster / PVC | 0,8                    | 101 / 90  | 0,24 / 0,33                                       |

Segundo [7]

Devido às características anisotrópicas das telas arquitectónicas, mesmo considerando apenas as direcções da teia e da trama os resultados de testes uniaxiais poderão ser questionados. Por essa razão, têm sido especificamente desenvolvidos para estas, testes que permitam a avaliação da resistência à tracção com esforços biaxiais. O método mais simples é o teste cruciforme (fig. 5.11.b), que como o nome indica é realizado com uma amostra de tela em forma de cruz à qual são aplicados ciclos de carga e descarga nas duas direcções perpendiculares. Foi com este método que foram realizados testes biaxiais comparativos entre os dois tipos de tela mais utilizados [7]. A fig. 5.12. mostra o resultado do teste com tela de Fibra de Vidro / PTFE, enquanto a fig. 5.13. mostra o resultado do teste com tela de Poliéster / PVC.

CARGA (kN / m)

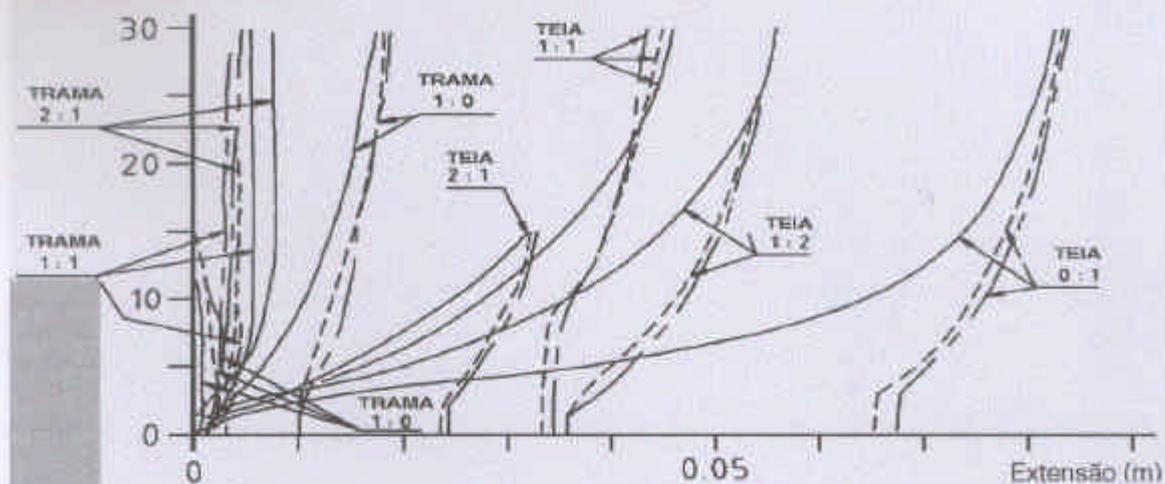


Fig. 5.12. Curvas de carga / extensão para tela de Fibra de Vidro / PTFE. [7]

CARGA (kN / m)

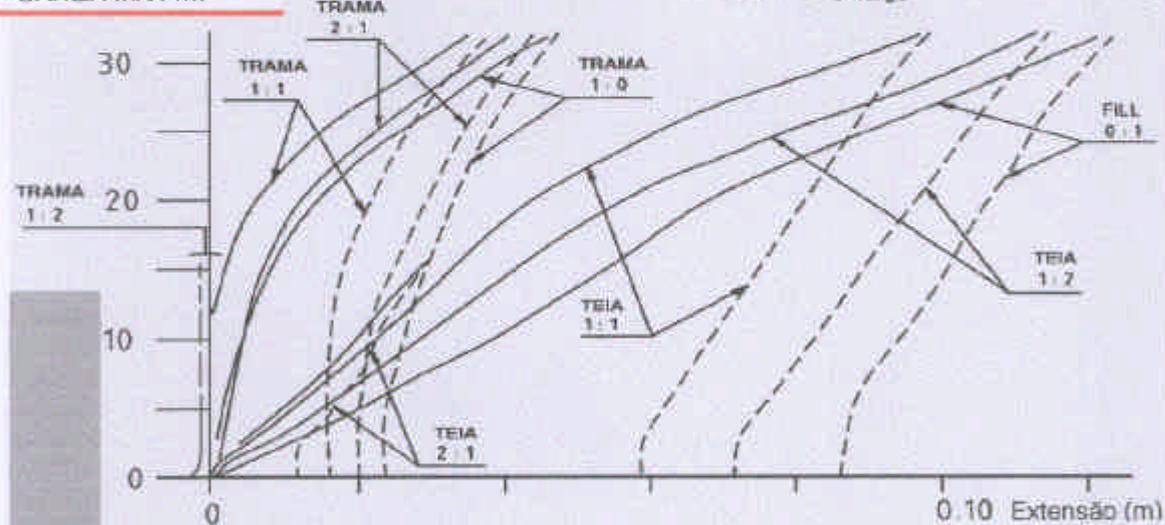


Fig. 5.13. Curvas de carga / extensão para tela de Poliéster / PVC. [7]

Como os tecidos utilizados nas telas testadas eram anisotrópicos nas suas direcções principais, foram aplicadas diferentes cargas de esforço para as direcções da teia e da trama. Para isso, consideraram-se diferentes razões na relação de aplicação das cargas entre as duas direcções: 1:1, 2:1 e 1:2. (testes biaxiais). Foram também realizadas medições nas razões de 1:0 e 0:1 (estes são testes uniaxiais). O procedimento consistiu em seleccionar uma razão, por exemplo 2:1 e então ir aumentando a carga, mantendo a razão entre as duas direcções constante em 2:1. As extensões verificadas são medidas tanto na direcção da teia como na direcção da trama, respectivamente representadas pela

curva de teia 2:1 e de trama 2:1. Este procedimento foi então repetido. (três vezes no caso da Fibra de Vidro e duas no caso do Poliéster) O procedimento para as outras razões foi o mesmo. Da análise dos gráficos pode-se concluir:

- A grande diferença entre o comportamento da tela na direcção da teia e da trama do tecido estrutural, confirmando o seu carácter anisotrópico.
- O comportamento das fibras nas direcções opostas da teia e da trama depende da razão entre as cargas aplicadas.
- Após a primeira carga aplicada há uma grande deformação, não recuperável, da tela.
- A marcada não linearidade do comportamento das fibras em ambas as direcções.
- A possibilidade da tela encolher na direcção da trama com o aumento da carga na direcção da teia, conforme se pode ver no caso do Poliéster para a curva de trama 1:2.

Um tipo de teste mais elaborado é o de cilindro. [9] Na Fig 5.11.c) encontra-se representado um aparelho de teste de cilindro desenvolvido pela empresa "Owens Corning Fiberglass", que utiliza simultaneamente pressão interna e tensão mecânica. Neste teste, uma amostra de tela é colocada em forma de tubo sobre uma superfície composta por uma membrana de borracha que faz parte do aparelho de medição, de forma cilíndrica. Para a realização dos testes o cilindro é cheio com água sobre pressão, o que provoca a dilatação da membrana de borracha contra a tela. A regulação do esforço exercido pelos discos ou tambores que compõem o aparelho de medição, permite a avaliação da resistência da tela sobre o esforço biaxial, obtendo-se assim o seu valor de resistência hidroestática (ver valores em tabela do anexo B).

Existem aplicações em que a tela sofre maioritariamente pressão de cargas multidireccionais, como é o caso das estruturas pneumáticas e insufláveis. A medição da resistência ao rebentamento é um processo relativamente semelhante ao teste de cilindro, mas enquanto o teste de cilindro é exclusivo das telas arquitectónicas, este é relativamente mais comum. Para realizar este teste são utilizados dinamómetros de rebentamento. Existem vários tipos de dinamómetro de rebentamento, tais como o de membrana e o de bola. O primeiro consiste numa câmara onde é exercida pressão hidráulica com um orifício circular superior onde a amostra é apertada contra uma membrana de borracha. Ao aumentar a pressão da água ou glicerina no interior da câmara, a membrana é esticada juntamente com o tecido. A certa altura, o tecido ou a tela rebenta e é medida a pressão a que isto sucede. Poderá também ser calculada a extensão ou resistência ao alongamento multidireccional. No aparelho de bola, uma bola de aço de 25 mm de diâmetro é forçada através de uma amostra que se encontra fixada entre um par de anéis, sendo a força necessária para rebentar a amostra uma indicação da resistência ao rebentamento. [39]

Mesmo utilizando valores obtidos com testes biaxiais, especialmente com o teste de cilindro, na realidade, a transposição destes valores para o cálculo duma estrutura têxtil, apresenta dificuldades que podem resultar de diversos factores. As necessidades de corte das telas segundo padrões não ortogonais, para melhor aproveitamento da tela ou para permitir a construção de formas mais complexas, podem levar a que os esforços principais nem sempre se façam segundo as direcções principais da teia ou da trama do tecido. A utilização de programas informáticos de cálculo não linear é uma possibilidade, mas só pode ser feita com algum grau de rigor, com valores extraídos experimentalmente, daí que estes programas sejam geralmente desenvolvidos pelas empresas especializadas na realização das coberturas têxteis. Em geral, são utilizados para o cálculo valores resultantes de testes uniaxiais, aos quais é aplicado um elevado factor de segurança, compreendido entre 3 e 8. [7]

A existência de costuras neste tipo de estruturas não coloca, em regra, problemas de resistência à tracção, já que na maior parte dos casos, até vêm reforçar as direcções onde os esforços são mais evidentes e o facto de se realizarem costuras químicas ou térmicas dos materiais de revestimento, até vem evitar os problemas que poderiam advir do revestimento ficar fragilizado nos pontos onde fosse feita uma costura mecânica.

#### ELASTICIDADE (MÓDULO DE TRACÇÃO).

Esta propriedade define a resistência ao alongamento. Quanto menor for a elasticidade (ou maior for o módulo de tracção), maior é a resistência da tela ao alongamento e portanto maior é a dificuldade em moldar a tela até à forma pretendida e maior a necessidade de rigor no corte da tela. A Fibra de Vidro / PTFE tem um elevado módulo de tracção, ou seja pouca elasticidade e portanto é mais difícil de trabalhar em termos de montagem que o Poliéster / PVC e, no caso de haver qualquer desajuste, mesmo que relativamente pequeno, haverá grande possibilidade de fissuração ou mesmo de colapso por rasgo [10]. O cálculo da elasticidade pode ser efectuado com um dinamómetro, tal como nos ensaios de tracção, e conforme o aparelho utilizado podem ser determinados valores de elasticidade numa direcção, em duas ou multidireccionais. Para cada uma das amostras de tela a ensaiar consideram-se dois tipos de recuperação elástica à tracção, nomeadamente a Recuperação Elástica Inicial (REI) e a Recuperação Elástica Total (RET), que são calculadas a partir de ciclos de carga e descarga.

#### ALONGAMENTO E ESTABILIDADE DIMENSIONAL.

Todos as telas tecidas sofrem alguma deformação não recuperável, especialmente durante a sua montagem. [10] É a estas deformações não recuperáveis da tela que podemos chamar de alongamento. Na maioria das Membranas arquitectónicas, o grau de alongamento será muito maior no direcção da trama, pelas razões já explicadas de

anisotropia e esse grau deverá ser conhecido para que se dê a correspondente compensação nos moldes de corte. [10] Várias técnicas têm sido utilizadas para minimizar este problema. Como já foi referido, durante a tecelagem podem ser utilizadas técnicas que minimizem a tendência para os tecidos serem anisotrópicos nas suas direcções principais, através da tracção no sentido da trama. Durante o processo de revestimento, também são normalmente utilizadas técnicas de pré-esforço com a mesma finalidade ou directamente sobre a tela antes de ser instalada. As próprias estruturas são normalmente sujeitas a um pré-esforço. Mas apesar de todas estas técnicas, as telas tecidas, especialmente as de Poliéster, mesmo quando previamente pré-esforçadas, continuam normalmente susceptíveis de sofrerem dilatações que as deformem ao longo do tempo. Vários factores podem levar a isto, como as variações da temperatura ambiente ou a absorção de humidade, por razões que dependem mais das fibras utilizadas que do tipo de tecitura ou de revestimento, apesar de também estes factores terem influência. [10] A absorção de humidade ocorre através da acção capilar das fibras [7]. A água não causa apenas mudanças dimensionais na tela mas também poderá transportar microorganismos que podem provocar manchas e degradação estrutural do tecido. Também pela acção do frio, a congelação da água retida nas fibras pode causar o enfraquecimento acelerado da tela. Para evitar estes problemas, o material de revestimento deverá estar sempre em boas condições, sem nenhum ponto por onde se possa infiltrar a humidade.

Independentemente da sua causa, as perdas de estabilidade dimensional são indesejáveis em estruturas têxteis, pois podem causar a perda do pré-esforço. As fibras de Poliéster são mais instáveis em termos da influência à temperatura e à humidade, ocasionando que "(...) cerca de metade do pré-esforço se perde nos primeiros dez dias, metade do restante nos seguintes cem e outra metade nos seguintes mil". [10] Torna-se assim necessário um ajuste do esforço aplicado na estrutura em períodos após a sua montagem, caso contrário a tela teria tendência a ficar "solta", esvoaçando e eventualmente levando ao seu rasgo. Além disso quando alguma área duma cobertura suspensa perde a sua tensão, esta passa a ter um papel nulo em termos da distribuição das cargas o que irá acarretar um esforço suplementar em outras áreas da tela e assim poder também conduzir ao colapso da estrutura. A Fibra de Vidro têm uma grande estabilidade dimensional ao contrário do Poliéster pelo que a necessidade de reajuste é menor, mas no entanto o ajuste inicial tem de ser muito mais rigoroso. [10] Os valores de alongamento à rotura típicos para telas de Fibra de Vidro / PTFE e Poliester PVC estão representados na tabela 5.1.

## RESISTÊNCIA À DOBRA.

As telas arquitectónicas são sempre parte dum sistema construtivo pré-fabricado, pelo que quase todos os seus componentes e elas próprias têm de ser transportadas do local de fabrico até ao de implantação. Durante as deslocações que a tela sofre, nomeadamente após o corte das peças, esta vai sendo dobrada, embalada, desembrada, desdobrada por várias vezes e também durante o processo de costura ou colagem e o processo de

montagem, o risco de ocorrerem danos na tela é bastante grande. Ainda maior será o risco quando numa cobertura móvel existirem frequentes deslocções desta ou numa estrutura conversível. O principal problema de danos que a manipulação das telas acarreta, deve-se a repetidas dobras do tecido, pelo que as características das fibras com que este é realizado terá grande importância nesta propriedade. Como já referimos nas características



**Fig. 5.14.** Teste de resistência à dobra. [7]

das fibras mais utilizadas, o Poliéster tem um comportamento muito melhor que a Fibra de Vidro no que respeita à resistência à dobra. A natureza "quebradiça" do vidro faz com que este, mesmo transformado em finíssimas fibras, seja ainda bastante sensível a sofrer danos por dobra. Vários testes têm sido desenvolvidos para medir esta propriedade, como o representado na fig. 5.14, que basicamente é composto por uma dobradiça na qual se fixa o tecido, a qual se fecha e abre várias vezes. [7]

#### DIRECCIONALIDADE.

Trata-se duma propriedade que normalmente diz respeito às telas com tecido estrutural, pois as não tecidas e as malhas têm em regra geral um comportamento mais uniforme pelo menos nas duas direcções principais (isotrópicas) [10] e por isso já foi exaustivamente tratada quando nos referimos aos tecidos na alínea 5.2.2 e à resistência em esforço de tracção, na presente alínea.

#### REACÇÃO AO FOGO.

O comportamento, relativamente ao fogo, dos materiais de construção, pode dividir-se em dois grandes grupos:

- **A resistência ao fogo.**
- **A reacção ao fogo.**

A resistência ao fogo aplica-se a materiais que, submetidos à acção duma curva Tempo / Temperatura normalizada mantêm as suas características estruturais, ou seja a sua capacidade portante, o isolamento da temperatura e a não emissão de gases inflamáveis. Nessa curva normalizada alcançam-se os 500 °C em 5 minutos, de tal forma que a resistência ao fogo é dificilmente aplicável a materiais de base polimérica. [5]

A reacção ao fogo define-se como o comportamento dum material face ao fogo a que está exposto e a forma como o alimenta ou não. Os parâmetros que normalmente se utilizam para quantificar a reacção ao fogo são: a facilidade com que este queima, a velocidade de

propagação superficial, a quantidade de calor libertado e a emissão de fumos e gases. [5] (vêr anexo A24) Nas construções têxteis, o problema do comportamento face ao fogo coloca-se essencialmente em grandes coberturas fechadas, sendo por isso que normalmente as pequenas tendas são produzidas com materiais relativamente inflamáveis, como lonas de algodão. Ainda que sujeitos a tratamentos ignífugos (anexo A25), os tecidos produzidos com fibras naturais são normalmente inflamáveis, com excepção da lã, daí que as tendas devam ser montadas respeitando determinadas distâncias entre elas e longe de fontes de combustão. A reacção ao fogo tem uma importância relevante, se pensarmos que uma grande cobertura têxtil, ao ser construída com materiais combustíveis, pode abater em chamas sobre os seus ocupantes, e trazer riscos elevados de queimadura e intoxicação. Para grandes construções, a legislação dos vários países, normalmente implica certas características de comportamento ao fogo para os materiais de construção. A percentagem de construções de grande dimensão, realizadas com telas incombustíveis, é muito superior nos Estados Unidos, em relação às telas combustíveis, enquanto na Europa sucede o contrário. Isto deve-se a uma legislação mais exigente no caso dos Estados Unidos, onde cada Estado dá um parecer autónomo sobre o tema e existem 50 normativas. Na Europa, cada país tem ou adopta os seus regulamentos de comportamento ao fogo para materiais de construção, mas em relação às telas têxteis, a falta de homologação no que diz respeito à área específica das telas arquitectónicas, como no caso Português, pode trazer alguma dificuldade de licenciamento para estas construções, no caso de coberturas fechadas perenes. Em Portugal, as telas arquitectónicas não se encontram classificadas em termos de comportamento ao fogo, pelo que, para o licenciamento de obras onde estas fossem utilizadas, haveria necessidade de fazer a sua homologação, pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, e a sua classificação, de acordo com o Decreto Lei nº 64 / 90 de 21 de Fevereiro no Artº 2º alínea 3. No entanto, segundo a Norma Francesa (NF), na qual a nossa legislação nesta área se baseia, as classes de comportamento ao fogo das telas arquitectónicas mais comuns, Poliéster / PVC que são vulgarmente M2 (material dificilmente inflamável) e a Fibra de Vidro / PTFE que é M0 (material não combustível) eram sempre bastante satisfatórios para aprovação, já que o mínimo exigível em coberturas são materiais de classe M3 (moderadamente inflamáveis). O mesmo poderia não suceder, no caso das estruturas suspensas, com os elementos estruturais, já que a exigência das normas Portuguesas é de EF 60 (estável ao fogo por 60 minutos), o que não seria viável por exemplo para os cabos metálicos interiores, mas poderia estar previsto o seu uso por condições especiais previstas na legislação, como no caso das estruturas de madeira e de lamelado de madeira.

TABELA 5.2. COMPORTAMENTO AO FOGO DOS DIFERENTES TIPOS DE TELAS ARQUITECTÓNICAS

|                           | NF      | DIN 4102 | Normas americanas         |
|---------------------------|---------|----------|---------------------------|
| Poliéster / PVC           | M3 / M2 | B1 / B2  | CSFM / NFPA 701           |
| Fibra de Vidro / Silicone | M0      | A2       | ASTM E 84 / E 108 / E 136 |
| Fibra de Vidro / PTFE     | M0      | A2       | ASTM E 84 / E 108 / E 136 |
| PTFE expandido            | M2      | B2       | CSFM / NFPA 701           |

## APARÊNCIA

Esta propriedade tem a ver essencialmente com a capacidade da tela e mais especificamente do seu revestimento envelhecerem mantendo a cor e aparência iniciais, pelo que é um dos factores que determinam a durabilidade. As telas de Poliéster / PVC deterioram-se em termos de aspecto, além da perderem propriedades mecânicas, pelo que em muitos produtos são aplicados sobre-revestimentos como o PVDF, para evitar a acumulação de sujidade na tela. Numa cobertura em tela de Fibra de Vidro / PTFE, pelas características particulares do PTFE, as sujidades não são retidas na superfície da tela e assim esta mantém-se normalmente limpa, o mesmo sucedendo com a Silicone.

## DURABILIDADE.

Esta propriedade tanto poderá dizer respeito à manutenção das propriedades estruturais, como a factores não estruturais, já que poderemos concluir que nalguns casos, o aspecto exterior, e a maior ou menor transmissibilidade, poderão influenciar as características de durabilidade. Em telas tecidas, a durabilidade para um determinado grau de exposição depende também do tipo de revestimento. [10] As fibras sintéticas degradam-se essencialmente com a exposição aos raios ultravioleta. "Esta degradação poderá ser substancialmente retardada com a aplicação de aditivos resistentes aos ultravioletas e limitadores da transmissão da luz nas próprias fibras e nos materiais de revestimento." [7] Quanto mais opaca for a camada de protecção mais resguardado fica o tecido e maior será o tempo de vida esperado para a tela. "Os tecidos revestidos a PVC podem durar apenas três a cinco anos se o grau de transmissibilidade for de 30 %, mas podem chegar aos quinze anos se tiverem um grau de 15% ou inferior". [10] No caso do Nylon, o factor necessário de protecção aos ultravioleta ainda é maior, já que esta fibra é extremamente sensível à degradação pela exposição solar. A vida útil média duma tela de Poliéster / PVC é normalmente de dez a doze anos, mas poderá ir até aos quinze a vinte anos em condições favoráveis [10], ou seja, quando o material de revestimento é mais opaco. Nos casos em que o revestimento de PVC tem uma grande transmissibilidade, a tela de Poliéster / PVC poderá também não durar mais de três a cinco anos. Uma tela de Nylon / PVC poderá não durar mais de um ano se permanentemente exposta ao sol, mesmo quando o revestimento tem um grau de transmissibilidade reduzido. Para tecidos de Nylon será sempre de evitar revestimentos com transmissibilidade, pelo que esta solução só é viável para situações totalmente opacas. As telas de Fibra de Vidro / PTFE podem durar até trinta anos ou mais, independentemente da transmissibilidade [10], já que a Fibra de Vidro não é afectada pelos raios ultravioleta, desde que o revestimento de PTFE não seja danificado acidentalmente e deixe água ou humidade entrar em contacto com a Fibra de vidro ou seja sujeito a dobras conforme já referimos. [10]

Entre as propriedades não estruturais das telas arquitectónicas, aquelas que nos parecem mais importantes são as que dizem respeito ao conforto térmico, sendo estas questões especialmente tratadas no próximo capítulo. Apresenta-se seguidamente a tabela 5.3., onde se referem as principais características dos sistemas de tela que dizem respeito ao conforto térmico. São valores médios, extraídos de literatura fornecida pelos fabricantes das telas, pelo que apenas constituem valores de referência.

TABELA 5.3. PROPRIEDADES NÃO ESTRUTURAIS COM INFLUÊNCIA NO CONFORTO TÉRMICO DAS TELAS

|  | Reflectância | Absorção  | Transmissão | Resistência térmica R<br>(Verão)<br>V.med. vento 12Km/h | Resistência térmica R<br>(Inverno) m <sup>2</sup> °C / W<br>V.med. vento 24Km/h |
|--|--------------|-----------|-------------|---|---|
| Cobertura convencional                         | 10 – 50 %    | 50 – 90 % | 0           | variável  | variável  |
| Poliéster/PVC                                  | 30 – 75 %    | 13 – 68 % | 2 – 12 %    | 1,33  | 1,15  |
| Fibra de Vidro/PTFE                            | 65 – 75 %    | 13 – 19 % | 6 – 22 %    | 1,23  | 0,89  |
| Fibra de Vidro/Silicone                        | 60 – 85 %    | 12 – 20 % | 15 – 28 %   | 1,20  | 0,83  |
| Tela dupla FV/PTFE com caixa de ar 25cm        | 60 – 70 %    | 28 – 34 % | 4 – 6 %     | 2,22  | 1,85  |
| Tela dupla FV/PTFE com isolamento transparente | 60 – 70 %    | 28 – 35 % | 2 – 5 %     | 12,5 – 7,14   | 12,5 – 7,14   |

Segundo R.E. Sheaffer [7]

## REFLECTÂNCIA E COR.

É uma propriedade que varia essencialmente com a cor da tela, mas também com a tecitura e o material de revestimento. As cores brancas ou claras da maior parte das telas, são responsáveis pela sua grande reflectância. A grande variação de reflectância nas telas de Poliéster / PVC, deve-se à grande gama de cores disponíveis, para o PVC, enquanto a pequena variação nas telas de Fibra de Vidro / PTFE e de Fibra de Vidro / Silicone, deve-se à quase exclusiva utilização da cor branca (se bem que no caso da Silicone já começam a surgir outras cores, mas ainda com pouca divulgação). Uma tecitura muito lisa, apresenta uma maior reflectância que uma tecitura com relevo, quando o revestimento não consegue cobrir as irregularidades da superfície.

## ABSORÇÃO TÉRMICA.

As telas arquitectónicas simples têm normalmente uma pequena capacidade de absorção, mesmo com as soluções de tela dupla com caixa de ar ou com isolamento transparente, daí a sua fraca inércia térmica. As únicas soluções conhecidas para que a capacidade de absorção seja elevada, será através de utilização de P.C.M.s (Phase Change Materials – nomeadamente parafinas), como iremos referir no seguinte capítulo.

## PROPRIEDADES ÓPTICAS VERSUS PROPRIEDADES TÉRMICAS.



Fig. 5.15. Calatrava Gaudi, Colônia.

O controlo da luz e insolação é intrínseco às telas e pode vantajosamente ser explorado nestas construções. O aproveitamento da translucidez das telas arquitectónicas permite grandes poupanças de energia em iluminação artificial, especialmente em soluções que têm uma ocupação essencialmente diurna, se bem que existam soluções de tela opaca, como no Pavilhão montado para o Musical Gaudi, em Colónia. (fig. 5.15.) Nas telas translúcidas, durante o dia, a luz natural é atenuada ao atravessar a tela e as radiações mais incómodas são filtradas. Durante a noite, a sua superfície pode ser utilizada para transmitir luz, apontando projectores para ela, o que permite iluminar o exterior da tela, dramatizando a sua forma, vista desde o exterior. A capacidade de transmissão de energia das telas permite a rentabilização dos ganhos solares durante o inverno em países frios ou com grandes amplitudes térmicas anuais, especialmente com soluções transparentes, como as películas de ETFE. Por outro lado, uma grande transmissibilidade pode ser problemática no Verão, pelos excessivos ganhos térmicos directos em países temperados. Se, no caso de países invariavelmente quentes, uma solução de pouca transmissibilidade é ideal e resolverá o problema, vemos que em países como Portugal, com uma amplitude térmica anual a oscilar entre temperaturas abaixo e acima da temperatura de conforto interior ideal, o cuidado na selecção desta característica das telas deverá ser bem ponderado. As telas simples caracterizam-se por pouca capacidade de isolamento, principalmente devido à espessura reduzida, mas ainda assim superior a certas soluções translúcidas normais como o vidro simples. A justaposição de duas ou mais telas apresenta-se como a solução mais comum para ultrapassar esta questão, muito especialmente quando a caixa de ar é preenchida por materiais isolantes translúcidos, como Fibra de Vidro. O limite máximo de isolamento versus transmissibilidade das telas ainda não foi atingido. "Com telas de Fibra de Vidro / Silicone, mais translúcidas e com a justaposição de várias camadas, os valores de resistência térmica R poderão ultrapassar os  $3,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$  e possivelmente chegar aos  $5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$  em soluções ainda translúcidas". [3] A cobertura do Aquatic Center de Calgary (fig. 3.24.), com quatro telas de Fibra de Vidro / PTFE, tem uma Resistência térmica (R) entre 2,8 e  $3,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$ , com uma transmissão de luz de aproximadamente 4%. Em termos comparativos podemos referir que um vidro duplo tem 1,5 e uma parede em tijolo de 20 cm, cerca de  $3 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$ , com a desvantagem desta última ter uma transmissibilidade nula.

TABELA 5.4. TRANSMISSÃO TÉRMICA PARA TELAS ARQUITECTÓNICAS COMPOSTAS COM CAIXA DE AR

|                  | Espessura total. (cm) | Coefficientes de transmissão térmica. $\text{K} (\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ |
|------------------|-----------------------|---|
| Tela simples     | -                     | 5,71  |
| Tela dupla       | 1                     | 3,19  |
| (sem isolamento) | 5                     | 2,87  |
|                  | 10                    | 2,77  |
|                  | 20                    | 2,70  |
|                  | 30                    | 2,70  |
| Tela tripla      | 20                    | 1,67  |
| (com isolamento) |                       |   |

(Para telas de Poliéster / PVC com uma densidade de  $600 \text{ g/m}^2$ , segundo dados do fabricante, a Hoechst).

Nem todas as propriedades não estruturais dizem directamente respeito ao conforto térmico. Uma dessas propriedades é a acústica.

## ACÚSTICA.

O comportamento acústico das telas têxteis caracteriza-se em geral por uma grande reflexividade das vibrações sonoras, particularmente na gama de frequências entre 500 a 2000 Hz.[7] Esta característica, se não for devidamente cuidada, pode levar a uma má acústica, quando utilizadas telas em espectáculos musicais ou onde haja projecção de voz, como em situações onde a superfície da tela tem uma forma côncava interior. (por exemplo em insufláveis ou em estruturas deformadas com arco). A capacidade de absorção das telas torna-se especialmente importante em situações onde é necessário isolar o interior do ruído exterior, como por exemplo em aeroportos. Tal como a reflexividade, a absorção depende da frequência das vibrações sonoras. Testes realizados a telas estruturais normais indicam uma capacidade média de absorção de cerca de 5 dB para frequências de 100 Hz e até 30 dB para frequências de 5000 Hz. [7] A reflexividade pode ser diminuída, bem como a absorção aumentada, tanto pelo tratamento da forma interior (por exemplo utilizando formas convexas), como pela utilização de telas mais porosas ou perfuradas, por exemplo utilizando-as como tela interior ou suspendendo com certo intervalo, faixas de tela da cobertura (como bambolinas num teatro). Existem telas especialmente indicadas para absorção acústica, como as "Fabrasorb" da Chemfab cujas principais características referentes à absorção acústica estão representadas na tabela 5.5.

TABELA 5.5. VALORES DE ABSORÇÃO ACÚSTICA DE TELAS ARQUITECTÓNICAS ESPECÍFICAS

|                         | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz | 4000 Hz |
|-------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Fabrasorb I (NRC=0.7)   | 0.66   | 0.43   | 0.56    | 0.64    | 0.65    |
| Fabrasorb II (NRC=0.55) | 0.40   | 0.40   | 0.60    | 0.60    | 0.70    |

(Valores de absorção medidos em "sabins / ft<sup>2</sup>" fornecidos pelo fabricante).

## IMPERMEABILIDADE.

A impermeabilidade numa tela deve-se essencialmente ao material de revestimento, mas também à tecitura e ao tipo de fibra utilizado. Por exemplo, nas tendas negras, realizadas com fibras naturais de lã, a impermeabilidade deve-se à tecitura apertada e à dilatação das fibras quando molhadas. Existem telas propositadamente não impermeáveis, tipo rede, com função de apenas sombrear, onde o tecido de tecitura aberta é revestido apenas nos fios, ficando abertos intervalos entre estes.

## **CAPÍTULO VI - PROPOSTA 1 . SISTEMAS INTELIGENTES**

Pretende-se neste capítulo confrontar os conceitos de “Edifício inteligente” e “Edifício integrado” e apresentar certos comentários sobre a “inteligência” dos materiais e sistemas construtivos. Referem-se a propósito os factores que influenciam as sensações de conforto térmico humano em espaços construídos e os métodos de avaliação destes, bem como o aproveitamento das energias alternativas em construções, nomeadamente através da utilização de materiais têxteis. Finalmente dão-se alguns exemplos de materiais e soluções solares “inteligentes” têxteis já disponíveis, que pretendem ser pistas de trabalho e finalmente propõe-se uma solução têxtil solar activa; uma lona “reactiva” onde se faz a utilização de pigmentos cromotrópicos por estampania. Com vista a testar as potencialidades desta solução, é feita a avaliação comparativa do comportamento térmico, face à exposição solar, da lona com e sem pigmento cromotrópico, tendo sido produzidas amostras da mesma lona, branqueada e tendo-se feito medições do fluxo radiante que passa através do mesmo tecido estampado com um corante preto normal (semelhante ao cromotrópico em termos de espessante utilizado), do tecido apenas branqueado e do tecido estampado com o pigmento cromotrópico

Na construção têm vindo a desenvolver-se uma série de novos materiais e sistemas construtivos, muitos deles utilizando têxteis na sua composição mas que, em Portugal, ainda não têm conhecido uma implantação significativa, ao contrário de outros países, como a Alemanha, os Estados Unidos e o Japão. Os tratamentos e revestimentos químicos que hoje se podem realizar sobre os têxteis, permitem que a sua durabilidade, resistência mecânica e propriedades ignífugas sejam aproveitadas na concepção de produtos e soluções eficientes e rentáveis e por isso "inteligentes" duma forma passiva quando, por exemplo, se pretendem grandes vãos livres ou uma iluminação interior natural uniforme. Se a utilização de telas têxteis já poderia por si só ser entendida como "inteligente" e não apenas em termos estruturais, alguns autores levaram ainda mais longe este conceito, quando colocam a hipótese de lhes conferir um comportamento activo. Frei Otto desenvolveu vários estudos de arquitectura biónica, [26] em que a natureza (figuras 6.1. e 6.2.) serve de modelo à construção de estruturas ou de subsistemas, com formas orgânicas, nomeadamente coberturas suspensas e pneumáticas. Se acrescentarmos a este conceito o das capacidades adaptativas dos seres vivos, temos aquilo que Jourda e Ferrand evocam como "uma arquitectura em osmose com a sua envolvente, com espaços que respiram em função das condições climáticas ou da luz". (citado em [5])



Fig. 6.1. Tela de Aranha. [22]

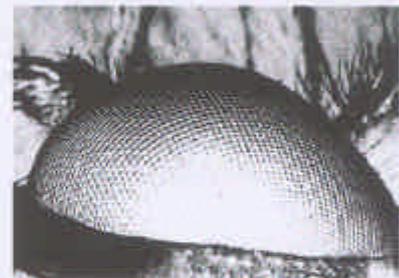


Fig. 6.2. Obo de aranha visto em microscópio. [22]

A definição de "inteligência" em construção tem sido alvo de várias interpretações. Subvertendo o conceito tradicional de "edifício inteligente", (um conceito recente, que data de 1981. [43]), cujo termo está hoje em dia quase exclusivamente associado à domótica, às redes de comunicações e aos automatismos, limitando este às áreas da electrónica e mecânica, pode-se contrapor o conceito ligado à arquitectura bioclimática de "estruturas com capacidades adaptativas". Não sendo necessariamente antagónicas, já que podem ser complementares, importa aqui ressaltar a atitude que coloca a ênfase em abordagens distintas do mesmo problema, a maximização da eficiência energética.



Na primeira definição, ligada às áreas da engenharia electrotécnica e mecânica, talvez aquela mais generalizada e aqui apresentada como tradicional, a “inteligência” dos edifícios diz respeito aos sistemas de comunicação e gestão do interior das construções, que podem controlar, através das redes de cablagens (nomeadamente de fibras ópticas) todas as funções associadas ao conforto e segurança, dizendo essencialmente respeito aos equipamentos (climatização, ascensores, alarmes ou iluminação). Talvez por isso a classificação como “edifícios integrados” [5] seja mais apropriada. Este conceito tem vindo a estar ligado a um crescente número de edifícios de escritórios, especialmente impulsionados por organizações empresariais ligadas à comercialização e desenvolvimento de novos produtos e serviços, com variação constante nas estruturas humanas e tecnológicas, o que exige grande flexibilidade no uso do espaço, bem como nas redes de comunicações internas e externas. [43] Os edifícios de escritórios são condicionados por diversos factores como a arquitectura e as tecnologias construtivas, as tecnologias da informação e a organização. Como nenhum edifício tem uma flexibilidade total, a atitude mais racional é a que combina mais harmoniosamente os diversos factores em jogo, deixando uma margem de ajuste que permita enfrentar as mudanças.

O mercado dos edifícios integrados, ou mais precisamente, o mercado da integração dos edifícios, é normalmente liderado pelas grandes multinacionais de electrónica e de comunicações, especialmente pelas que se dedicam aos automatismos, à climatização, à iluminação e aos sistemas de segurança. [43] A ênfase nas suas estratégias de marketing é posta na capacidade de adaptação e flexibilidade que permite aos utilizadores a actualização permanente em relação às novas tecnologias em condições óptimas de conforto e rentabilidade competitiva. O objectivo último que se pretenderia atingir com estes sistemas integrados, deveria ser a redução dos gastos de energia. Tem no entanto havido uma tendência generalizada para as preocupações a nível da organização interior das redes de comunicações, na flexibilidade dos postos de trabalho e no incremento das tecnologias activas de climatização, acompanhado por um decréscimo nas preocupações com a envolvente exterior do edifício, na relação interior / exterior e no aproveitamento das fontes de energia alternativas. A explicação para isto assenta em que os promotores destes ditos “edifícios inteligentes”, que na realidade são edifícios integrados, são os próprios fabricantes dos equipamentos electrónicos e mecânicos (tal como não é provável que um fabricante de lâmpadas faça a apologia da iluminação natural).

É no contexto das capacidades adaptativas aos elementos naturais envolventes e especialmente às fontes de energia solares, que as construções bioclimáticas podem ser entendidas como “edifícios inteligentes”, no mesmo sentido em que podemos considerar a nossa pele “inteligente”, por dispor de sistemas reactivos de arrefecimento ou de aquecimento. Este conceito de inteligência na construção, terá no entanto de ser sempre entendido como diferente da inteligência humana, tendo mais semelhanças com “reflexos condicionados”, que praticamente todos os animais e algumas plantas têm. Podemos antes falar de edifícios “inteligentemente concebidos”, expressão onde a arquitectura solar acaba por se integrar, mesmo se entendida como sistema passivo.

Antes de falarmos de arquitectura solar, entendemos que seria fundamental perceber as necessidades humanas em termos de conforto e de que forma os edifícios podem responder a essas necessidades. A sensação de conforto, ou mais precisamente, o desconforto, baseia-se na percepção que os nossos diversos órgãos sensoriais nos transmitem, a visão através dos olhos, o olfacto através do nariz, o tacto e a temperatura através da pele. “ O conforto térmico corresponde a um estado de espírito em harmonia com o ambiente térmico circundante, correspondendo à condição mínima de estimulação dos sensores térmicos do nosso organismo e da parte do cérebro que coordena estes”. [41]

As condições térmicas e atmosféricas dum espaço interior são, ou pelo menos deveriam ser, estudadas de forma a assegurar o conforto dos seus ocupantes, bem como garantir o funcionamento e a conservação de equipamentos, de mobiliário ou outros elementos que possam ser sensíveis às condições de temperatura e outros agentes atmosféricos. [41] Certos processos de fabrico, laboratórios, hospitais ou actividades como as desportivas, podem mesmo exigir certas condições particulares de temperatura e humidade, pelo que se torna muitas vezes necessário condicionar o ar. Este processo nem sempre é simples e podem por exemplo coexistir necessidades contraditórias de condicionamento de ar com vista a proteger equipamentos e objectos, em que o factor de conforto humano seja colocado em segundo plano. Por exemplo num museu, a necessidade de conservação das obras de arte pode impôr-se à manutenção dum ambiente climático “agradável”. O ar condicionado e a iluminação artificial têm vindo a causar a diminuição dos vãos exteriores, quer em quantidade quer em dimensão, facilitando o aparecimento e o proliferar de edifícios “contentor”, onde só aparentemente todos os requisitos de conforto estão presentes. Além de ser muito discutível que espaços sem iluminação e ventilação directa possam ser considerados como confortáveis, o facto dos gastos associados ao consumo e manutenção de grandes e complexos sistemas de ar condicionado e iluminação artificial serem excessivamente onerosos, torna estas soluções, muitas vezes consideradas “edifícios inteligentes”, como sendo efectivamente pouco “inteligentes”. Com a tomada de consciência dos factores que na realidade determinam o conforto ambiental, a aposta terá de se orientar em “estratégias de design que mais economicamente promovam esse conforto”. [41] Antes de referirmos algumas destas estratégias, em forma de modelos já realizados ou sugeridos, apresentamos alguns dos conceitos que nos importou estudar e que consideramos importantes para o entendimento das propostas e do conceito de “inteligência” que aqui pretendemos sublinhar. As condições ambientais, que conduzem à sensação de conforto humano são relativas, variando com o metabolismo de cada pessoa, com a adequação de cada raça a um clima, com o tipo de actividade que normalmente se desenrola no local, ou com o tipo de vestuário. As condições ambientais que influenciam numa forma positiva ou negativa podem ser de diversa ordem, como é representado no esquema seguinte;



Entre os factores que influenciam a sensação de conforto, os quatro assinalados a vermelho são os que dizem directamente respeito à interacção térmica entre as pessoas e o ambiente, mas esta relação pode ser afectada por qualquer um dos restantes parâmetros. Por exemplo, a existência de um cheiro ou de um ruído intensos podem conduzir a um aumento do metabolismo e levar à sensação de calor. O conhecimento dos mecanismos humanos de controle de temperatura e da forma como estes reagem pode ajudar-nos a perceber como se pode “projectar” conforto.

## OS FACTORES HUMANOS DE CONFORTO

Os seres humanos são essencialmente animais de temperatura constante, com uma temperatura interna de cerca de 37 °C. O calor do corpo humano é produzido como resultado duma actividade metabólica. De maneira a manter o equilíbrio térmico interno, a temperatura pode ser controlada aumentando o metabolismo e os ganhos térmicos ou rejeitando o calor através da transpiração e da diminuição do metabolismo. [41] O hipotálamo é o centro de controle que regista constantemente a temperatura do sangue e é estimulado pelas alterações na temperatura em qualquer parte do corpo. É esta área do cérebro que “coordena” os mecanismos de regulação térmica de maneira a promover ou diminuir os ganhos e as perdas térmicas. Isto pode ser feito, por exemplo, fazendo variar o fluxo de sangue que irriga a pele, dilatando ou constringindo os vasos sanguíneos. Como o sangue tem uma grande condutibilidade térmica, a dilatação aumenta a irrigação e a temperatura na superfície, o que facilita a transpiração e as perdas por convecção, diminuindo assim a temperatura interior, ou pelo contrário, mantendo a superfície pouco irrigada para diminuir a perspiração<sup>15</sup> e não perder o calor interior, ou em casos mais extremos, recorrendo a um mecanismo mais forte de aumento de metabolismo, o “tremor”. “Para ajudar à regulação, a pele dispõe de sensores que transmitem ao cérebro impressões sobre a temperatura superficial. O desconforto é devido ao excesso de actividade que o corpo tem de realizar com vista a manter o equilíbrio térmico. As condições óptimas de conforto correspondem assim a uma produção de calor igual às perdas, sem que os mecanismos humanos de controle de temperatura tenham de actuar”. [41]

<sup>15</sup> Difusão contínua de fluido intersticial através da epiderme à superfície da qual é imediatamente vaporizado, não chegando a humedecê-la, ao contrário da transpiração.

Matematicamente, a relação entre a produção de calor pelo organismo humano e os outros ganhos e perdas térmicas pode ser representada da seguinte maneira [41];

$$M = E \pm R \pm C \pm S \quad (6.1)$$

Com;

- M → Índice de metabolismo.
- E → Perdas de calor por evaporação, respiração e eliminação.
- R → Radiação.
- C → Condução e convecção.
- S → Capacidade de armazenamento de calor.

O corpo está sempre a produzir calor, pelo que o índice de metabolismo é sempre positivo. Se as condições ambientais são tais que as perdas combinadas de calor por radiação, condução, convecção e evaporação são menores do que o nível de produção de calor por metabolismo, o excesso tem de ser armazenado nos tecidos humanos. Mas a capacidade de armazenamento de calor (S – body heat storage) do corpo humano é reduzida, pelo que o recurso a protecções como o vestuário e a habitação são essenciais, especialmente em climas frios. [41] O corpo humano pode perder ou ganhar calor sensível por radiação (R), por transferência de convecção ou condução (C), dependendo da temperatura ambiente, da ventilação ou por exemplo do calor radiante do sol ou de um aquecedor (ver conceitos em anexo 26).

## CONFORTO E ARQUITECTURA

As temperaturas das superfícies envolventes num espaço fechado, em relação à temperatura de um corpo dentro desse mesmo espaço, determinam o grau e direcção do fluxo de calor radiante entre o corpo e a envolvente. [41] O conforto é afectado por estas trocas de calor radiante, sendo portanto importante saber, além da temperatura ambiente e da humidade, as temperaturas das superfícies envolventes e o valor médio da temperatura radiante para cada ocupante. A posição relativa de uma pessoa, face a uma superfície quente e que portanto emite bastante calor radiante, ou que se encontra excessivamente fria e por isso absorvendo demasiado calor, é também um factor relevante no conforto, (estar sentado de frente para uma fonte de calor pode corresponder a uma sensação de mais calor). Ao valor médio que corresponde à temperatura uniforme equivalente que as trocas de calor radiante reais causam numa posição determinada, e que por isso diz respeito a um ocupante que se encontre nessa posição determinada, chama-se temperatura radiante média (MRT – mean radiant temperature). [41] A temperatura radiante média MRT para um determinado ocupante pode, numa forma simplificada, ser calculada da seguinte maneira [41]:

$$MRT = \frac{\sum T_s \theta}{360} = \frac{\sum T_1 \theta_1 + \sum T_2 \theta_2 + \dots + \sum T_n \theta_n}{360} \quad (6.2)$$

Com,

$T_s \rightarrow$  Temperaturas das superfícies envolventes em °C.

$\theta \rightarrow$  Ângulo de exposição da superfície envolvente relativamente ao ocupante em graus.

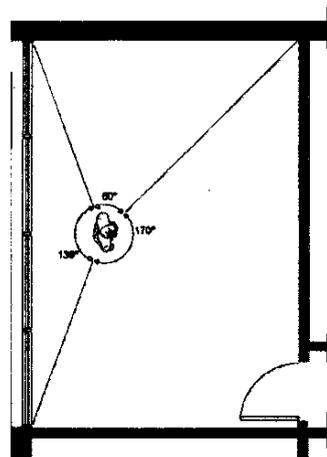


Fig. 6.3. Cálculo de MRT. [41]

Por exemplo, para o ocupante da sala representada na figura 6.3., o cálculo da temperatura radiante média seria: (supondo que a temperatura da janela eram 10 °C, a temperatura da superfície interior da parede exterior 19 °C, e a temperatura das duas paredes interiores 24 °C)

$$MRT = \frac{\sum T_s \theta}{360^\circ} = \frac{10 \times 130^\circ + 19 \times 60^\circ + 24 \times 170^\circ}{360^\circ} = 18^\circ \text{C} \quad (6.3.)$$

Esta forma de cálculo bidimensional e simplificada, pois não considera as emissões radiantes do tecto e do piso, serve apenas de exemplo à afirmação de que uma temperatura interior ambiente de, por exemplo, 24°C, pode corresponder a

diferentes temperaturas sensíveis no seu interior, conforme a posição do ocupante e assim coexistirem para um mesmo espaço diferentes situações de conforto. Podemos também referir que a homogeneidade das superfícies envolventes, em termos de calor sensível radiante, o que pode facilmente ser atingido numa cobertura têxtil em que os ganhos e perdas térmicas solares pela envolvente são mais homogêneos, é sinónimo duma melhor gestão do conforto térmico para todos os pontos onde poderão existir ocupantes.

Num ambiente frio, um corpo quente transmite calor radiante a todas as superfícies frias, como paredes, pavimento e tecto, mas especialmente às janelas, que constituem o factor principal em termos de perdas térmicas. Numa sala com duas pessoas, onde uma está situada perto da janela e outra longe da janela, a temperatura sensível irá ser diferente para as duas, apesar da temperatura do ar poder ser a mesma, a não ser que se igualem as condições, por exemplo fechando os cortinados e cortando a transferência de calor radiante.

Na situação inversa, uma pessoa que esteja demasiado quente devido aos ganhos que o corpo recebe por calor radiante duma janela em exposição solar, necessita de maior arrefecimento. Neste caso, as perdas de calor sensível podem ser incrementadas pela diminuição da temperatura do ar, colocando a pessoa em equilíbrio térmico, mas outra pessoa na mesma sala, que não esteja exposta ao sol, fica em desconforto, [41] o que mostra que não é apenas importante a manutenção duma temperatura agradável no interior dum edifício, mas também a concepção arquitectónica, incluindo a exposição, as características do material envolvente, as aberturas, a localização dos locais de permanência das pessoas e o tipo de ocupação em relação às fontes de calor e ventilação. Locais onde as pessoas estão em actividade física intensa ou onde têm mais roupa, necessitam uma temperatura diferente, mais baixa, do que aqueles locais onde as pessoas estão paradas ou com menos roupa, para obter um mesmo nível de conforto.

A capacidade de aclimação, a curto prazo, tem um papel importante na determinação das melhores condições de conforto. No Verão, os mecanismos humanos de controle ajustam-se à temperatura exterior, pelo que é necessário um certo tempo de reajuste a uma temperatura menos quente e húmida dum ambiente condicionado. Durante este período, o organismo experimenta um grau de perspiração muito menor e os vasos sanguíneos contraem-se. [41] Um ar condicionado, regulado para manter um ambiente agradável, durante longos períodos no Verão, pode revelar-se demasiado frio para uma pessoa que acabou de entrar, vinda de um ambiente exterior quente. Além disso, se essa pessoa voltar a sair rapidamente, pode sentir uma sensação de desconforto maior do que a anterior, pois a perspiração não consegue aumentar imediatamente e a irrigação da superfície da pele não se dá com o ritmo necessário ao restabelecimento do equilíbrio. A situação inversa dá-se no Inverno, quando um ambiente interior demasiado aquecido se torna desconfortável, especialmente tendo em conta que em locais de curta permanência, a quantidade de roupa utilizada é praticamente a mesma que no exterior, podendo chegar aos 3 Clo<sup>16</sup> [41] Pode concluir-se que, em espaços de curta permanência como átrios, quer na estação fria quer na estação quente, o ideal é manter um diferencial de temperatura entre interior e exterior, não superior a 3°C [41]

Quando os períodos de ocupação são longos e envolvem actividade semelhante de todos os ocupantes, como nos escritórios, o corpo ambienta-se ao ar condicionado e pode facilmente ser determinada uma temperatura ideal. Em edifícios comerciais, em restaurantes e muito especialmente em recintos desportivos fechados com público, deverá ser encontrado um compromisso entre a temperatura e a humidade necessárias ao conforto dos clientes ou público, e aquelas condições necessárias ao trabalho que é desenvolvido pelos empregados ou ao exercício físico pelos desportistas. As temperaturas ambiente ideais, variam consoante o tipo de actividade e de acordo com a humidade, as correntes de ar, as características individuais de cada pessoa, a roupa que usam e as temperaturas radiantes (MRT), assim pode considerar-se que existem temperaturas “ideais”, calculadas como uma média específica para cada tipo de ocupação, conforme se pode ver na tabela 6.1.:

**TABELA 6.1. TEMPERATURAS AMBIENTE IDEAIS PARA CADA TIPO DE OCUPAÇÃO**

| Tipo de ocupação                       | Temperatura em °C |         |
|--|-------------------|---------|
|  | Verão             | Inverno |
| Habituação, quartos de hotel, lares.   | 23—26             | 20—22   |
| Escritórios, salas de aula, tribunais. | 22—25             | 18—21   |
| Teatros, auditórios, igrejas, átrios.  | 24—27             | 21—22   |
| Restaurantes, cafetarias e bares       | 22—26             | 20—21   |
| Cantinas de estudantes                 | 24—26             | 18—21   |
| Salões de dança e discotecas           | 21—22             | 18—21   |
| Supermercados e lojas                  | 23—27             | 18—20   |
| Salas de cuidados médicos intensivos   | 22—26             | 22—26   |
| Salas de cirurgia                      | 20—24             | 20—24   |
| Cozinhas e lavandarias                 | 24—27             | 18—20   |
| Lavabos e corredores                   | 20—27             | 18—20   |
| Salas de banho e vestiários            | 24—27             | 21—24   |
| Saunas                                 | 43—49             | 43—49   |
| Ginásios                               | 20—22             | 13—18   |
| Piscinas                               | 24—25             | 24—25   |
| Fábricas                               | 27—29             | 18—20   |

(segundo [41])

<sup>16</sup> Representação numérica do valor total da resistência térmica da roupa onde 1 Clo = 0,155 m<sup>2</sup> °C / W.

As trocas de calor nos edifícios são semelhantes às que se dão entre o corpo humano e o ambiente. [41] Tal como o corpo humano deve manter uma temperatura interior constante, também um edifício deveria manter uma temperatura ambiente confortável duma forma constante. [41] Nesta analogia, o processo de metabolismo corresponde às actividades dos ocupantes e à operação de todos os equipamentos eléctricos e mecânicos que produzem calor. O calor é gerado pelos ocupantes em proporção directa com a quantidade e com o grau de actividade. Quando em actividade normal, o corpo humano liberta aproximadamente o mesmo calor que uma lâmpada de 100 W [41]. Este valor reduz-se para metade durante o sono e aumenta até cinco vezes em actividade física intensa. Os equipamentos e iluminação podem libertar ainda mais calor que os ocupantes, aumentando assim os ganhos internos. Podemos afirmar que o comportamento térmico de um edifício é a função do balanço térmico entre o calor gerado no interior e as trocas com o exterior. [41] O calor é conduzido pelas paredes envolventes, sempre que existe um diferencial entre as temperaturas exterior e interior, sendo essa transferência de calor sensível referida como transmissão de calor. Quando está mais quente no interior do que no exterior, os ganhos internos podem ser dissipados para o exterior. Se a temperatura exterior é suficientemente fria e se as fachadas tiverem pouca capacidade de isolamento, o calor perde-se rapidamente para o exterior. Se não se conseguir diminuir essas perdas, torna-se necessário introduzir calor por sistemas de aquecimento. Na situação inversa, quando a temperatura exterior é demasiado elevada, ou existem excessivos ganhos solares directos, a libertação de calor não se consegue dar naturalmente e a temperatura interior sobe. [41] Quando isto sucede, um mecanismo especial de arrefecimento torna-se a única hipótese de impedir a subida da temperatura, por exemplo através da ventilação forçada de ar com evaporação ou através de sistemas mecânicos de arrefecimento tipo “chiller” ou outros. É o que sucede normalmente em edifícios de escritórios, onde os ganhos de calor interiores, provocados pela grande concentração de pessoas, de computadores e de iluminação artificial são bastante elevados. Por esta razão, no Inverno, a necessidade de aquecimento num espaço de escritórios depende muito do grau de isolamento da fachada envolvente. As soluções de “muro cortina” podem mesmo revelar-se eficazes quando expostas a Sul, e durante os períodos de frio, tendo em atenção a posição dos ocupantes, de modo a serem evitadas situações de desconforto associados a uma elevada temperatura radiante.

Mesmo em edifícios de habitação, em países de clima moderado, quando existem poucas perdas, estas podem ser compensadas apenas com os ganhos devidos ao uso de aparelhos eléctricos, como fogões, lâmpadas e pelo metabolismo humano. [41] Podemos concluir que uma das principais diferenças entre um edifício de habitação e um edifício de escritórios, em termos de conforto térmico, é a de que uma habitação tem poucos ganhos internos e normalmente é mais necessário aquecimento, enquanto num edifício de escritórios, a grande concentração de equipamentos mecânicos, electrónicos e de pessoas a produzir calor pode

tornar desnecessário o aquecimento e pelo contrário pode tornar mais necessários sistemas de arrefecimento mecânico. [41] A necessidade de sistemas mecânicos de arrefecimento ou de aquecimento, poderão muitas vezes ser reduzidas ou mesmo eliminadas, não só pela gestão dos ganhos internos no Inverno, com fachadas bem isoladas, como pela gestão das perdas no Verão, com fachadas bem ventiladas e sombreadas. A utilização de materiais têxteis é sempre uma hipótese que deverá ser ponderada, não só para soluções de sombrear, como para aproveitamento racional dos ganhos.

As características térmicas de grande parte das telas para construção actuais, elevada reflectância e pouca capacidade de isolamento, torna-as mais viáveis para serem utilizadas em climas invariavelmente quentes durante todo o ano, como os tropicais. O único problema associado com a manutenção e as características das telas nestes climas, apenas tem a ver com a condensação que pode originar o desenvolvimento de musgo ou o amarelecimento destas e a aceleração do processo de desgaste. A pesquisa de novos materiais têxteis para construção, com melhor comportamento térmico, de isolamento aos ruídos, mostra-se oportuna, pois permite estender as suas possibilidades de utilização em direcção às necessidades actuais de conforto e assim dar um novo impulso aos sistemas construtivos inovadores. A figura. 6.9. apresenta um diagrama onde se tenta fazer uma classificação dos têxteis utilizados em construção enquanto elementos de regulação térmica;

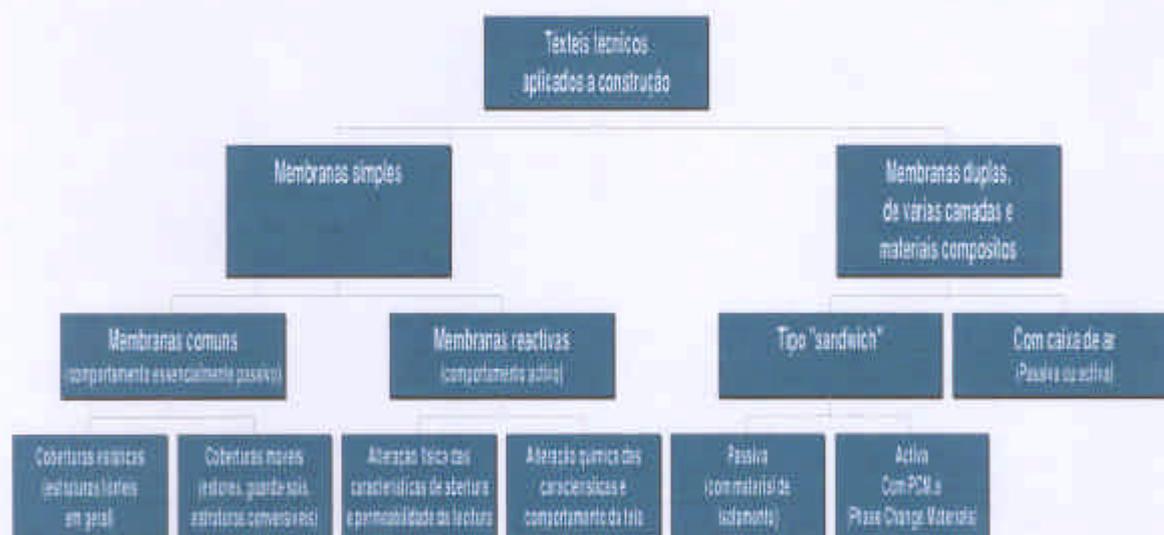


Fig. 6.4. Classificação, quanto ao comportamento térmico, das telas arquitectónicas.

A utilização de telas simples em coberturas tem-se revelado uma solução pouco eficiente em termos de comportamento térmico, tanto em climas invariavelmente frios como em climas com duas estações do ano opostas e grandes amplitudes térmicas anuais. A utilização de telas compostas de duas ou mais camadas com caixa de ar ou com isolamentos translúcidos são sistemas já utilizados para obviar estes problemas. As excessivas condensações que se dão no interior das coberturas realizadas em telas com

muita capacidade de isolamento são um dos problemas que se podem colocar, especialmente em locais com uma temperatura interior e um grau de humidade elevados; como piscinas ou estufas. Para evitar estas condensações, ou minimizar os seus inconvenientes, podem ser consideradas várias soluções, como sistemas de ventilação ou de incremento da circulação de ar e drenos para recolha das águas de condensação. Outra questão refere-se à dificuldade que existe em conseguir soluções que apresentem uma grande capacidade de transmissão de calor e ao mesmo tempo de isolamento, em climas frios ou durante a estação fria, em climas temperados. As membranas duplas, com caixa de ar e mesmo com mais camadas têm sido utilizadas em algumas estruturas, cujos coeficientes K de condutibilidade térmica podem chegar a valores interessantes, (tabela 5.4.) e ainda mais com a utilização de materiais de isolamento na caixa de ar, dizendo respeito a um comportamento passivo face ao aproveitamento da energia solar. Este tipo de solução tem mais lógica em zonas climáticas invariavelmente frias e durante o Inverno em zonas temperadas já que os ganhos térmicos solares diurnos são normalmente perdidos em estruturas ligeiras, como é o caso da arquitectura têxtil, quando se utilizam materiais com pouca capacidade de isolamento. A utilização de materiais isolantes não é por si só eficaz quando se trata de fazer o controle ambiental em climas que, apesar de frios no Inverno, são relativamente quentes no Verão, já que se coloca o problema, especialmente no final da estação quente, de se tornar mais difícil o arrefecimento, por o isolamento dificultar a dissipação do calor acumulado, o que é agravado quando não existem bons sistemas de ventilação ou com orientação a Poente. Existem sistemas solares passivos não apenas capazes de provocar aumento e conservação da temperatura no Inverno, mas também de provocar arrefecimento natural durante a estação quente, não só pela protecção em relação à luz solar ou pela inércia térmica, mas por exemplo com o recurso a ventilação por chaminés solares ou fachadas duplas ventiladas. Nos exemplos tradicionais de arquitectura têxtil e especialmente nos tipis, era utilizado empiricamente um sistema de ventilação semelhante a uma chaminé solar e no caso das tendas negras do norte de África, é aproveitado um processo de arrefecimento que explora a evaporação da humidade retida nas fibras de lã dos tecidos utilizados.

A ideia de que um edifício com baixo consumo energético é ecológico e que pela construção de mais estruturas deste tipo se consegue um desenvolvimento sustentável, não pode ser considerada totalmente verdadeira, sendo um pouco como afirmar que pela utilização de catalisadores nos automóveis estes já não poluem. Frei Otto afirma que "Construção ecológica significa não construir" [26], pois conclui que a construção de novos edifícios, por mais "amigos do ambiente" no sentido da redução dos custos de utilização, nunca permite por si só não poluir, a não ser que estes sejam realizados em substituição de edifícios já não recuperáveis em termos de eficiência energética ou no preenchimento de espaços urbanos vazios entre lotes construídos (se tivermos em consideração as perdas de energia que acontecem nas empenas cegas que "esperam" a consolidação total do tecido urbano de que fazem parte). Nas cidades, as preocupações energéticas assumem uma dimensão diferente e têm de ser vistas em conjugação com outros factores, como a poluição, o ruído, a densidade de construção, a relação entre

altura de fachada e largura das ruas, a vegetação, etc. [44] Uma orientação óptima em relação ao sol nem sempre é possível, pois o desenho urbano não foi concebido de raiz com essa preocupação e ainda hoje não o é na maioria dos casos. Assim, principalmente no Inverno, em que a exposição aos raios solares é mais necessária para o aquecimento natural passivo, dificilmente se conseguem "aberturas" necessárias à boa insolação de todos os compartimentos, o que não significa necessariamente que seja impossível realizar construções solares passivas em meios urbanos de grande densidade, apenas estando mais limitada pelas preexistências. Apesar das áreas rurais normalmente disporem de espaço suficiente para evitar sombras entre as diversas construções, a imensa e pouco ecológica rede de infra-estruturas e ocupação de terreno susceptível de ser utilizado em agricultura ou florestal, além das perdas térmicas associadas a maiores superfícies exteriores, significa que talvez não seja essa a opção mais viável. [44]

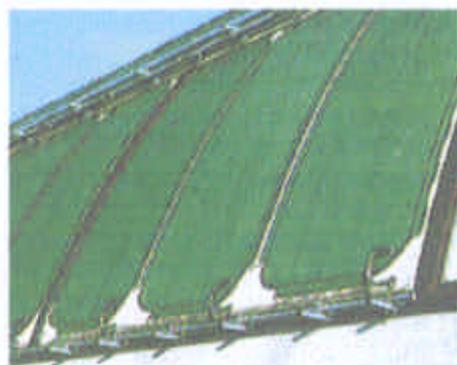
"Durante o processo de concepção dum edifício deverão ser conscientemente ponderados os materiais, os sistemas construtivos, a forma exterior e a orientação e exposição ao sol e ao vento. A selecção das fontes de energia que irão servir não só para a sua construção como para o seu funcionamento e manutenção, incluindo o bem estar dos seus ocupantes, deverá ser um factor cada vez mais a ter em conta (...)". [41] A questão do melhor aproveitamento das fontes de energia alternativas (ver anexo 27), deve-se ao facto das reservas de energias não renováveis, nomeadamente de petróleo, estarem a esgotar-se e os custos energéticos, se continuarmos a depender tão fortemente destas, terem tendência a aumentar e a tornarem-se inviáveis a médio prazo para os países não produtores. A reserva total de fontes não renováveis não é totalmente conhecida, mas é certamente limitada e, ao ritmo presente, prevê-se que não deverá durar mais de um século, pelo que a utilização dos recursos energéticos solares é cada dia mais pertinente.

Que tipo de estratégia será mais eficaz na utilização da energia solar, a activa que consiste na sua exploração com sistemas de ganho indirecto, ou a passiva que consiste na utilização de sistemas de ganho directo? Um exemplo de sistema de ganho indirecto, são os painéis de células fotovoltaicas, que ainda têm um preço muito elevado e só com incentivos financeiros estatais e tendo em conta os factores ecológicos a longo prazo, se tornam viáveis. Os painéis colectores para aquecimento de água são soluções comuns de ganho indirecto e compreendem vantagens económicas reais, mesmo sem ter em conta os aspectos ecológicos que resultam da redução na utilização de fontes de energia tradicionais e actualmente já existem em painéis flexíveis com utilização de materiais têxteis (FIG. 6.6.) e aplicação em coberturas têxteis, como no



Fig. 6.5. "Moby Dick" [cat]

Fig. 6.6. Painéis colectores têxteis [cat]



complexo de piscinas “Moby Dick”, em Rülzheim na Alemanha. (fig. 6.5.) Tanto os painéis de células fotovoltaicas, como os colectores podem ser entendidos como sistemas de ganho indirecto, essencialmente porque exigem muita capacidade e gastos associados ao armazenamento ou o funcionamento paralelo com os sistemas tradicionais<sup>17</sup>. É esta dependência que muitas vezes inviabiliza estes sistemas, pela necessidade de criar depósitos isotérmicos de grande dimensão ou baterias acumuladoras muito caras e volumosas, se for pretendida a total autonomia do sistema. Soluções que começam a ser comuns nos Estados Unidos, apresentam sistemas de aproveitamento de energia eléctrica solar a título particular, com ligação à rede pública. Um contador que trabalha nos dois sentidos permite que, em alturas em que a produção individual de energia supera os gastos, o excesso seja enviado para a rede pública e, quando a produção individual não é suficiente, se vá buscar energia eléctrica à rede pública. Se a produção individual anual for superior aos gastos haverá inclusivamente lugar a reembolso por parte da companhia administradora da rede.[45]

O uso de sistemas passivos na utilização da energia solar é uma solução mais económica, pois permite o conforto térmico sem gastos de aquecimento e arrefecimento artificiais. A arquitectura solar passiva abre novas perspectivas de concepção, mas em termos urbanísticos implica cidades redesenhadas com orientações predominantes a Sul. Na reabilitação de edifícios antigos e na consolidação dos espaços urbanos existentes, a única resposta que muitas vezes se revela possível no aproveitamento da energia solar, é através de sistemas activos e / ou com sistemas passivos de pouca rentabilidade. A renovação das caixilharias exteriores e a colocação de vidros duplos são algumas das hipóteses (pois as perdas térmicas pelas caixilharias são responsáveis nos meses frios por um grande arrefecimento do ambiente interior e indirectamente responsáveis por gastos energéticos devidos à utilização de aquecimento artificial), bem como a utilização de estores têxteis interiores, quando a sua colocação exterior coloca problemas estéticos (a utilização de estores interiores é também mais eficaz para reter o calor durante a noite).

Quando as construções são concebidas de raiz e existe a intenção de aproveitamento térmico, podem ser ponderadas várias soluções passivas. As chamadas casas solares passivas, se nos referirmos especificamente ao caso Europeu e ao clima temperado, funcionam basicamente com grandes áreas de envidraçados expostos a Sul e sistemas de sombrear exteriores, para evitar excessivos ganhos solares no Verão. A área óptima para os envidraçados a Sul é de 2/3 a 3/4 da superfície total da respectiva fachada. [44] Estes envidraçados deverão ter pelo menos um coeficiente de transmissão térmica K [41] de 0,7 W/m<sup>2</sup>.°C <sup>18</sup> pois, caso contrário, as perdas de transmissão excederão os ganhos solares. [44] O aumento do coeficiente k para mais de 0,7 W/m<sup>2</sup>.°C é problemático, porque a energia transmitida será excessivamente reduzida. O sombrear é essencial para um bom

---

<sup>17</sup> Por existirem períodos em que o sol não fornece energia suficiente ou mesmo nenhuma, como durante a noite ou em dias muito encobertos.

<sup>18</sup> Este é o valor do coeficiente de transmissão térmica aproximado para um vidro triplo de 30mm incolor.

comportamento térmico destas fachadas e o seu desenho e características devem obedecer a certas regras, nomeadamente ter em conta as diferentes inclinações do sol durante o ano. O sombrear pode ser feito naturalmente, através de vegetação (podendo inclusivamente ter um papel activo no aproveitamento dos ganhos solares pela utilização de plantas de folha caduca), através da posição relativamente ao relevo geográfico e através da diferente orientação dos vãos. Pode ser também artificial, quer pela posição relativa a outras construções, quer pela própria volumetria e forma da construção. Podem também ser utilizadas palas (metálicas ou de betão armado), mas também elementos



têxteis, como toldos ou estores têxteis exteriores (fig. 6.7.) com a vantagem adicional do baixo peso e custo, e de ser possível obter vários graus de transparência e regulação do fluxo solar, com tecituras mais ou menos fechadas. As fachadas a Sul podem também ser usadas para produzir ganhos solares no Inverno através da utilização de materiais translúcidos com isolamento térmico, como é o caso das placas de policarbonato, que dispõem dum coeficiente K superior ao vidro, mesmo triplo e especialmente uma boa

capacidade de absorção e grande inércia térmica [44].

Preocupações energéticas a longo prazo implicam mais do que a correcta exposição solar e desenho de vãos. Uma hipótese é a realização de construções "compactas", que permitam a redução das perdas energéticas, mas apresentam-se vários problemas que dificultam esta atitude, de ordem social e mesmo técnica. A topografia do local, por exemplo, influencia o grau de exposição solar, bem como a ventilação natural, pelo que muitas vezes se torna impossível construir blocos de grande densidade e aglomerados de habitações. Uma outra forma de incrementar a inércia térmica dum edifício consiste em aumentar a espessura das paredes, utilizar materiais densos ou enterrar as construções. Todos sabemos como o interior duma igreja Românica construído com grossas paredes de pedra e poucas fenestraçãoes, ou uma cave, mantêm uma temperatura fresca durante o início do Verão e uma temperatura amena durante o início da estação fria. A razão deste fenómeno deve-se ao facto da grande espessura das paredes de pedra e da terra implicarem uma grande inércia térmica (causam um grande atraso na transmissão do calor e têm uma grande capacidade de armazenamento deste). Estas barreiras térmicas têm um ciclo que, entre armazenagem e reemissão do calor, pode durar várias horas ou vários dias. A magnitude e configuração da massa exterior pode e deve ser determinada por forma a armazenar calor do sol ou dos ocupantes de acordo com as amplitudes térmicas diárias e com o tipo de ocupação, para por exemplo conseguir manter uma temperatura interior amena, durante a noite, em dias frios. [41] A opção por uma grande ou pequena inércia térmica depende especialmente do tipo de clima. Uma grande capacidade de armazenamento é desejável quando o clima exterior oscila bastante, tanto acima como

abaixo da temperatura interior ideal, sendo este o caso de Portugal. Por exemplo, num edifício de escritórios em que a ocupação será apenas durante o dia, a capacidade de armazenamento das fachadas exteriores deverá ser suficiente para manter a temperatura interior durante a noite, com os aparelhos mecânicos de aquecimento e arrefecimento desligados, de forma a que durante o início dos dias de trabalho não haja uma sobrecarga destes aparelhos para retomar a temperatura interior ideal. [41]

Existem, no entanto, várias desvantagens associadas ao incremento da massa construída, na utilização de materiais densos ou na realização de construções enterradas. O preço do material, associado ao custo do transporte, a dificuldade de construção devida ao peso e ao preço dos terrenos e a pouca iluminação natural e consequentes custos de iluminação artificial, torna este tipo de soluções muitas vezes inviável, hoje em dia, principalmente em meios urbanos. Se o aumento da massa da envolvente das construções é uma hipótese pouco realista, o uso de materiais e sistemas inovadores mais ligeiros é decerto uma opção mais sensata. A utilização de estruturas e materiais leves, tem sido frequentemente posta de parte, especialmente em países com grandes amplitudes térmicas diárias ou frios, pela sua fraca inércia térmica. As construções ligeiras tradicionais têm pouca capacidade de retenção de energia, nos dois sentidos das trocas térmicas. Em dias quentes de Verão, uma grande parte do calor penetra no interior, causando um rápido aumento da temperatura, assim como rapidamente se dissipa durante a noite, provocando a descida da temperatura pela pouca capacidade de armazenamento de calor.

Em climas onde os dias e as noites são invariavelmente frios, abaixo duma temperatura confortável, a utilização de paredes construídas em materiais densos e com grande inércia térmica poderá ser uma solução pouco vantajosa. "Durante o dia, as paredes expostas com uma grande absorção, retêm o calor resultante da radiação solar, enquanto fachadas ligeiras transmitem uma maior quantidade de calor para o interior. Durante a noite, contudo, os ganhos de energia solar não existem, pelo que o calor armazenado pelas paredes será libertado lentamente no interior, o que ajuda à manutenção duma temperatura interior confortável. Numa solução de fachada translúcida a armazenagem de calor pode ser feita pelo pavimento ou pelas paredes interiores. (fig. 6.8.) O resultado global será aproximadamente o mesmo, mas, por exemplo, se considerarmos uma ocupação essencialmente diurna, como num escritório, uma fachada ligeira translúcida será muito mais vantajosa." [41] A utilização de materiais isolantes ligeiros, como o poliestireno ou as mantas de Fibra de Vidro, tem-se revelado cada dia mais importante na construção, especialmente em climas frios, pela capacidade de aumentar a resistência térmica, sem no entanto aumentar a massa construída. Os isolamentos translúcidos, e

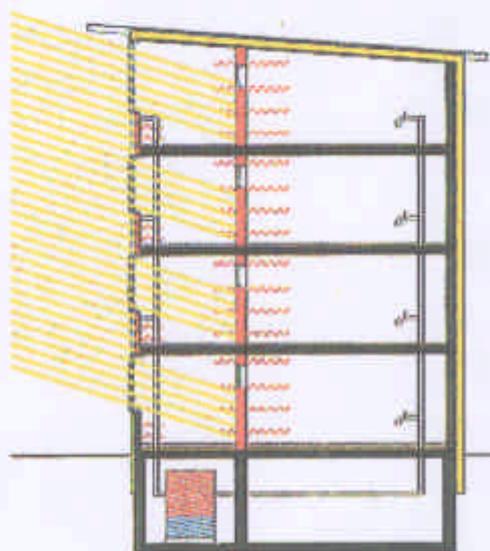
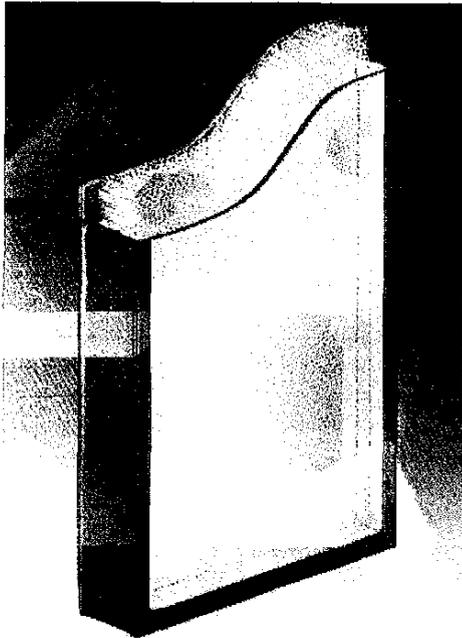


Fig. 6.8. Armazenagem de calor nas paredes interiores [48]

mesmo transparentes, como os acrílicos, os vidros duplos e triplos e as placas de policarbonato, constituem soluções especialmente favoráveis em climas frios, já que associam uma grande transmissibilidade e consequentes ganhos térmicos directos, com uma boa capacidade de isolamento térmico e assim a manutenção do calor no interior, mesmo durante a noite.

Exemplos de isolamento térmico translúcido são os sistemas de fachada “Helioran” e “Kapipane”. [47] Este último (fig. 6.9.), consiste na sobreposição de uma série de tubos de



**Fig. 6.9.** Isolamento transparente “Kapipane” [47]

vidro de 3,5mm de diâmetro transversalmente colocados em relação às duas placas (de vidro, de acrílico ou eventualmente de tela) que formam o painel “sandwich”. Este sistema pode ser utilizado como colector de radiação solar, revestindo paredes opacas com grande capacidade de armazenamento de calor, ou então servir directamente como material de isolamento transparente, com a propriedade particular de, com metade da espessura de outros painéis, possuir um índice K de  $0,8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  e uma transmissão total de radiação térmica de 80 % (valores obtidos com painel em vidro duplo Kapilux – H). [47] Além disso ambos os sistemas, pela refração da luz solar que é provocada nos tubos de vidro, permitem um incremento da iluminação interior, de forma a que esta seja mais uniforme e assim chegue a zonas interiores que de outra forma ficavam mais escuras. [47]

Também no capítulo das soluções translúcidas isolantes têm surgido materiais têxteis e especialmente películas de grande transparência que, quando compostas em soluções de várias camadas e, especialmente com a introdução de isolamentos translúcidos ligeiros no interior, como a lã de vidro, permitem grande isolamento térmico e ainda alguma transmissibilidade de luz. Os materiais e as fibras têxteis, nomeadamente Poliéster e Fibra de Vidro, têm entrado em muitas das composições de telas de impermeabilização, no reforço dos rebocos colocados sobre materiais isolantes exteriores ou no reforço de mantas de materiais isolantes interiores (para colocação sob coberturas ligeiras). Também isolantes são as alcatifas, os cortinados e os estores, mas nenhum destes elementos poderá ser entendido como “arquitectura têxtil” pois, como já referimos, a arquitectura têxtil pressupõe materiais têxteis com papel estrutural e construtivo e não apenas soluções em que estes são meros elementos de revestimento e decoração. Podemos concluir que em climas frios, uma situação ideal seria a utilização de grandes áreas com ganhos térmicos directos, por exemplo utilizando materiais translúcidos isolantes e elementos de armazenamento térmico no interior, como placas de pavimento e paredes interiores densas, ou mobiliário com grande capacidade de armazenamento térmico.

Em climas equatoriais, onde os dias e as noites são invariavelmente quentes e húmidos, outra situação se coloca, mas aqui a vantagem vai especialmente para as soluções de construção ligeira com pouca inércia térmica, sem isolamento e mesmo para soluções com ventilação natural, já que o factor predominante é a necessidade de arrefecimento. Todos os materiais utilizados no interior, especialmente os expostos à radiação solar (cuja incidência directa deverá ser evitada ao máximo), deverão ser ligeiros e, conseqüentemente, com pouca inércia térmica. Os materiais e construções têxteis têm aqui grandes possibilidades de aplicação, já que uma simples cobertura têxtil e um estrado sobreelevado, mesmo sem paredes ou com paredes ligeiras, poderá constituir uma solução perfeitamente viável e mesmo ideal do ponto de vista térmico. (fig. 3.11.)

No que diz respeito à sua concepção e duma maneira geral, os edifícios construídos actualmente deveriam, (apesar de serem raros os casos em que isto acontece), levar em conta os seguintes aspectos, já que a sua vida útil poderá ainda ir além do esgotamento das reservas de petróleo e gás natural [41]:

- Usar o mínimo de energia necessária, não só na construção como na manutenção de conforto térmico, através de sistemas passivos e activos na forma mais racional possível.
- Projectar edifícios que possam futuramente utilizar outras fontes de energia, nomeadamente renováveis, mesmo que, por razões económicas, se revele, a curto e médio prazo, mais viável a utilização de combustíveis não renováveis.

Há muitas formas de melhorar a eficiência energética dos edifícios. É da responsabilidade dos ocupantes não desperdiçar energia e utilizar a energia disponível da forma mais racional possível, mas compete aos projectistas, que concebem os edifícios, bem como aos legisladores e aos promotores, dotar estes com o máximo possível de mecanismos e tecnologias passivas e activas que permitam ao utilizador economizar, sem no entanto perder conforto nem segurança. [41] Isto implica, entre outras coisas, a manutenção de condições térmicas e atmosféricas nos espaços fechados criados, mais confortáveis do que as disponíveis no exterior. Estas condições são resultantes do projecto de arquitectura, que define as características da envolvente, não só em termos de posicionamento das aberturas em relação à orientação solar, como à posição dos dispositivos de sombrear e protecção solar e à concepção de sistemas activos de controle ambiental. (tais como desumidificadores, aparelhos de ar-condicionado, etc.) [41] Na situação mais comum, os projectistas sem formação de térmica, concebem edifícios com uma envolvente exterior, com zonas fechadas e abertas, devidamente impermeabilizadas e isoladas e as empresas ou os Engenheiros especializados em térmica, normalmente de mecânica, concebem sistemas de controlo de energia e de ventilação activos e passivos, à posteriori, não sendo chamados durante uma fase anterior, a dar sugestões quanto à configuração arquitectónica. Esta ainda é uma situação comum em muitos países, como em Portugal.

Existe normalmente uma diferença entre ambiente interior e exterior, caso contrário não teria lógica construirmos abrigos. Tradicionalmente, as fachadas exteriores dum edifício têm sido entendidas como “barreiras” que separam o interior do ambiente exterior. No entanto, estas barreiras nunca são totalmente estanques, pois não seria viável um isolamento perfeito quando temos também necessidade de receber radiações solares directas, de ventilação natural e em geral de nos relacionarmos directamente com o exterior. Todos os materiais de construção tradicionais permitem algumas trocas de calor e têm uma certa permeabilidade ao vapor de água.

O uso de soluções combinadas de ventilação / insolação, nomeadamente com a utilização de paredes de Trombe [44] (fig. 6.10.) é um método eficaz de fazer o aquecimento natural durante a época fria do ano, quando há insolação suficiente e ao mesmo tempo permitir ventilação, impedindo a formação de condensações interiores. As paredes de Trombe consistem em paredes construídas no interior das habitações, normalmente em betão ou outro material com boa capacidade de armazenamento térmico e absorção, de modo a que o calor por ela

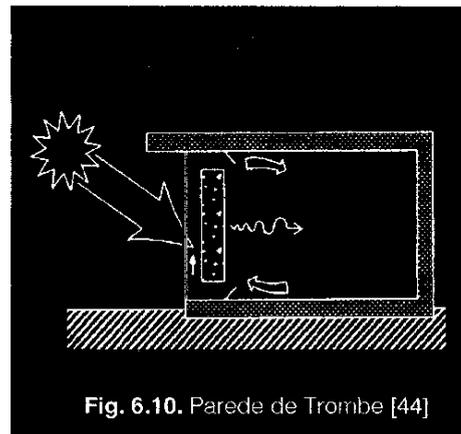


Fig. 6.10. Paredes de Trombe [44]

acumulado durante o dia possa ser libertado durante a noite. (daí ser uma solução especialmente adequada à estação fria e em dias de boa insolação) Os problemas residem normalmente em que a construção destas paredes interiores com uma grande massa, vai diminuir a iluminação interior, por serem opacas e incrementar o peso da construção, além de se mostrar ineficaz durante o Verão, ou mesmo contraproducente se não houver cuidado em fazer o sombrear e a ventilação em sentido inverso. A necessidade duma grande superfície de envidraçados orientados a Sul, vai obrigar a que normalmente a utilização de paredes de Trombe se faça exclusivamente em construções concebidas de início com essa intenção. A recuperação de fórmulas de desenho antigas, como as varandas tipo solário (as vulgares marquises que, quando integradas no projecto de arquitectura e colocadas a Sul, assentam neste princípio e podem mesmo constituir soluções eficazes do ponto de vista térmico e esteticamente interessantes). O simples facto dos edifícios e das suas fenestraçãoes serem correctamente orientados e de haver soluções passivas de aproveitamento da energia solar, permite muitas vezes mais conforto e também maiores poupanças energéticas, do que o recurso a sofisticadas tecnologias, como a climatização.

Um problema associado aos sistemas mecânicos activos de controle ambiental, normalmente associados a soluções arquitectónicas mal concebidas no aspecto do aproveitamento bioclimático, é o facto destes gastarem energia em excesso, na maior parte das vezes electricidade e terem por isso uma maior dependência do fornecimento exterior de energia e uma manutenção cara. “As actuais preocupações energéticas e especialmente ecológicas, trouxeram a necessidade duma reavaliação do papel da pele

exterior do edifício e cada vez mais esta aparece entendida como uma fronteira dinâmica, interagindo ao mesmo tempo com os factores exteriores e com o ambiente interior”. [41] A substituição dos sistemas mecânicos por sistemas passivos de controle ambiental integrados na própria fachada permite economizar energia além de melhorar as condições de conforto térmico, pois evita problemas de, por exemplo, haver uma temperatura radiante muito superior à temperatura ambiente. Se o clima fosse estático e as condições exteriores também, não haveria tanta necessidade da barreira exterior de um edifício não ser uniforme e imóvel, mas como o sol e as suas manifestações atmosféricas são um recurso energético intermitente e variável ao longo do ano, torna-se por vezes desejável a interposição de elementos de protecção controláveis. Quando as condições exteriores estão próximas das de conforto interior desejáveis, as protecções podem estar abertas, mas quando estas se tornam desagradáveis e existem necessidades acrescidas de aquecimento ou arrefecimento, é fundamental algum grau de regulação (que permita gerir as trocas térmicas e também luminosas). Já vimos que as fontes de ganhos solares no interior dum edifício são de vária ordem, desde as pessoas aos equipamentos mecânicos, mas a principal fonte é normalmente o sol. Uma grande parte dos ganhos são devidos a calor radiante, que não aquece directa e imediatamente o interior, mas que incide primeiro em superfícies sólidas com capacidade de armazenamento, como paredes, placas de piso ou de tecto, ou mesmo elementos de mobiliário interiores, sendo depois lentamente reenviados em forma de calor radiante ou por convecção. [41] Por essa razão, dispositivos de controle solar que possam admitir ganhos térmicos e com alguma capacidade de armazenamento térmico, serão preferencialmente colocados no interior, de modo a que a luz do sol seja transformada em calor no espaço interior. Quando é desejada uma diminuição dos ganhos solares, em vãos muito expostos (mas sem perder a capacidade de iluminação natural), as barreiras deverão preferencialmente ser colocadas no exterior de modo a que a radiação solar seja interceptada antes de atingir o interior e as correntes de ar no exterior ajudem à sua mais rápida dissipação por convecção.

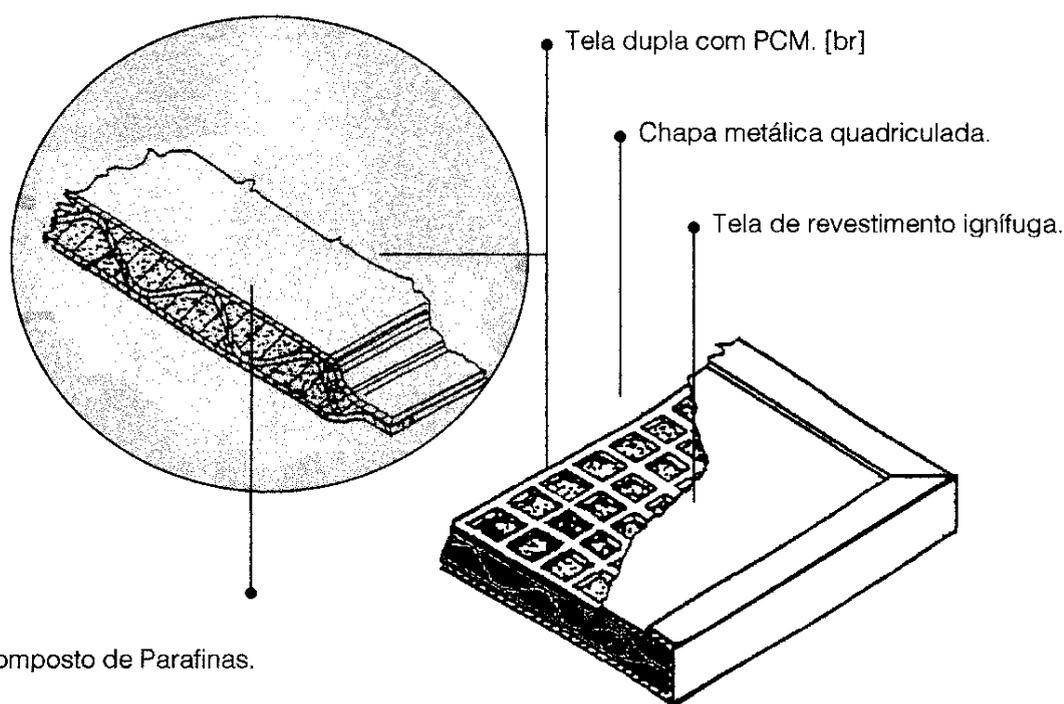
Um novo conceito de “fachada inteligente” é o de mediação energética, recorrendo às fontes naturais: o sol, o vento e a água (ou humidade). Esta mediação pretende o estabelecimento do equilíbrio nas trocas energéticas entre o interior e o exterior, cabendo assim ao projectista, com o auxílio de consultores especializados, conceber na própria estrutura envolvente, as melhores condições térmicas e de luminosidade. Só em condições extremas deverá ser necessário o recurso aos sistemas mecânicos. Novos desafios se colocam assim aos projectistas, e assim sendo, o bom design implica actualmente não só a estética, a funcionalidade e o custo do sistema construtivo, mas também o comportamento térmico e a impermeabilização. Um edifício de habitação, esteticamente agradável mas com fracas condições de insolação e isolamentos, começa a ser conotado como de “má construção” e o seu promotor a ser marginalizado no mercado imobiliário. [41]

Uma forma de permitir a manutenção duma temperatura interior confortável, especialmente em construções que de origem foram mal concebidas em termos de exposição solar e de isolamento térmico, é através de sistemas activos de climatização, como os aparelhos de ar condicionado, os convectores eléctricos ou os radiadores. No entanto, os gastos energéticos associados a estas soluções, como recurso para compensar os erros de concepção, são cada dia mais inoportáveis, o que implica a pesquisa de novas soluções e de sistemas mais "inteligentes". Quando as alterações não podem ser feitas de raiz, ou quando nas cidades se torna impossível garantir soluções ideais de exposição solar por problemas de urbanismo, torna-se necessário pensar em alternativas. Também em edifícios com sistemas construtivos ligeiros, como as coberturas têxteis, torna-se difícil conseguir uma boa inércia térmica, sem alterar duma forma substancial o peso e a densidade da envolvente exterior. Estudos recentes, realizados nos Estados Unidos, têm revelado as potencialidades dos PCMs (Phase Change Materials) associados a telas têxteis, como painéis térmicos. Existem vários tipos de PCMs, tais como: [48]

- Água.
- Sais e Hidratos de Sal.
- Metais e ligas.
- Polialcoóis.
- Parafinas.
- Eutecticos.

Utilizando telas duplas interligadas, (flexíveis ou endurecidas com resinas), em painéis no interior das quais se colocam os PCMs, as propriedades destes podem ser aproveitadas tanto associadas aos paramentos verticais (em painéis flexíveis), como em coberturas e pavimentos. (em painéis rígidos) [48] A principal característica dos PCMs com comportamento térmico adequado à construção, é a de possuírem a propriedade de mudar o seu estado físico (de líquido a sólido ou o contrário) dentro duma gama de temperaturas de conforto, normalmente entre os 20 e os 25° C, libertando ou absorvendo assim calor latente. Durante os períodos de aumento da temperatura ambiente, o calor é absorvido pelo PCM, à medida que se dá a mudança para o estado líquido, enquanto durante os períodos de descida da temperatura, dá-se a solidificação do PCM e a consequente libertação de energia em forma de calor [49].

Os PCM's funcionam assim como sistemas auto-reguladores de temperatura, mas deverão ser calculados e ajustados à dimensão e características do espaço onde se localizam. São relevantes, a temperatura a que se dá a mudança de estado e a libertação e absorção associadas a essas mudanças, que devem ser equivalentes, a sua capacidade de absorção e emissão de calor sensível<sup>19</sup>, além da suas características de estabilidade aos múltiplos ciclos de mudança de estado, que podem ocorrer durante o seu tempo de vida útil. A sua não toxicidade, corrosibilidade, o seu comportamento relativamente ao fogo e o custo, são também factores preponderantes na viabilidade destas soluções. [50]



**Fig. 6.11.** Painel térmico com parafinas.

A empresa Gateway Technologies propõe painéis têxteis (fig. 6.11.) compostos por telas duplas com parafinas no seu interior (linear crystalline alkyl hydrocarbons). [48] Foi desenvolvida para estes painéis uma mistura de três tipos de parafinas: o Hexadecano, o Heptadecano e o Octadecano. A mistura destes três PCMs possui um ponto de fusão de 24° C e um ponto de solidificação de 20° C. A emissão e absorção de calor latente é de aproximadamente 50 cal/g. [48] Dos pré requisitos a que este PCM deveria responder, apenas o que diz respeito ao do comportamento ao fogo se apresenta como problemático, mas poderá ser resolvido pela inclusão de aditivos retardantes do fogo. [51] O painel duplo interior de tipo "sandwich" que alberga o PCM, é na realidade triplo pois é composto por duas telas lisas exteriores e uma tela de ligação interior que "ondula" entre as duas, criando alvéolos capazes de abrigar as Parafinas. Deverá ser suficientemente flexível para permitir as dilatações, que podem atingir cerca de 10 %, devido às variações de densidade, durante as

<sup>19</sup> Que é um valor pequeno mas constante e não se dá apenas nas fases de mudança. [48]

fases de mudança de estado. [48] Pela necessária elasticidade que o painel interior deverá ter, este torna-se necessariamente instável do ponto de vista mecânico, pelo que neste caso é associado a duas chapas metálicas perfuradas em quadrículas e a um revestimento exterior com boa condutibilidade térmica e ignífugo. O preenchimento dos espaços vazios e a solidificação destas camadas exteriores é feita com sílica, melhorando também a resistência ao fogo e aumentando a condutibilidade térmica. [48]

O sistema de painel com PCMs pode ser utilizado de duas formas distintas [48]:

- Efeito indirecto de ar condicionado.
- Efeito directo de ar condicionado

#### EFEITO INDIRECTO DE AR CONDICIONADO.

Este efeito só é possível com exposições solares muito grandes, nomeadamente em fachadas orientadas a Sul e com grandes envidraçados. Em dias quentes de Verão, os ganhos solares são muito grandes e devem-se às janelas mais expostas. Para proteger os espaços interiores do sobreaquecimento, os painéis de PCM's devem ser colocados nos planos construtivos que vão sofrer a incidência directa dos raios solares, normalmente a parede oposta à janela e o pavimento. (fig. 6.12.) A energia do sol pode ser, desta forma, directamente absorvida pelo painel. O calor absorvido durante o dia deverá ser removido durante a noite, por exemplo através dum "chiller", de forma a solidificar as Parafinas e a reiniciar o ciclo novamente, o que permite, além da poupança directa, uma poupança indirecta, pelo menos pela inversão do consumo energético para as horas nocturnas (já que um ar-condicionado mecânico normal deveria estar o dia inteiro ligado). Foram feitas estimativas de economia associadas à utilização destes painéis, comparando a sua capacidade de armazenamento térmico, com a de uma placa de betão armado com uma densidade de  $2200 \text{ Kg} / \text{m}^3$ , podendo-se concluir que esta teria de ter uma espessura de cerca de 1 m para se obter para uma sala de  $20 \text{ m}^2$  ( $35 \text{ m}^2$  de área preenchida com a placa no pavimento e parede oposta) a mesma capacidade de absorção térmica. [48] A sala considerada para o estudo tinha, além da área referida, uma altura de 3 m e uma janela com  $6 \text{ m}^2$ . Nos meses de Verão foi considerada uma radiação solar incidente de aproximadamente  $3 \text{ KW h} / \text{m}^2$ , já descontando alguma absorção e reflexão do vidro e caixilharia e ignorando a energia transmitida pelas paredes ou cobertura. Sendo assim, para a área de vidro considerada, foi obtido o valor de  $18 \text{ KW} / \text{h}$  (ou seja  $15.000 \text{ Kcal}$ ) [48]. O composto de parafinas utilizadas tem uma capacidade de absorção de  $50 \text{ cal/g}$ , o que implica uma massa total de 300 Kg para se poder obter a absorção de toda a energia solar incidente. Em termos de painel, calculou-se o preenchimento correspondente a toda a parede oposta à janela e do pavimento (num total de  $35 \text{ m}^2$ ) para uma espessura de painel de 25 mm – 10 mm de composto de PCM's com uma densidade de  $800 \text{ Kg} / \text{m}^3$  e o restante para as telas de revestimento do painel. [48]

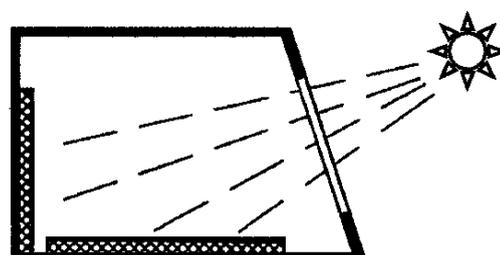
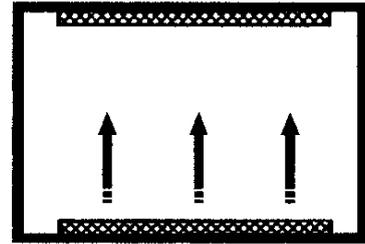


Fig. 6.12. Efeito indirecto [48]

## EFEITO DIRECTO DE AR CONDICIONADO.

Este efeito está normalmente associado a soluções destinadas a locais de fraca exposição solar, ou mesmo nula, como em salas interiores sem janelas. Neste caso, os painéis são colocados no pavimento e no tecto, (fig. 6.13.) com o objectivo de se obterem os resultados ideais. Para se

conseguir o aquecimento das salas sem exposição solar, os painéis de chão são previamente aquecidos (ficando os PCMs em estado líquido) e os do tecto são arrefecidos (ficando os PCMs em estado sólido). A emissão de calor feita pelo chão e a absorção deste pelo tecto permitem a manutenção duma temperatura ambiente mais confortável e constante, sem a necessidade de uso de convectores e outras soluções menos eficazes. Quando as mudanças de estado se dão completamente, inicia-se um novo ciclo, pelo que deverão ser novamente aquecidos os painéis de chão e arrefecidos os painéis de tecto. Também com este sistema se podem obter vantagens de economia, pela inversão do consumo energético para as horas nocturnas. [48]



**Fig. 6.13.** Efeito directo

Em 1977, o engenheiro David Geiger iniciou a investigação do uso de telas triplas como colectores solares. O sistema que ele criou consistia numa "almofada" pneumática dentro da qual existia uma tela que se podia mover entre as duas telas exteriores. A tela superior e a do meio são ambas compostas de duas faces de características diferentes. A metade exposta a Sul da tela superior é absorvente, a outra metade, exposta a Norte é reflexiva. Na tela do meio a situação inverte-se como se pode ver no esquema da fig. 6.14. Durante o Verão a "almofada" de ar é fechada e a camada de ar entre a tela do meio e a tela de baixo é insuflada de modo a colocar as telas de cima e do meio juntas e obter-se uma superfície totalmente reflexiva que reduz a incidência solar. A caixa de ar que fica entre as duas superfícies da almofada é também responsável por uma boa capacidade de isolamento. Durante o Inverno a almofada que acumulou o ar quente do Verão é progressivamente "esvaziada" pela pressão da tela do meio causando o aquecimento do recinto interior. Para o Florida Junior College em Jacksonville foi previsto um sistema solar deste tipo para desumidificar o ar interior. Neste projecto, o ar aquecido pelas almofadas é passado por gel de sílica, onde ele perde humidade e, ao ser misturado com o ar do interior, obtém-se o grau de humidade pretendido. O gel de sílica é seco por ar quente adicional vindo das almofadas e é evacuado para o exterior. Infelizmente, tais ideias de utilizar almofadas solares como sistemas de aquecimento ou arrefecimento nunca chegaram a ser totalmente testados ou implementados. [3]

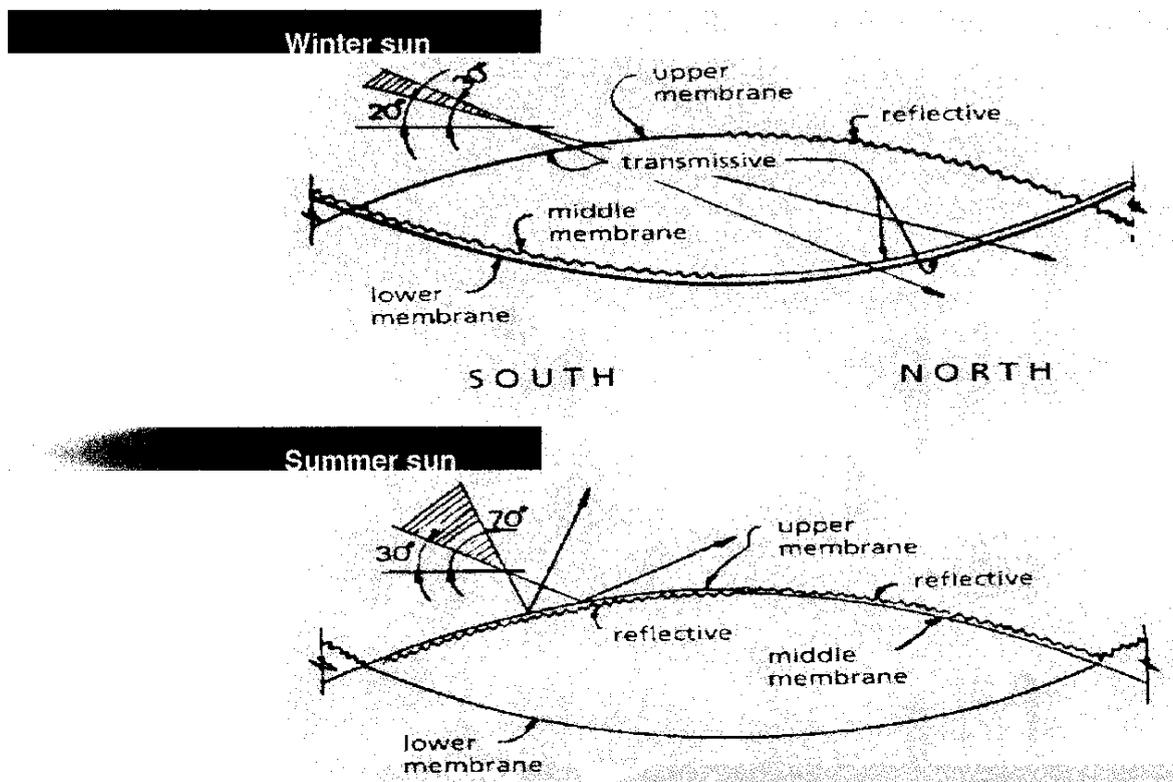


Fig. 6.14. Sistema pneumático de David Geiger [3]

Bodo Rash propôs um sistema solar activo "inteligente" que teve várias aplicações práticas e se baseava já num projecto que este realizou em colaboração com Frei Otto para uma Exposição Federal de Jardim em Colónia, já referido anteriormente (fig. 3.5.). Na Arábia Saudita, para a Sagrada Mesquita do Profeta em Medina, projectou umas estruturas de sombrear, tipo guarda-sóis em grande escala. Em dois pátios abertos com 55x37 metros cada, acrescentados ao templo, tornava-se necessário criar algum tipo de controle ambiental (que permitisse o arrefecimento dos pátios durante os períodos quentes do dia e fosse, ao mesmo tempo, adaptado para os períodos menos quentes) e que ficasse esteticamente integrado naquele local. A resposta de Bodo Rasch a todas estas condicionantes foi um grupo de seis "guarda-sóis" para cada pátio, totalizando doze unidades, activados por um sistema automatizado de controle da abertura e fecho, consoante as condições climáticas o determinassem. Tal como num guarda-sol, existe um mastro central que, neste caso, é uma coluna de aço revestida a mármore, latão polido e imitação de pedra. Cada coluna serve também para fazer a injeção de ar frio proveniente do sistema de ar condicionado do edifício, através de quatro bocas de saída e por cima destas localizam-se quatro candeeiros para iluminação nocturna. O espaço central de cada pátio é quase totalmente amplo, com excepção das colunas de suporte referidas (fig. 6.15.) Quando o sombreamento se revela necessário, todas as estruturas em tela translúcida se abrem coordenadamente, (fig. 6.17.) através de sistemas mecânicos hidráulicos, até que os pátios se encontrem totalmente cobertos, (fig. 6.16.) com excepção dumas frestas de cerca de 30 cm entre cada uma das telas. (fig. 6.18.) [10]

Cada unidade abre-se até uma máxima extensão de 16.7x17.7 metros, perfazendo uma área de 296 m<sup>2</sup> com um diâmetro máximo de 24 metros, com a ajuda dum estrutura em aço ultra-resistente. O sistema de abertura assemelha-se ao dum guarda-chuva vulgar, só que invertido, como se o colocássemos ao contrário e o abrísssemos puxando para baixo, colocando a tela em tensão. A tela é de PTFE expandido (da marca Tenara) fabricado nos Estados Unidos pela Goretex. Em cada guarda-sol é gasto um total de 293 m<sup>2</sup> de tela dividida em 40 painéis. [10]

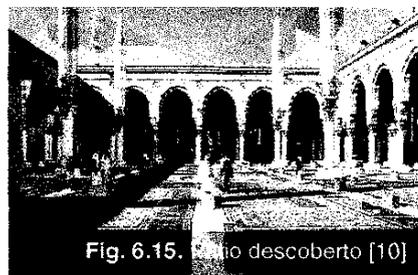


Fig. 6.15. Pátio descoberto [10]

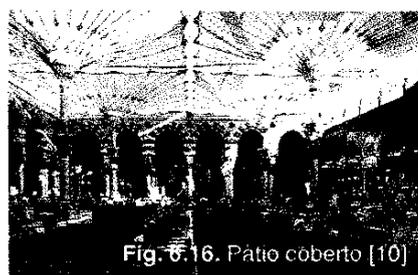


Fig. 6.16. Pátio coberto [10]



Fig. 6.17. Guarda-sóis em abertura [10]

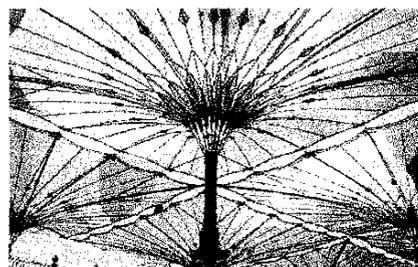


Fig. 6.18. Pormenor [10]

Um dos grandes problemas das coberturas têxteis, em países com grandes amplitudes térmicas anuais e diárias, que oscilam acima e abaixo das temperaturas estipuladas de conforto interior, prende-se com o seu comportamento excessivamente neutro. Isto sucede, não só devido à sua fraca resistência térmica, mas também pelo facto de ser difícil obter, com o mesmo material, características alternadas de transmissão e reflexão, adequadas às estações climáticas opostas, o que torna estas estruturas normalmente desconfortáveis nas duas estações do ano ou, quando adequadas à estação fria, desadequadas à estação quente, e vice-versa. [52] Esta questão tem a ver com o difícil compromisso entre os ganhos solares e a inércia térmica. Na construção normal, pelo menos em Portugal, as soluções mais utilizadas para superar esta dicotomia, são os estores exteriores em PVC e as cortinas interiores de tecido, mas numa cobertura têxtil, não existem em princípio zonas abertas e zonas fechadas, daí que toda a sua superfície seja uma "janela", onde o controle dos ganhos solares se torna mais difícil com soluções pontuais de recurso. O mesmo problema sucede nos grandes envidraçados, especialmente aqueles que servem de cobertura a átrios de grande dimensão, onde a colocação ou a manutenção de sistemas de controle de ganhos solares do tipo passivo é onerosa e complicada.

"Os factores que influenciam os ganhos térmicos solares através das paredes envolventes exteriores são: a área destas, o material em que são realizadas, a sua espessura, a orientação solar, as sombras provocadas pelos elementos exteriores (que podem ser naturais como as árvores, ou outras construções), a temperatura e humidade relativa ambientes e a cor. Normalmente, este último factor é apenas ponderado em termos estáticos, ou seja, toma-se como um dado adquirido que a reflectância de um determinado material é a mesma e que por isso o valor da sua transmissibilidade é fixo, mas depende da sua cor". [41] A cor tem uma influência significativa nos ganhos térmicos por transmissão, mas também a posição relativa face às caixilharias em soluções tradicionais pode ser significativa, pelas perdas térmicas por convecção que normalmente se dão com a circulação de ar exterior, tal como a tabela 6.2. mostra:

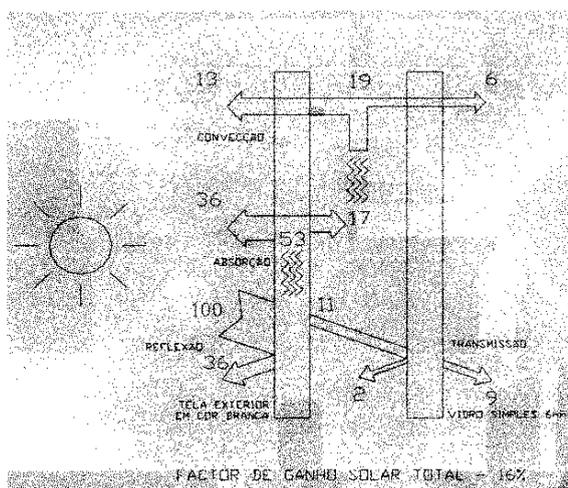
TABELA 6.2. INFLUÊNCIA DA COR E POSIÇÃO DOS ESTORES TÊXTEIS EM FACHADAS TIPO MURO CORTINA

|                            | Factor de ganho solar <sup>20</sup> (vidro simples) | Factor de ganho solar (vidro duplo) |
|----------------------------|---|-------------------------------------|
| Sem estore                 | 0,76  | 0,64                                |
| Com estore interior escuro | 0,62  | 0,56                                |
| Com estore interior branco | 0,41  | 0,40                                |
| Com estore exterior escuro | 0,22  | 0,17                                |
| Com estore exterior branco | 0,14  | 0,11                                |

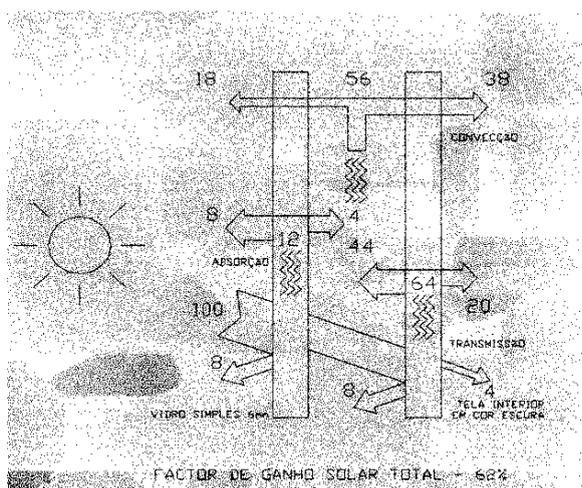
Segundo [44]

<sup>20</sup> O factor de ganho solar é a fracção de energia solar incidente em %. [44]

Os sistemas de protecção solar têxteis podem ser fixos ou móveis e podem ser posicionados tanto no interior como no exterior das janelas ou mesmo entre os vidros duplos ou as caixilharias duplas. A colocação de protecções de cor branca no exterior (fig. 6.19.) é especialmente eficaz no Verão pois, além de impedirem a radiação directa de atingir o vidro, a ventilação conseguida no exterior permite a dissipação do calor absorvido pelo tecido e reflectido pelo vidro, como já foi referido. Se protecções do mesmo tipo forem colocadas no interior, dá-se a formação dum mini efeito de estufa, obtendo-se um factor de ganho solar cerca de 30 % maior, o que no Inverno será mais favorável, especialmente com a utilização de um estore interior com boa capacidade de absorção e de cor escura. (fig. 6.20) A solução ideal seria a de podermos contar com as duas situações, mas ambas com uma transparência que permita a passagem da iluminação natural. No caso dos estores, uma solução comum é a utilização de tela de Fibra de Vidro com tecitura aberta, revestida em PVC e de cor branca para o exterior. O estore interior não necessita de tanta resistência, podendo ser um tecido de tecitura aberta sem revestimento de protecção, mas em cor escura e com bastante capacidade de absorção. [52]



**Fig. 6.19.** Estore exterior de cor branca.

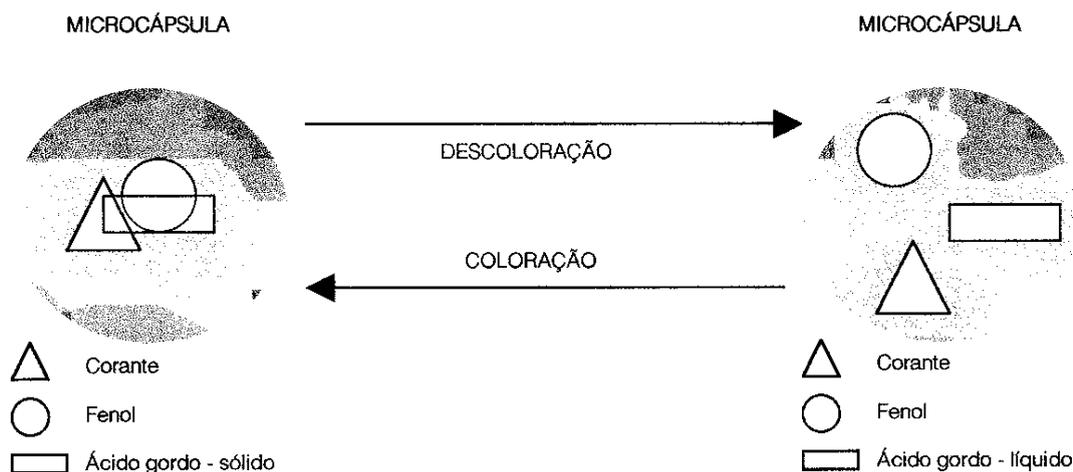


**Fig. 6.20.** Estore interior de cor escura.

A utilização de telas têxteis em construção pressupõe sempre a utilização de telas com uma cor determinada. A maior predominância recai sobre a utilização de telas brancas, que se revelam particularmente eficazes em climas quentes, mas apresentam um fraco comportamento em climas frios ou durante o Inverno quando se tornam necessários maiores ganhos solares. A utilização de telas de cor escura revela-se uma solução eficaz em climas frios e durante o Inverno, mas tornam-se desadequadas em climas onde as duas estações têm climas opostos, isto é, representam para o Verão, uma temperatura ambiente bastante superior à temperatura de conforto pretendida. A possibilidade de variação das capacidades de reflectância duma tela, que mude de cor escura para cor clara, é o objectivo que se pretendeu atingir, ao propor a utilização de pigmentos cromotrópicos em telas para coberturas. Para avaliar o efeito dessa variação, em termos de comportamento térmico, no clima específico da zona climática que nos diz respeito, o clima temperado marítimo, realizámos ensaios de medição de fluxo térmico solar, com esta tela.

A variedade e quantidade de materiais têxteis técnicos disponíveis no mercado tem aumentado significativamente nos últimos anos, tendo sido palco de sucessivos desenvolvimentos e inovações, sendo os pigmentos cromotrópicos um bom exemplo disso. Trata-se de pigmentos que, conforme o seu nome indica, mudam de cor em função da temperatura o que, além dos efeitos visuais que é possível obter, podem servir por exemplo como elementos de segurança para alertar o utilizador das radiações a que se encontra exposto ou na medicina para detectar a presença de tumores [53].

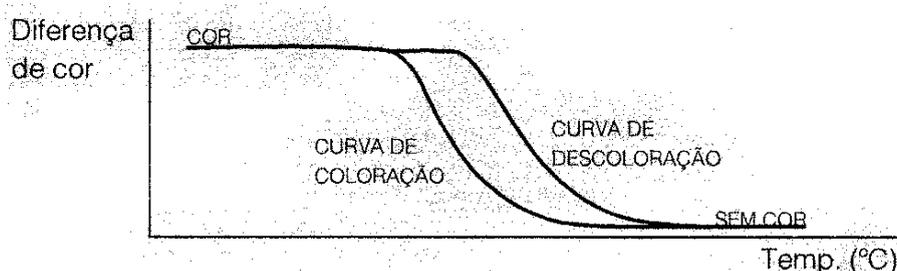
Os pigmentos cromotrópicos apresentam-se sob a forma de microcápsulas esféricas de cristais líquidos, sensíveis ao calor, suspensos num banho aquoso de ligante (resina). O seu diâmetro oscila entre os 3 e os 30  $\mu$ . Há quatro tipos de estrutura intermediária (mesofase) entre o estado cristalino e o estado líquido amorfo isotrópico, que caracterizam estes cristais líquidos: nemática, esmética, colestérica e discótica. [53] Destas estruturas, aquela que mais interesse tem sob o ponto de vista têxtil é a do tipo nemático, caracterizada pelo facto das moléculas não formarem verdadeiras camadas estratificadas paralelas umas às outras (estrutura esmética), mas apenas possuírem uma orientação paralela estatística, o que explica o seu dicroísmo<sup>21</sup>. Na composição dos pigmentos cromotrópicos entram três componentes: um composto orgânico colorido, dador de electrões (que dá origem à cor do pigmento à temperatura ambiente), os fenóis (usados como receptores de electrões) e os ácidos gordos (causadores da alteração da cor com a temperatura). [53] O processo é representado na figura 6.21:



**Fig. 6.21.** Processo de coloração / descoloração [53]

<sup>21</sup> Diferentes absorvâncias da luz polarizada nessa direcção e na sua perpendicular.

Embora não seja clara a razão por que esta composição é termocromática, admite-se que a causa da mudança de cor seja consequência de um equilíbrio térmico do movimento dos electrões e que a cor reflectida pelos cristais líquidos seja resultante do arranjo das moléculas. [53] A espessura de 1  $\mu$  da parede das microcápsulas revela-se normalmente suficiente para proteger os cristais líquidos dos compostos de elevado peso molecular, o que poderia alterar e eventualmente destruir a sua sensibilidade cromotrópica. Será também importante referenciar a diferença verificada entre o processo de descoloração e coloração (fig. 6.22.) no que diz respeito à temperatura de mudança de cor (fenómeno de histerese).[53]



**Fig. 6.22.** Curvas de coloração / descoloração [53]

Existem no mercado dois tipos de pigmentos cromotrópicos [54]:

- Microcápsulas de pigmento termossensível aplicado sobre uma base preta e que, com a elevação da temperatura, permitem varrer todas as cores do espectro (Patente BDH-Merck)<sup>22</sup>;
- Microcápsulas de pigmentos de diversas cores, incluindo o preto, que passam a sem cor ou à cor com que previamente se tinha tingido o substracto têxtil (Patente Matsui)<sup>23</sup>.

No nosso caso, a ideia será aproveitar as propriedades dos pigmentos cromotrópicos para economizar energia em construções. Já existem no mercado soluções aparentemente semelhantes, como é o caso dos vidros fotossensíveis que mudam a cor, tornando-se mais escuros em função da intensidade luminosa que incide sobre eles. [41] A vantagem dos pigmentos cromotrópicos relativamente a estas soluções, reside especialmente no facto de serem mais adequados às variações climáticas, tendo a alteração das suas características mais relação com a temperatura interior / exterior do que com a intensidade luminosa. A associação de uma solução fotossensível às telas arquitectónicas, que já têm um certo factor de "filtragem" dos raios solares, seria um pouco redundante, já que o comportamento duma solução destas seria praticamente indiferente em relação aos ganhos solares nas estações

<sup>22</sup> Merck Industrial Chemicals; BDM patent; Licritherm, Thermochromic Printing Ink, Textile Ink System.

<sup>23</sup> Matsui Shikiso Chemical Co. European Patent – Specification nº 85100 488.9. 1989.

frias e quentes, isto é, desperdiçando-se alguns ganhos solares que possam existir em dias de Inverno. A nossa ideia é criar uma tela que possa ter um comportamento diferente no Inverno e no Verão, em relação à capacidade de reflexão das radiações solares. As propriedades inversas de reflexividade das cores branca e preta, e em regra geral das cores claras e escuras, são vulgarmente conhecidas. A aplicação de pigmentos cromotrópicos negros sobre telas arquitectónicas de construção e protecção, permitirá a absorção de radiações durante o Inverno, enquanto que o seu desaparecimento durante o Verão levará à reflexão dessas radiações, se a tela for previamente estampada com iluminantes brancos. [52] A utilização de pigmentos de Patente Matsui, é aquela que se adequa melhor à nossa proposta, pelo que foi a escolhida para os ensaios do protótipo utilizado. Foram seguidas as recomendações do fabricante do pigmento e a receita base que este preconiza, que é a seguinte (tabela 6.3.) [53];

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| Ligante                          | 920 - 470  |
| Pigmento cromotrópico            | 50 - 500   |
| Agente fixante (opcional)        | 30 - 30    |
| Pigmento convencional (opcional) | x - x      |
|                                  | 1000 -1000 |

**Tabela. 6.3.** Receita base [53]

Para se poder avaliar qual o comportamento térmico face à exposição solar, da lona com e sem pigmento cromotrópico foram produzidas amostras da mesma lona, branqueada, tendo-se feito medições do fluxo radiante que passa através do mesmo tecido estampado com um corante preto normal (semelhante ao cromotrópico em termos de espessante utilizado), do tecido branqueado sem estamparia e do tecido estampado com o pigmento cromotrópico preto de patente Matsui. Os objectivos essenciais foram determinar o efeito de autocontrole sobre o fluxo radiante do sol, avaliando a quantidade de fluxo radiante que passa através do tecido cromotrópico.

Utilizando o espectrofotómetro de área visível (de 400 a 700 nm), existente no laboratório Têxtil da Universidade do Minho (Spectro Sensor 2) foram realizadas medições comparadas da reflectância do tecido branco e do tecido com pigmento cromotrópico preto, neste caso no estado de cor preta, sem modificação de cor (a temperatura na zona da lente do espectrofotómetro não era elevada de forma a causar a mudança, pelo menos no espaço de tempo em que decorreu a medição). Foram também realizadas medições ao tecido estampado com pigmento preto não cromotrópico e os valores médios obtidos foram bastante semelhantes como se pode observar na tabela 6.4.

TABELA 6.4. MEDIÇÕES COM ESPECTROFOTÓMETRO DA REFLECTÂNCIA NA ÁREA DE ESPECTRO VISÍVEL

| Comprimento de onda em nm | Tecido branco | Tecido preto cromotrópico | Tecido preto não cromotrópico |
|---------------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|
| 400                       | 61,55         | 5,03                      | 7,40                          |
| 420                       | 70,44         | 4,45                      | 6,63                          |
| 440                       | 73,12         | 4,13                      | 5,86                          |
| 460                       | 75,25         | 4,01                      | 5,67                          |
| 480                       | 76,89         | 4,18                      | 5,96                          |
| 500                       | 78,28         | 4,56                      | 6,77                          |
| 520                       | 79,34         | 4,38                      | 6,46                          |
| 540                       | 80,22         | 3,99                      | 5,68                          |
| 560                       | 80,91         | 3,75                      | 5,16                          |
| 580                       | 81,51         | 3,65                      | 4,91                          |
| 600                       | 81,90         | 3,69                      | 4,97                          |
| 620                       | 82,29         | 4,04                      | 5,56                          |
| 640                       | 82,63         | 5,16                      | 7,21                          |
| 660                       | 82,92         | 8,20                      | 10,60                         |
| 680                       | 83,15         | 16,01                     | 17,56                         |
| 700                       | 83,36         | 32,82                     | 31,34                         |

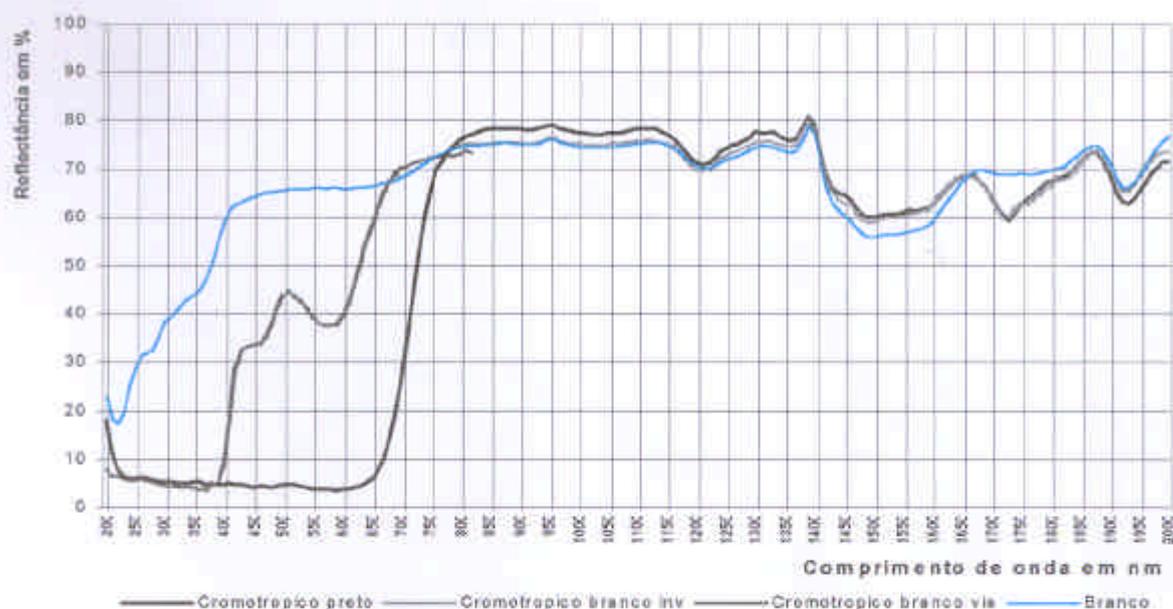


Fig. 6.23. Gráfico de % de reflectância em função do comprimento de onda (nm)

Podemos concluir pelas medições efectuadas, que a reflectância média registada com o tecido preto cromotrópico foi ligeiramente superior à reflectância média registada com o tecido preto estampado com um pigmento preto normal de características aparentes semelhantes. Como este espectrofotómetro não nos permitia calcular a reflectância na área de espectro invisível (com comprimentos de onda superiores aos 700 nm aqui medidos), optámos por realizar medições noutra espectrofotómetro. Foi-nos dada a oportunidade de realizar estas medições no laboratório de física óptica do Departamento de Física da Universidade do Minho com um espectrofotómetro Shimadzu UV – 3101 PC. Foram realizadas medições da percentagem de reflectância para comprimentos de onda de 200 a 2000 nm em amostras de lona branqueada e estampada com pigmento cromotrópico preto, com pigmento cromotrópico aquecido até se manter branco (o tempo suficiente para a realização da medição) e com o tecido sem estar estampado (só como termo de comparação). Concluimos que a medição do tecido aquecido não se conseguia fazer na sua totalidade, com o pigmento cromotrópico a manter-se branco até ao final, optámos por realizar a medição em duas etapas (de 200 a 800 – fase 1 assinalada no gráfico por pigmento cromotrópico inv e de 800 a 2000nm – fase 2 assinalada no gráfico por pigmento cromotrópico vis). Aquecendo o tecido e a câmara de ensaio previamente a cada medição e verificámos que este ainda estava branco no final de cada etapa. Pela observação do gráfico da fig. 6.23., representando os valores de reflectância versus comprimento de onda para os vários casos referidos, observamos que as fases 1 e 2 de medição conseguiram uma continuidade bastante rigorosa. Podemos verificar no mesmo gráfico, que os valores obtidos para o tecido completamente branco são relativamente superiores (nos comprimentos de onda visíveis) aos do tecido estampado com pigmento cromotrópico, mas para comprimentos de onda de 650 a 800 nm até se consegue registar uma % de reflectância maior.

O resultado das medições é apresentado na tabela 6.5. Para efeitos de cálculo de emissividade solar, foi considerada a reflectância obtida com um comprimento de onda de 550 nm [55], referentes à luz verde visível pois, segundo a lei de Wien [56], que caracteriza a distribuição da energia radiante ou fluxo térmico radiante em função do comprimento de onda  $\lambda$  e da temperatura T, pode-se considerar que a transmissão de energia solar se encontra no seu ponto máximo para este comprimento de onda.

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2900 \text{ [nm, K]} \quad (1)$$

TABELA 6.5. MEDIÇÕES COM ESPECTROFOTÓMETRO DA REFLECTÂNCIA EM ESPECTRO VISÍVEL E INVISÍVEL.

| Comprimento de onda em nm | Tecido com pigmento Cromotrópico preto | Tecido com pigmento Cromotrópico branco (1°) | Tecido com pigmento Cromotrópico branco (2°) | Tecido Branco |
|---------------------------|--|--|--|---------------|
| 2000                      | 71,56                                  | 73,61  |  | 76,67         |
| 1950                      | 65,28                                  | 68,37  |  | 68,66         |
| 1900                      | 68,61                                  | 69,66  |  | 70,93         |
| 1850                      | 71,36                                  | 71,11  |  | 73,38         |
| 1800                      | 67,48                                  | 66,6   |  | 70,01         |
| 1750                      | 62,71                                  | 62,39  |  | 69,11         |
| 1700                      | 63,83                                  | 63,37  |  | 69,19         |
| 1650                      | 68,39                                  | 68,29  |  | 67,32         |
| 1600                      | 62,8                                   | 62,5   |  | 59,42         |
| 1550                      | 60,78                                  | 60,19  |  | 56,75         |
| 1500                      | 59,89                                  | 58,97  |  | 55,85         |
| 1450                      | 64,6                                   | 63   |  | 60,15         |
| 1400                      | 79,34                                  | 78,3   |  | 77,42         |
| 1350                      | 76,2                                   | 74,73  |  | 73,49         |
| 1300                      | 77,7                                   | 75,51  |  | 74,53         |
| 1250                      | 74,25                                  | 72,69  |  | 71,91         |
| 1200                      | 71,39                                  | 69,86  |  | 70,73         |
| 1150                      | 77,14                                  | 75,1   |  | 74,91         |
| 1100                      | 78,4                                   | 75,76  |  | 75,3          |
| 1050                      | 77,19                                  | 74,92  |  | 74,5          |
| 1000                      | 77,46                                  | 75,5   |  | 74,67         |
| 950                       | 78,96                                  | 76,37  |  | 76,1          |
| 900                       | 78,14                                  | 75,34  |  | 75,2          |
| 850                       | 78,18                                  | 75,31  |  | 75,17         |
| 800                       | 76,12                                  | 74,99  | 72,92  | 74,51         |
| 750                       | 64,94                                  |  | 72,4   | 72            |
| 700                       | 26,66                                  |  | 69,92  | 68,28         |
| 650                       | 5,99                                   |  | 58,42  | 66,35         |
| 600                       | 3,62                                   |  | 39,21  | 65,92         |
| <b>550</b>                | <b>3,84</b>                            |  | <b>39,26</b>                                 | 66,09         |
| 500                       | 4,61                                   |  | 43,84  | 65,66         |
| 450                       | 4,12                                   |  | 33,47  | 64,41         |
| 400                       | 4,77                                   |  | 8,35   | 58,89         |
| 350                       | 5,22                                   |  | 3,91   | 44,25         |
| 300                       | 5,26                                   |  | 4,73   | 38,2          |
| 250                       | 5,9                                    |  | 5,57   | 29,12         |
| 200                       | 18,1                                   |  | 7,43   | 22,89         |

A emissividade para o tecido estampado com pigmento cromotrópico preto e branco (depois de aquecido), foi calculada como o complemento da reflectância, ou seja:

$$\epsilon = 1 - R \quad (6.4)$$

Sendo assim, para o tecido estudado com o pigmento cromotrópico, quando no estado preto (caso 1) e com pigmento cromotrópico no estado branco (caso 2), podem-se calcular os seguintes valores para a emissividade total, simplificando o problema e considerando como representativos, pelas razões anteriormente referidas, os valores de 3,84% e 39,26% respectivamente.

$$\epsilon_1 = 1 - 0,0384 \rightarrow \epsilon_{1 \text{ (preto)}} = 0,96 \quad (6.5)$$

$$\epsilon_2 = 1 - 0,3926 \rightarrow \epsilon_{2 \text{ (branco)}} = 0,61 \quad (6.6)$$

O nosso objectivo foi calcular o equilíbrio térmico estacionário para o fluxo radiante solar  $q_{ent}$  para os dois casos da lona com o pigmento cromotrópico, no estado sem mudança (preto) e com o pigmento cromotrópico, após a mudança (branco) utilizando a seguinte equação de balanço térmico.

$$\text{Caso I (com pigmento cromotrópico preto)} \rightarrow \begin{cases} q_{entI} \cdot \epsilon_1 - \alpha_1 \cdot (t_{s1} - t_0) = q_1 \\ \frac{t_{s1} - t_{b1}}{R_t} = q_1 \end{cases} \quad (6.7)$$

$$\text{Caso II (após mudança para branco)} \rightarrow \begin{cases} q_{entII} \cdot \epsilon_2 - \alpha_2 \cdot (t_{s2} - t_0) = q_2 \\ \frac{t_{s2} - t_{b2}}{R_t} = q_2 \end{cases} \quad (6.8)$$

Significado dos símbolos;

- $q_1$  e  $q_2$  → Fluxos térmicos medidos por sensor embutido especial [ $w/m^2$ ].
- $\alpha$  → Coeficiente de transmissão do calor por convecção livre [ $w/m^2 \text{ } ^\circ C$ ].
- $R_t$  → Resistência térmica do tecido [ $m^2 \text{ } ^\circ C/w$ ].
- $t_0$  → Temperatura ambiente exterior[  $^\circ C$  ].
- $t_s$  → Temperatura superficial do tecido[  $^\circ C$  ].

Começámos pela segunda parte das equações, a partir das quais pretendemos calcular os fluxos térmicos  $q_1$  e  $q_2$ . Calculámos para isso a resistência térmica, partindo do gráfico da fig. 6.25., obtido com o aparelho PERMETEST modificado. [57] (fig. 6.24.) A sensibilidade ajustada no aparelho registador, ligado a este, foi de 1,5 mV. Dividimos, então, a dimensão parcial dos valores registados no gráfico, pela dimensão total (neste caso a largura do papel de registo) nos dois casos, do pigmento preto e branco, após o aquecimento.



Fig. 6.24. Aparelho PERMETEST modificado.

$$\text{Caso I} \rightarrow \frac{6,5 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} \cdot 1,5 \text{ mV} = 0,39 \text{ mV} \quad (6.9)$$

$$\text{Caso II} \rightarrow \frac{6,0 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} \cdot 1,5 \text{ mV} = 0,36 \text{ mV} \quad (6.10)$$

Como a sensibilidade deste aparelho é de  $910 \text{ W/m}^2 \cdot \text{mV}$ , bastou então multiplicá-lo pelos valores nos casos 1 e 2 para obter o valor dos fluxos térmicos com o tecido preto  $q_1$  e com o tecido branco, após mudança  $q_2$ .

$$\text{Caso I (Tecido preto)} \rightarrow 0,39 \text{ mV} \cdot 910 \text{ W/m}^2 \cdot \text{mV} = 354,9 \text{ W/m}^2 \quad (6.11)$$

$$\text{Caso II (Tecido branco)} \rightarrow 0,36 \text{ mV} \cdot 910 \text{ W/m}^2 \cdot \text{mV} = 327,6 \text{ W/m}^2 \quad (6.12)$$

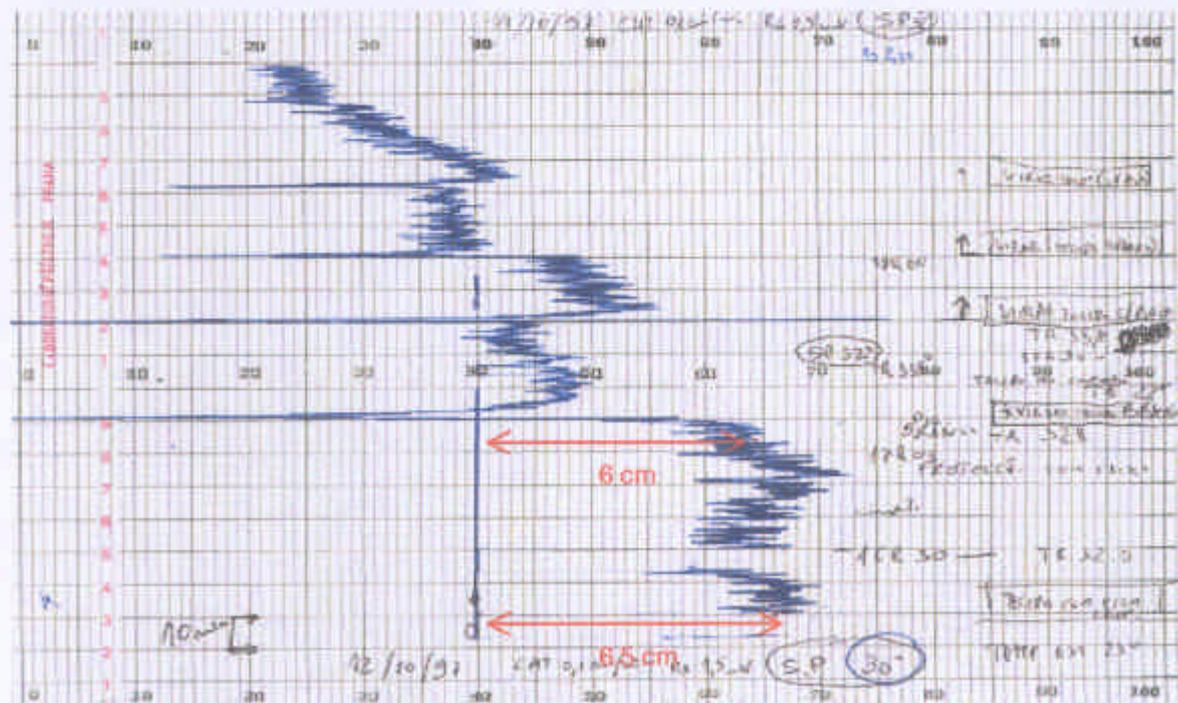


Fig. 6.25. Gráfico de medições efectuada com o aparelho PERMETEST modificado.

Sabendo os fluxos, conseguimos determinar o gradiente da temperatura  $\Delta t$ , dentro do tecido, considerando a passagem do fluxo térmico estacionário  $q$  através do tecido. Na teoria de condução do calor através duma parede caracterizada pela resistência térmica  $R$  [ $m^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ ], o fluxo  $q$  calcula-se pela equação [58]

$$q = \frac{\Delta t}{R} \quad ; \text{ donde} \quad (6.13)$$

$$\Delta t = q \cdot R \quad (6.14)$$

A resistência térmica da parede (no nosso caso do tecido), foi determinada mediante o aparelho ALAMBETA [57]. "O aparelho ALAMBETA, desenvolvido na Technical College of Mechanical and Textile Engineering in Liberec, utiliza um novo princípio de medição das propriedades termofísicas de artigos têxteis e materiais metálicos.(...) Os métodos de medição conhecidos até hoje são muito demorados (mais de duas horas), ou de preparação complicada usando amostras de tamanhos grandes.(...) Este aparelho elimina as desvantagens mencionadas anteriormente, faz com que o processo de medição seja mais produtivo e cria condições para aplicação dos valores medidos na prática.(...) A principal função do aparelho consiste num processo matemático em que analisa o tempo de funcionamento do fluxo de calor que passa através do material testado, para diferentes temperaturas, a temperatura mais baixa do corpo (temperatura ambiente) e a da cabeça do aparelho (10  $^\circ\text{C}$  mais alta do que a temperatura ambiente, respectivamente 40  $^\circ\text{C}$ )" [57].

O processo de medição feito para a obtenção da resistência térmica  $R$ , foi o procedimento normal: "Depois de inserir a amostra, a cabeça desce e o fluxo de calor estabiliza, e as propriedades termofísicas da medição vão evoluindo,(...) o calor transferido para o tecido é transformado directamente pelo sensor e levado para o computador. A espessura da amostra  $h$ , é automaticamente medida segundo pressão constante, que pode ser ajustada automaticamente entre 100 Pa e 1000 Pa. A área de medição é 100  $\text{cm}^2$ " [57]. Depois de, através do sensor, o aparelho avaliar a condutibilidade térmica média  $\lambda$ , este calcula e mostra directamente o valor da resistência,

$$R = \frac{h}{\lambda} \quad [\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}] \quad (6.15)$$

Podem ser também avaliadas outras propriedades com o aparelho ALAMBETA, tais como: a condutibilidade térmica, a espessura da amostra e da resistência, a difusidade térmica ou a absorvidade térmica. [57] No caso do tecido analisado (estampado com pigmento cromotrópico), apenas nos interessou o cálculo da resistência, que atingiu um valor:

$$R = 8,4 \cdot 10^{-3} \quad [\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}] \quad (6.16)$$

$$\Delta t_1 = q_1 \cdot R = 354,9 \cdot \frac{8,4}{1000} ; \Delta t_1 = 2,98 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6.17)$$

$$\Delta t_2 = q_2 \cdot R = 327,6 \cdot \frac{8,4}{1000} ; \Delta t_2 = 2,75 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6.18)$$

Pela análise do gráfico de medições realizadas com o aparelho PERMETEST modificado, (fig. 6.25.) podemos conhecer as temperaturas do bloco ( $t_b$ ) quando se dá a fase de mudança da cor no pigmento cromotrópico. Como se pôde observar, durante os ensaios realizados, a temperatura a que o pigmento cromotrópico mudou de preto para branco, correspondeu a uma temperatura no bloco ( $t_b$ ) de 32,8 °C. Foi também observado que na gama de temperatura de 32 a 32,8 °C o pigmento cromotrópico esteve cinzento e abaixo dos 32 °C não houve nenhuma mudança de cor. Assim sendo:

$$t_{b1} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{b2} = 32,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sabendo a temperatura do bloco e o  $\Delta t$ , podemos calcular as temperaturas superficiais  $t_s$ .

$$E q_I \rightarrow t_{s1} - t_{b1} = 2,98 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6.19)$$

$$E q_{II} \rightarrow t_{s2} - t_{b2} = 2,75 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6.20)$$

$$t_{s1} = 2,98 \text{ }^\circ\text{C} + 32 \text{ }^\circ\text{C} = 34,98 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6.21)$$

$$t_{s2} = 2,75 \text{ }^\circ\text{C} + 32,8 \text{ }^\circ\text{C} = 35,35 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6.22)$$

Seguidamente determinámos as perdas térmicas por convecção, representadas pelas áreas assinaladas na primeira parte das equações principais de balanço térmico.

$$\text{Caso I (com pigmento cromotrópico preto)} \rightarrow q_{entI} \cdot \epsilon_1 - \alpha_1 \cdot (t_{s1} - t_0) = q_1 \quad (6.23)$$

$$\text{Caso II (após mudança para branco)} \rightarrow q_{entII} \cdot \epsilon_2 - \alpha_2 \cdot (t_{s2} - t_0) = q_2 \quad (6.24)$$

Como já sabemos os valores para  $t_s$  e  $t_0$ , para determinarmos as perdas térmicas por convecção, temos apenas de calcular o coeficiente de transferência de calor por convecção livre  $\alpha$  [ $\text{W} / \text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ], para o que se utilizou a seguinte equação:

$$\alpha = \frac{\lambda}{d} \cdot 0,54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25} \quad (6.25)$$

Com,

$G_r$  → Número Grasshof.

$Pr$  → Número Prandtle.

0,54 → Constante experimental.

$\lambda$  → Condutibilidade térmica do ar.

$d$  → Dimensão do ALFAMETRE (diâmetro na vertical do condutor que transfere o calor do tecido para o sensor).

O número Grasshof ( $G_r$ ), é um parâmetro adimensional que caracteriza a convecção livre e obtém-se da seguinte forma:

$$G_r = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot (d)^3}{\nu_{ar}} \quad (6.26)$$

Com,

$g$  → Aceleração de gravidade terrestre. [ $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ].

$\Delta t$  → Gradiente das temperaturas [°C].

$\beta$  → Coeficiente de dilatação térmica dos gases [56].

$d$  → Dimensão do ALFAMETRE (diâmetro na vertical do objecto que transfere o calor)[45].

$\nu_{ar}$  → Viscosidade cinemática do ar [ $\text{m}^2/\text{s}$ ].

Os valores destes parâmetros foram encontrados em [56] e são os seguintes;

$$\beta = 0,0031 [1]$$

$$\nu_{ar} = 17,935 \times 10^{-6} [\text{m}^2/\text{s}]$$

$$Pr = 0,0701 [1]$$

Foram calculados  $\Delta t_1$  e  $\Delta t_2$ . Como já sabíamos a temperatura superficial do tecido  $T_{s1}$  e a temperatura exterior  $T_0$ .

$$\Delta t_1 = T_{s1} - T_0; \Delta t_1 = 34,98 \text{ °C} - 22,00 \text{ °C}; \Delta t_1 = 12,98 \text{ °C} \quad (6.27)$$

$$\Delta t_2 = T_{s2} - T_0; \Delta t_2 = 35,55 \text{ °C} - 22,00 \text{ °C}; \Delta t_2 = 13,55 \text{ °C} \quad (6.28)$$

Calculamos o número Grasshof nos dois casos:

$$G_{r1} = \frac{9,81 \cdot 0,0031 \cdot 12,98 \cdot (0,05)^3}{(17,935 \cdot 10^{-6})^2} \quad (6.29)$$

$$G_{r1} = 153395,5$$

$$G_{r2} = \frac{9,81 \cdot 0,0031 \cdot 13,55 \cdot (0,05)^3}{(17,935 \cdot 10^{-6})^2} \quad (6.30)$$

$$G_{r2} = 160131,7$$

Já temos assim todos os valores necessários para calcular os coeficientes de transferência de calor por convecção livre nos dois casos ( $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ );

$$\alpha_1 = \frac{0,027}{0,05} \cdot 0,54 \cdot (153395,5 \cdot 0,701)^{0,25} \quad (6.31)$$

$$\alpha_1 = 5,28 \text{ [W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C]}$$

$$\alpha_2 = \frac{0,027}{0,05} \cdot 0,54 \cdot (160131,7 \cdot 0,701)^{0,25} \quad (6.32)$$

$$\alpha_2 = 5,34 \text{ [W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C]}$$

Já temos assim todos os elementos necessários ao cálculo dos fluxos pela equação geral do balanço térmico:

$$\text{Caso I (com pigmento cromotrópico preto)} \rightarrow \begin{cases} q_{\text{entI}} \cdot \epsilon_1 - \alpha_1 \cdot (t_{s1} - t_0) = q_1 \\ \frac{t_{s1} - t_{b1}}{R_t} = q_1 \end{cases} \quad (6.33)$$

$$\text{Caso II (após mudança para branco)} \rightarrow \begin{cases} q_{\text{entII}} \cdot \epsilon_2 - \alpha_2 \cdot (t_{s2} - t_0) = q_2 \\ \frac{t_{s2} - t_{b2}}{R_t} = q_2 \end{cases} \quad (6.34)$$

Com;

$$\epsilon_1 = 0,96$$

$$\alpha_1 = 5,28$$

$$t_{s1} = 34,98 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_0 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$q_1 = 354,9 \text{ W/m}^2$$

$$q_{\text{entI}} \cdot 0,96 - 5,28 \cdot (34,98 - 23) = 354,9 \quad (6.35)$$

$$q_{\text{entI}} = 435,6 \text{ W/m}^2$$

$$\epsilon_2 = 0,61$$

$$\alpha_2 = 5,34$$

$$t_{s2} = 35,55 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_0 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$q_2 = 327,6 \text{ W/m}^2$$

$$q_{\text{entII}} \cdot 0,61 - 5,34 \cdot (35,55 - 23) = 327,6 \quad (6.36)$$

$$q_{\text{entII}} = 646,9 \text{ W/m}^2$$

## Conclusões:

Ao compararmos os ganhos térmicos solares, através do tecido estampado com pigmento preto cromotrópico, verificamos que;

- O fluxo radiante através do tecido preto aumentou de  $435,6 \text{ W/m}^2$  para  $646,9 \text{ W/m}^2$ , devido às diferentes condições de insolação verificadas durante os dias em que foram realizados os testes, o que dá um aumento de 48,5%, para uma temperatura ambiente que se manteve constante nos  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- O fluxo que passou através do tecido, variou de  $354,9 \text{ W/m}^2$ , no caso em que foi registado que o tecido se mantinha preto, para  $327,6 \text{ W/m}^2$ , no momento em que o pigmento cromotrópico passou a branco pelo efeito de autocontrole, o que dá uma diminuição de 7,7%. Pode-se assim concluir que, numa situação de Verão, com uma temperatura no interior da superfície do tecido de  $30^\circ \text{C}$ , o efeito de autocontrole foi bastante positivo, pois o fluxo que passou através do tecido praticamente estabilizou e até diminuiu ligeiramente.

Podemos considerar que o efeito global da utilização do tecido estampado com pigmentos cromotrópicos é positivo, principalmente se tivermos em conta que, durante o Verão, os fluxos solares conseguem ser estabilizados para valores intermédios entre os de uma tela preta e os de uma tela branca. Durante o Inverno e em dias frios, os fluxos de radiação solar que, em ondas de frequência curta, passam através do tecido, são iguais aos de uma tela preta, já que a temperatura ambiente exterior baixa não permite a mudança de cor no pigmento. No interior da cobertura, as ondas de calor que foram absorvidas pelo pavimento e elementos interiores com capacidade de armazenamento térmico, são gradualmente libertadas em forma de ondas de frequência longa, que a tela retém no interior, indiferentemente da cor em que os pigmentos cromotrópicos se encontrem (como observámos nas medições realizadas com o espectrofotómetro), criando efeito de estufa.

Um trabalho já desenvolvido no Departamento Têxtil da Universidade do Minho por Vasco Costa teve essencialmente a ver com as técnicas de aplicação dos pigmentos cromotrópicos, já que os processos convencionais (estamparia por quadro) não se mostram adequados, devido ao elevado preço destes pigmentos. Na análise de custos então realizada, conclui-se que, para uma solução de aplicação mais económica do que a estamparia por quadro, a pulverização, os custos são bastante inferiores se tomarmos como base o m<sup>2</sup> de tecido estampado. (tabela 6.6.) Na estamparia por quadro, além dum gasto muito maior de pigmento, torna-se necessário utilizar quadros para estamparia a 1000 pontos, cujo valor de mercado se situa actualmente nos 30.000\$00 para um quadro de 1,30 x 2,65 metros. O custo final dos quadros por cada metro quadrado de estamparia é assim de 8.708\$00. Como o preço por quilograma do pigmento considerado na referida análise de custos foi de 125.000\$00, o gasto de pigmento por metro quadrado foi de 5.000\$00. [54]

TABELA 6.6. ANÁLISE DE CUSTOS PARA ESTAMPARIA COM PIGMENTOS CROMOTRÓPICOS

|          | ESTAMPARIA POR QUADRO | PULVERIZAÇÃO |
|----------|-----------------------|--------------|
| Pigmento | 5.000\$00             | 617\$50      |
| Quadros  | 8.708\$00             | -            |
| TOTAL    | 13.708\$00            | 617\$50      |

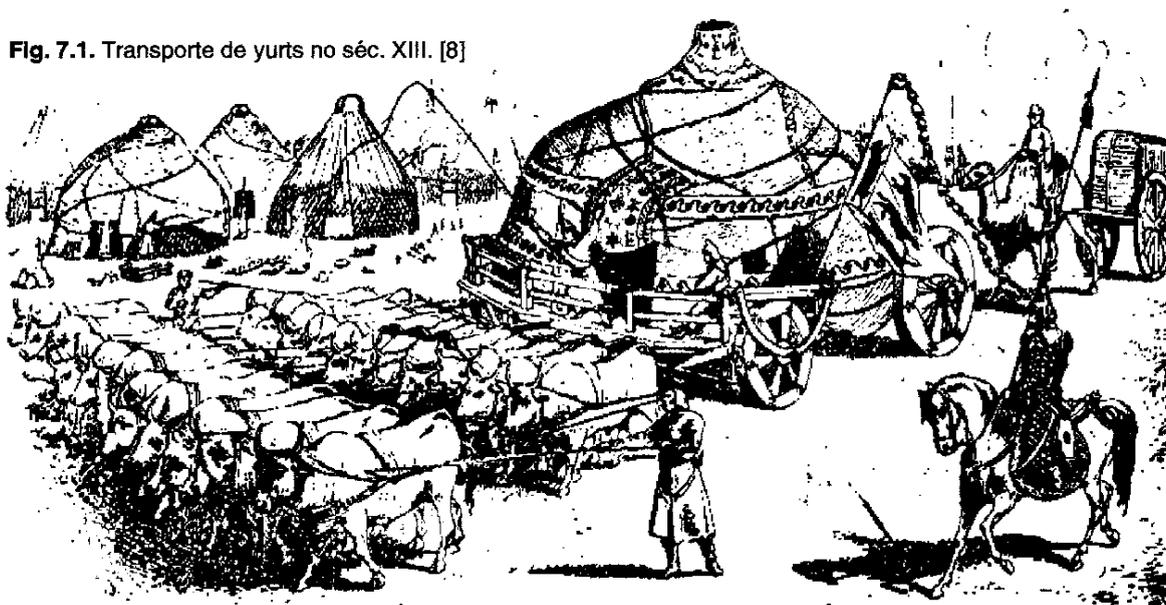
O custo dum tecido estampado por pulverização com pigmento cromotrópico preto é menos de 1/20 do custo do mesmo pigmento estampado por quadro. O tecido que se utilizou para os ensaios térmicos foi uma lona em algodão, de fabrico nacional, sem revestimento de protecção, adequada para pequenas coberturas e toldos. No caso das telas arquitectónicas com maior durabilidade e destinadas a obras de grande dimensão, podemos assim conseguir um acréscimo de custo provávelmente com o mesmo valor de 617\$50, por cada m<sup>2</sup> de tela estampada através da estamparia por pulverização. [54] Se considerarmos apenas o custo do material, o que representa para uma tela de Poliéster / PVC, a mais económica, cujo preço de custo varia entre 15 a 30 contos por m<sup>2</sup>, podemos concluir que o acréscimo é pouco significativo (na ordem dos 2 a 4%). É de considerar o facto de a estamparia do pigmento cromotrópico poder ser integrada no processo de fabrico, antes da aplicação do material de revestimento, normalmente o PVC no caso do Poliéster ou o ETFE no caso da Fibra de Vidro, o que poderia alterar de alguma forma a reflexividade e as propriedades dos pigmentos. Este factor não foi considerado, mas poderia ser minimizado pela utilização de revestimentos mais transparentes, incolores e com pouco brilho.

## **CAPÍTULO VII – PROPOSTA 2 . ARQUITECTURA MÓVEL**

Neste capítulo são referidas algumas potencialidades da aplicação dos têxteis em arquitectura móvel, uma área ligada aos materiais ligeiros e às soluções têxteis, por razões intrínsecas às características ligeiras e propriedades destas. A título de exemplo prático, apresenta-se uma proposta para uma construção itinerante fazendo uso duma cobertura em tela, um pavilhão móvel destinado especificamente a uma biblioteca para países de fracos recursos económicos e de clima tropical.

“Devido à restrição em peso e volume que o homem ou os animais domesticados conseguiam carregar, as construções móveis estavam limitadas a certos materiais, cujas características de leveza, resistência e conforto fossem compatíveis com a facilidade em que se poderiam encontrar e produzir as suas matérias primas”. [8] Como os têxteis são um material onde as propriedades de resistência, elasticidade e leveza estiveram desde sempre associadas, as coberturas têxteis têm estado muitas vezes ligadas à concepção de construções móveis. [18]

**Fig. 7.1.** Transporte de yurts no séc. XIII. [8]



A procura de alimentos é um factor impulsionador das deslocações nas sociedades nómadas, mas existem também outras razões, como climáticas, higiénicas ou apenas de salubridade, responsáveis por deslocações por vezes muito pequenas. Alguns povos desenvolveram construções que têm características intrínsecas de mobilidade, permitindo a sua fácil e rápida implantação em diferentes locais. A cabana dos Zulus, o “Indlu”, tem uma estrutura de madeira revestida por colmo entrançado e a sua mobilidade resulta da tradição ditar que, quando um habitante morre, a sua habitação tem de ser queimada e toda a aldeia recolocada num local diferente. Quando este local não é próximo do anterior, o colmo é abandonado e apenas as estruturas de madeira são transportadas para voltarem a ser montadas no novo aldeamento. [8] O yurt, como já foi referido, é também utilizado, pela sua mobilidade, por razões de higiene. (fig. 7.1.)

Uma forma comum de mobilidade é a navegação, sendo um campo onde os materiais têxteis e os compósitos deles derivados têm tido grande aplicação, atendendo ao seu baixo peso e propriedades mecânicas, sendo nomeadamente utilizadas nas velas dos veleiros, para aproveitamento da energia eólica. Com o aumento das distâncias e o tempo

gasto em viagens marítimas, os marinheiros passaram a habitar nas suas embarcações, tendo desenvolvido toda uma série de elementos náuticos que fazem parte da vivência no interior duma embarcação. Em certas circunstâncias, as características de habitação sobrepuseram-se mesmo às de meio de transporte e introduziu-se o conceito de habitação flutuante. Este fenómeno sucedeu em locais onde viver na água poderia apresentar vantagens, como por exemplo não implicar a compra de um terreno, ter condições climáticas mais vantajosas (em zonas quentes, a evaporação permite o arrefecimento da temperatura ambiente), a elevada densidade populacional, ou o facto de ter sempre água para tomar banho ou consumo em países onde não há água canalizada e esgotos. [8]

Hong Kong tem talvez os mais conhecidos exemplos de habitação flutuante, servindo não só como residências mas também para o comércio ou a pequena indústria, formando verdadeiros quarteirões flutuantes, compostos de várias embarcações, com canais estabelecendo as vias de penetração. [8] As embarcações de “serviços”, como as que vendem alimentos, o barbeiro ou o curandeiro, circulam por entre os canais, fazendo muitas vezes notar a sua presença soando uma campainha característica ou um toque de tambor. Em vários locais do Oriente podem-se encontrar habitações flutuantes, como na Tailândia. Em Srinagar, (Caxemira) as habitações flutuantes fazem bastante utilização de têxteis tanto nas coberturas planas de duas águas como nas paredes com estruturas de madeira. (fig. 7.2.)



**Fig. 7.2.** Habitações flutuantes em Srinagar.

Os barcos têm um significado especial em algumas culturas, particularmente as que dependem essencialmente da água como meio de subsistência, deixando os instrumentos e tecnologias a ele associados, de ser apenas uma ferramenta ao serviço do homem. Por isso, a arquitectura tradicional e mesmo a erudita, em certas culturas, não deixa de reflectir a influência marítima, nas técnicas construtivas utilizadas ou apenas na imagem. [8] Em Portugal, esse fenómeno esteve bastante patente durante o período Manuelino, sob influência dos descobrimentos e dos motivos marítimos a ele associados, com o exemplo relevante da janela do Convento de Cristo em Tomar, se bem que apenas nos elementos decorativos representados, visto que o material utilizado, a pedra, não é obviamente de

tradição naval. Na Ilha de Sumatra, na Indonésia, os Bataks, (fig. 7.3.) construídos em terra, muitas vezes a grande distância do mar, têm uma imagem ligada aos barcos nos quais os seus ancestrais chegaram à ilha, mas neste caso utilizando os materiais e técnicas também associados à construção dos seus barcos, a madeira. [59] A tradição marítima continua assim presente, demonstrando a ligação simbólica com o passado e com o mar, apesar de já não dependerem exclusivamente deste. [8]



**Fig. 7.3. [59]** Bataks da Ilha de Sumatra.

As habitações / transporte são muitas vezes o testemunho da interessante forma de partilha que existe quando várias disciplinas e técnicas da construção se reaproveitam para solicitações diferentes. As semelhanças entre as caravanas e os barcos de recreio, tanto exterior como interiormente, na forma bem como no tipo de materiais utilizados, são óbvias e têm uma origem já bastante remota. A tradição de viver em barco não foi nunca muito comum no ocidente, com algumas exceções na Inglaterra, onde uma importante rede de canais influenciou a existência desse tipo de habitação. “Segundo um senso de 1881, residiam nos canais Ingleses cerca de 40.000 pessoas, mas sendo apenas uma pequena amostra se comparada com a quantidade de população que no Oriente habita na água”. [8] Mas se a tradição de viver em barcos não foi nunca muito importante nos países Ocidentais, o mesmo não se poderá dizer da habitação em veículos de rodas, cuja origem e maior implementação, terá estado mais associada à civilização Ocidental.

Muitas formas de transporte com rodas têm sido usadas na Europa e Ásia desde há vários séculos, mas a incorporação numa habitação no próprio veículo é uma invenção relativamente recente. Sabemos que no século XVII o Cardeal Richelieu tinha um Coche com cama e Napoleão tinha um carro de campanha com cozinha, estar, zona de comer e trabalho. Mas as primeiras verdadeiras caravanas com características de habitação permanente surgem no início do séc. XIX com os espectáculos itinerantes com animais. Inicialmente, apenas os animais viajavam e habitavam em jaulas móveis, as quais constituíam o local de exposição, enquanto os tratadores se alojavam em locais fixos. Vendo que nem sempre conseguiam boas condições de alojamento, começaram a utilizar carroças como habitação para eles próprios. “Existe o pressuposto errado de que os ciganos terão inventado a caravana, mas a realidade é que estes terão adoptado o modelo introduzido pelos espectáculos de “zoo” itinerante referidos anteriormente, sendo os ciganos Ingleses quem primeiro fez essa adaptação, cerca de 1860” [8]. O abrigo tradicional dos povos ciganos é uma tenda circular, uma construção têxtil com estrutura realizada em arcos de madeira colocadas uma forma concêntrica amarrados no topo. Talvez no seguimento da sua tradição de habitações têxteis, eles continuam a utilizar nos seus acampamentos tendas, e, para o comércio, (nas feiras e pontos de venda) utilizam ainda hoje coberturas em material têxtil.

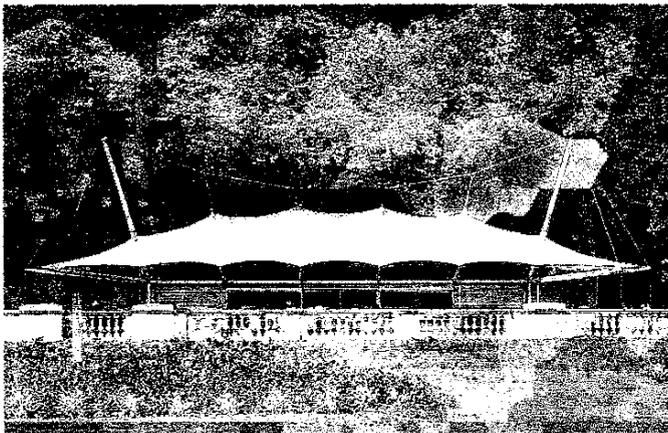
A impressão generalizada que se tem das construções ligeiras móveis é de serem construções de pouca qualidade, frágeis e não apropriadas ao local onde se inserem nem à função que desempenham. Estes pressupostos, não totalmente verdadeiros, devem-se em grande parte a desconhecimento, mas também a algumas lacunas nos processos de concepção destas. Pequenas construções móveis ou provisórias são comuns nos ambientes que nos rodeiam, desde os bares de praia, barracas de feira, sanitários de rua, etc. De facto, a grande maioria destas construções são realizadas sem o apoio de profissionais que cuidem minimamente o seu aspecto estético. Apesar de terem uma localização geralmente temporária, o seu uso é móvel mas definitivo, já que não se esgota com uma utilização, sendo a sua mobilidade a qualidade que torna estas construções reutilizáveis e lhe prolongam o tempo de vida útil muitas vezes por vários anos, o que pressupõe o uso de materiais de qualidade e desenho cuidado de pormenorização adequado ao uso, já que na maior parte das vezes poderá não ser tão adequado ao local a implantar. Podem inclusivamente tornar-se em componentes de valorização do ambiente construído, ao contrário de algumas situações actuais, sendo uma área onde o design e a engenharia têm um papel a desempenhar, melhorando a qualidade destes produtos, evoluindo de objectos descaracterizados para arquitecturas com alguma qualidade.

Pelas mesmas razões que construções móveis inovadoras e bem concebidas têm sido autorizadas a ser implantadas com poucas limitações, também as de pouca qualidade são facilmente aceites e infelizmente numa maior percentagem. [8] O design destas, que não poderá ser vista apenas nos aspectos funcionais, não obedece aos mesmos regulamentos das edificações fixas. No caso dos reboques e atrelados semi-reboques, o facto das homologações que, no caso Português, são realizadas pela Direcção Geral de Viação, conduz a uma certa arbitrariedade em termos arquitectónicos (maior do que a que rege as construções tradicionais). "Na relação convencional projectista / cliente é normalmente o primeiro quem reconhece o potencial da mobilidade como um factor essencial do processo de concepção, e que, com um desenho inovador e sensível, pode sugerir uma solução mais apropriada. A realização de construções efémeras, fazendo uso de materiais e tecnologias tradicionais pesadas, é um problema ainda mais grave e um desperdício de recursos, quando termina a função para que a construção foi concebida e esta tem de ser destruída sem possibilidade de reimplantação ou reciclagem".[8]

Uma das grandes vantagens das construções móveis é o facto do investimento feito na concepção e construção não se esgotar após o evento para que foram eventualmente concebidas. Isto ocorre especialmente na arquitectura ou design de pavilhões para feiras e exposições, onde muitas vezes o desmantelamento é inevitável, mesmo quando são construções de grande dimensão, como o caso dos Pavilhões das Exposições Mundiais. Quando a concepção prevê a reimplantação da construção noutros locais, isso implicará uma redução nos custos, especialmente de montagem e transporte. A prefabricação nestas construções também se mostra vantajosa e não apenas pela industrialização na produção dos seus componentes. No caso das Exposições Internacionais, o facto de serem construídos no país de origem, permite revelar numa forma mais genuína, as suas

capacidades construtivas. Um grande investimento inicial em termos de tecnologia, especialmente quando esta visa a redução de peso e a simplificação da montagem, além de permitir uma redução de custos a longo prazo, pode também significar uma demonstração de capacidade tecnológica do país ou do organismo expositor e fazer parte da sua estratégia de marketing.

Por todo o mundo têm sido utilizadas construções móveis de diversos tipos; podendo ser transportadas inteiras (como os barcos e caravanas), desmontadas (como os prefabricados), ou desdobráveis (podendo neste caso ser telescópicas, insufláveis, suspensas, etc. Na maior parte dos casos, apresentam vários tipos de sistemas em conjunto, podendo ter um interior modulado e uma cobertura exterior desdobrável, por exemplo. Construções que utilizam o mesmo sistema podem, no entanto, utilizar diferentes materiais para responder às mesmas solicitações, mas sempre com a característica comum do baixo peso relativo à resistência. As construções têxteis são, na maior parte



das vezes, construções móveis, com possibilidade de serem replantadas e muitas vezes moduladas. Um exemplo concreto duma solução que ao mesmo tempo é uma construção móvel do tipo pré-fabricado de desmontar e também deformável, são as bilheteiras do Palácio de Buckingham em Londres (fig. 7.4.).

**Fig. 7.4.** Vista frontal das bilheteiras do Palácio de Buckingham [10]

Os principais grupos de construções móveis que se poderão classificar distintamente são apresentados seguidamente e dos quais damos exemplos concretos.

Os “contentores” são unidades móveis ou transportáveis na sua forma original, cuja principal característica é a de serem muito rapidamente recolocadas inteiras e prontas a cumprirem a sua função. São talvez as mais comuns construções móveis, pois são deste tipo os reboques / caravana, os barcos / casa ou os contentores que normalmente dão

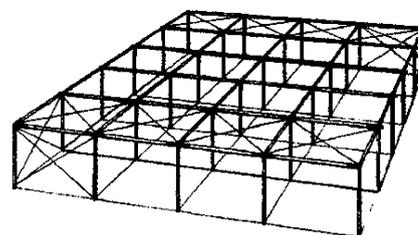
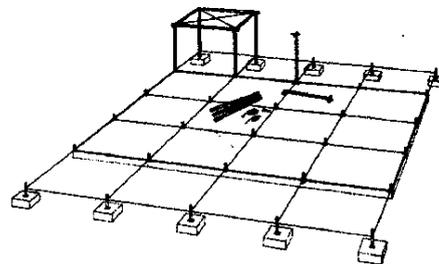


apoio aos estaleiros de obras. Podem incluir rodas e serem rebocáveis por veículos automóveis, serem autónomos e incluir motor ou serem totalmente dependentes para serem transportados, sendo colocados com o auxílio de uma grua em cima de um camião, de uma carruagem de combóio ou de um barco para transporte, ou eventualmente utilizando um helicóptero como as cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller para a Marinha dos EUA em 1954. [8] (fig. 7.5.) São normalmente realizados em chapa de metal perfilada, em madeira, em plástico ou Fibra de Vidro. É raro serem utilizados materiais têxteis como material essencial, excepto para efeito de isolamentos ou no interior, mas é um campo onde estes também podem ter bastantes aplicações, quando utilizados em compósitos ou endurecidos com resinas.

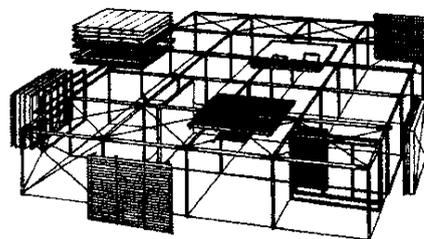
**Fig. 7.5.** Transporte de cobertura por helicóptero [8]

As construções móveis deste tipo são bastante semelhantes aos contentores, pois em regra geral são conjuntos de dois ou mais contentores que se complementam e que, após um simples encaixe, ficam prontos a ser utilizados. A diferença principal em relação aos contentores, é que os módulos não são auto-suficientes, se forem compostos de uma só unidade. Os módulos podem ser contentores aos quais são retiradas uma ou várias das paredes laterais, de maneira a serem encaixados outros contentores, multiplicando a área do espaço interior. Os materiais utilizados são normalmente do mesmo tipo daqueles em que são realizados os contentores.

Os sistemas deste tipo consistem basicamente em planos soltos preparados para serem encaixados entre si durante a montagem, sendo vulgarmente conhecidos por prefabricados. Os prefabricados de montar têm a principal vantagem de serem transportados num volume de carga muito menor, o que os torna potencialmente mais fáceis de deslocar por grandes distâncias, mas com algumas dificuldades acrescidas em tempo de montagem. Em locais de acesso difícil a um transporte de grandes dimensões, são também uma solução mais viável do que as anteriores. São muito comuns nos Estados Unidos, mas também existem na Europa, e são comercializados por empresas que normalmente se responsabilizam pela sua implantação e montagem. O material mais comum utilizado é a madeira, se bem que os têxteis se apresentem como uma solução interessante, quando utilizados em painéis, normalmente com estruturas metálicas de alumínio. Têxteis endurecidos com resinas, ou telas duplas ligadas e insufladas, tipo almofada, são hoje fabricados e podem ser utilizados para realizar este tipo de construções. Um exemplo duma construção prefabricada desmontável é a "yacht house", projectada por Richard Horden na qual se faz também utilização de têxteis na cobertura de alguns dos módulos semi-abertos. [2] (fig. 7.6.)



**Fig. 7.6.** "yacht house" [2]

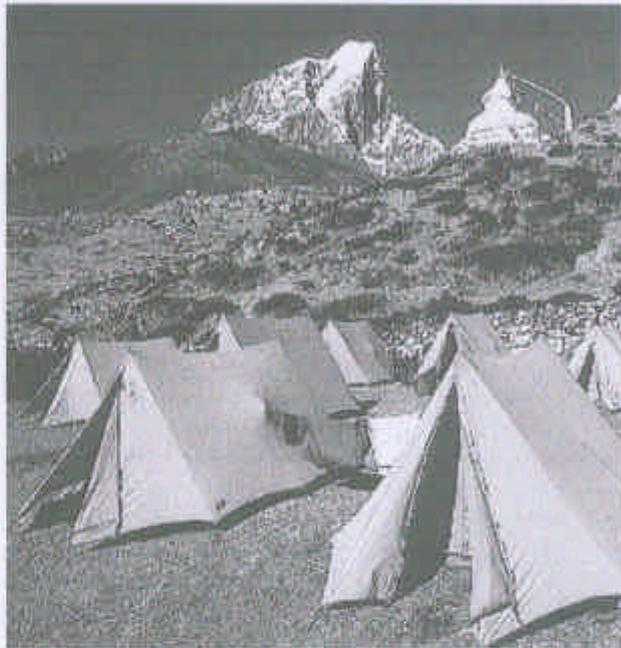




Apresentando as mesmas vantagens de volume de transporte que o anterior tipo, apresentam no entanto a especial característica de serem de montagem muito mais simplificada, pois já trazem todos os elementos solidários entre si, utilizando eventualmente dobradiças ou outros sistemas de encaixe, restando apenas quando necessário fazer uma simples fixação quando totalmente desdobrado na sua forma final. Obrigam normalmente a uma concepção e construção mais complexa e rigorosa. Em estruturas de grande dimensão, torna-se muitas vezes necessário a ajuda duma grua ou de um guincho para ajudar na operação de montagem, quando estas não dispõem de sistemas mecânicos ou hidráulicos que a facilitem. Um exemplo duma solução de pequenas dimensões é uma tenda "portátil" em plástico representada na figura, concebida pelo Engenheiro mecânico e inventor, Chuck Hoberman. [12] (fig. 7.7.)

Fig. 7.7. Tenda desdobrável. [12]

São deste tipo a maioria das estruturas têxteis móveis, em regra geral as coberturas suspensas e os insufláveis em que o material estrutural é totalmente flexível. A principal diferença, se bem que subtil, em relação aos desdobráveis, é o facto do material, durante o transporte, ser guardado numa forma que nada tem a ver com a final e um volume normalmente ainda menor. Os componentes rígidos das estruturas suspensas são normalmente guardados para transporte, como pré-fabricados desmontáveis ou desdobráveis, sendo as estruturas pneumáticas aquelas que são unicamente do tipo deformável, sem componentes rígidos estruturais (com excepção das amarrações, já que o equipamento mecânico de compressão de ar não poderá ser entendido como componente estrutural). A montagem poderá ser algo complicada, no caso das estruturas suspensas, pois exige-se uma implantação rigorosa dos elementos rígidos e da fixação da tela. Um exemplo conhecido universalmente são as vulgares tendas de campismo. (fig.7.9.)



**Fig. 7.6.** Tendas de campismo. (pat Lothian coated Fabrics)

## UMA BIBLIOTECA DE “PRIMEIROS SOCORROS”

Para poder suportar os extremos do clima, o Homem necessita de se proteger, procurando dispor de abrigos adequados. Quando a sobrevivência depende dum tipo de vida nómada, como aquele dos primeiros humanos, a capacidade de criar abrigos temporários móveis constitui uma das mais antigas e importantes realizações humanas. Estas habitações portáteis têm tantos factores de interesse que ainda hoje em dia são utilizadas, mantendo em alguns casos muitas das suas características originais. Os Tipis Americanos, as Tendas dos Beduínos Africanos ou os Yurts da Mongólia encontram-se entre os muitos exemplos de arquitectura vernacular ligeira. Através de modificações nas características das construções ligeiras, o Homem foi introduzindo melhoramentos com vista à obtenção de maior conforto e funcionalidade. Durante esta segunda metade do século, essa evolução tem-se revelado especialmente mais rápida, nomeadamente pelos novos materiais e estruturas.

A impressão generalizada que se tem das construções ligeiras móveis é de serem construções de pouca qualidade, frágeis, não apropriadas ao local onde se inserem nem à função que desempenham. Estes falsos pressupostos, devem-se em grande parte a desconhecimento, mas também a algumas lacunas nos processos de concepção destas. De facto, a grande maioria destas construções é realizada sem o apoio de profissionais que cuidem minimamente o seu aspecto estético. E se alguns produtos, por terem um tempo de vida limitado, são produzidos da forma mais económica possível, o mesmo não se deveria nunca passar com as construções móveis que, apesar de terem uma localização geralmente temporária, o seu uso é móvel mas definitivo porque se prolonga em vários locais. Podem inclusivamente tornar-se componentes de valorização do ambiente construído, ao contrário da situação actual mais comum, sendo uma área onde o design e a engenharia têm um papel a desempenhar, melhorando a qualidade destes produtos, evoluindo de objectos descaracterizados para arquitecturas com qualidade.

Inerente nesta proposta de biblioteca está a necessidade, não só de explorar o problema físico de criar uma construção móvel, mas também de dar uma resposta a problemas culturais e sociais que podem estar na origem da sua concepção. As questões económicas e práticas foram consideradas no seu desenho. A intenção foi criar uma biblioteca itinerante para “primeiros socorros” culturais e científicos, que ao mesmo tempo pudesse servir de escola ou de sala de apoio. Nesta biblioteca, os temas deveriam ser apresentados sobre a forma de texto mas também de imagem, com a ajuda da multimédia, de programas pedagógicos acessíveis e de orientadores / formadores.

A proposta resulta da transformação de um semireboque rebaixado de tipo "pescoço de cisne" da marca "Trabosa" modelo SZM 343. (fig. 7.9.) ao qual é adaptada uma carroçaria com as dimensões de volume máximo autorizado a circular normalmente, que alberga a cobertura, o mobiliário e os livros. A estrutura das fachadas laterais e a cobertura do contentor base é realizada em ferro e madeira. (figuras: 7.10. e 7.11.) Depois de desdobrada, consegue-se um espaço interior de dois pisos, com uma área útil de pavimento cerca de cinco vezes superior à do piso do reboque fechado.

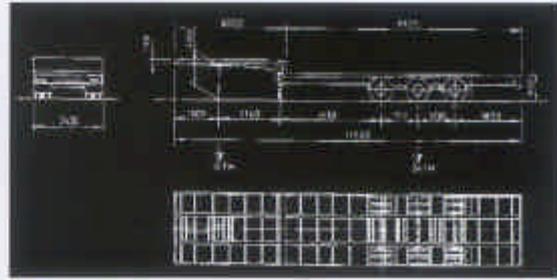


Fig. 7.9. Semireboque rebaixado.

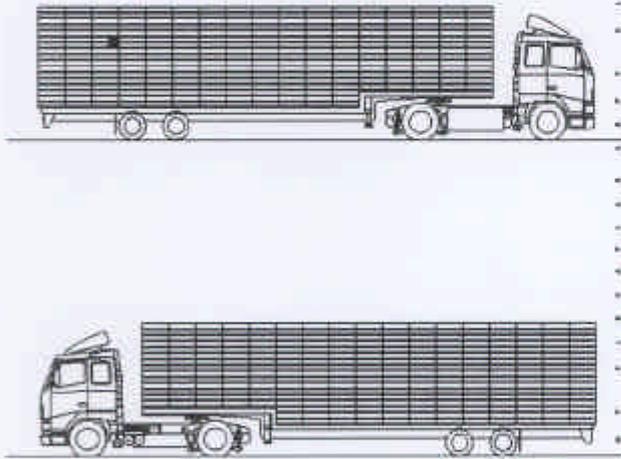


Fig. 7.10. Contentor base em transporte.

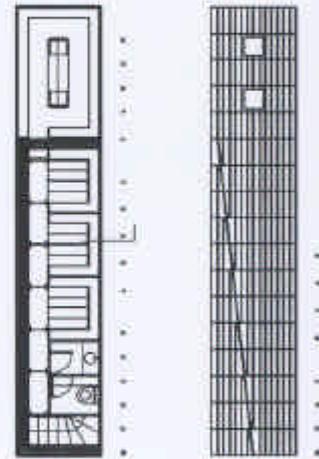
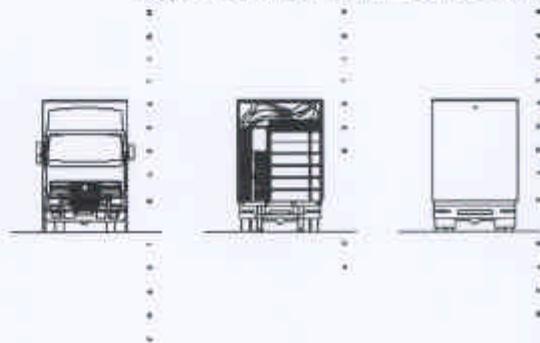


Fig. 7.11. Plantas, cortes e alçados do contentor.



ESC. 1/200

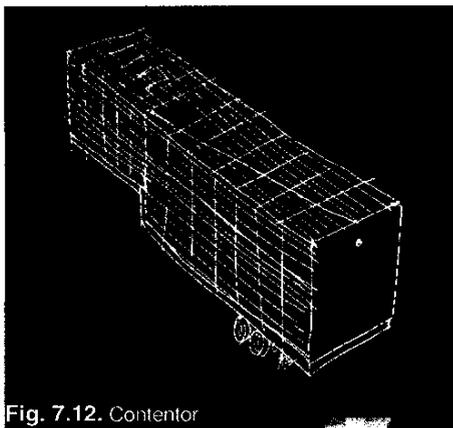


Fig. 7.12. Contendor

Os elementos do tecto do contendor, depois de mecanicamente abertos num movimento de rotação para o mesmo plano das paredes (figuras. 7.12 e 7.13.), são utilizados para suportar a cobertura têxtil que se encontra “guardada” no lado interior do contendor. Após o movimento de deslocação do plano onde se localiza a porta de entrada (fig. 7.14.) e quando este atinge a sua posição final, a tela de cobertura adquire a tensão necessária. (fig. 7.15.) Este movimento fica retratado nos alçados posterior e anterior do reboque, em forma de leque. (fig. 7.17.)

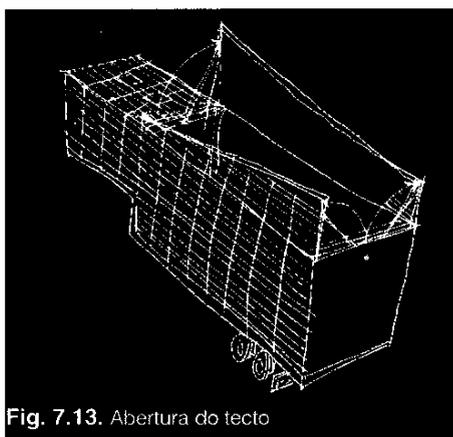


Fig. 7.13. Abertura do tecto

A tela é realizada em Poliéster revestido a PVC, que se revela como o material mais recomendável para este tipo de aplicação, pois além do seu menor custo comparativamente a outras soluções, apresenta uma grande elasticidade e resistência às sucessivas manobras de montagem. A escolha recaiu sobre uma tela de cor branca, com uma translucidez à luz de 15%, facultando um ambiente interior com uma luz natural suave durante o dia, ideal para a leitura e o estudo. Com esta translucidez, é esperada uma vida útil da tela de 15 anos, o que é perfeitamente adequado ao compromisso economia / conforto desejado, além de que o tempo de vida útil do reboque não deverá ser superior.

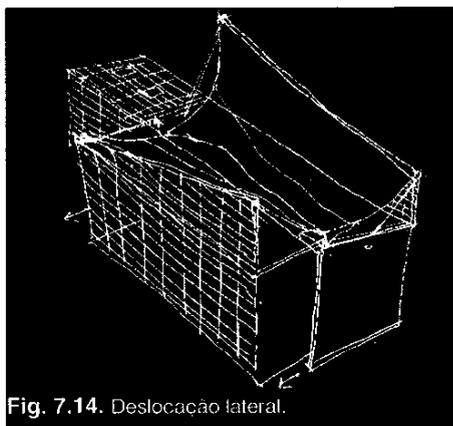


Fig. 7.14. Deslocação lateral.

A forma da cobertura é a do parabolóide hiperbólico (fig. 4.26.), não apenas por razões estéticas, mas também para aproveitar as propriedades da dupla curvatura invertida. A tela é fixa às paredes laterais através duma vara de suporte e nos alçados posterior e anterior existem cabos suspensos a estas que mantêm as arestas do perímetro em forma de catenária. O peso das paredes laterais, em ferro e lâminas de contraplacado, mantém a tensão na tela, além de cabos que se poderão estender desde os vértices a estacas colocadas no solo, se houver necessidade.

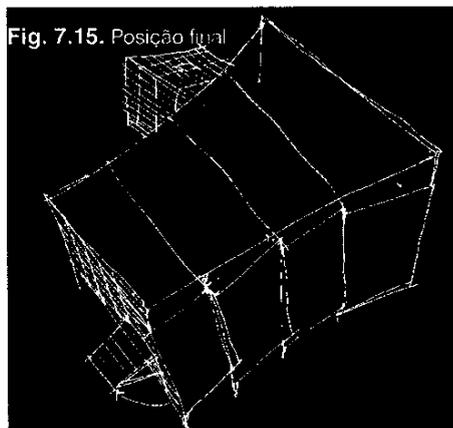


Fig. 7.15. Posição final



Fig. 7.16. Perspectiva exterior

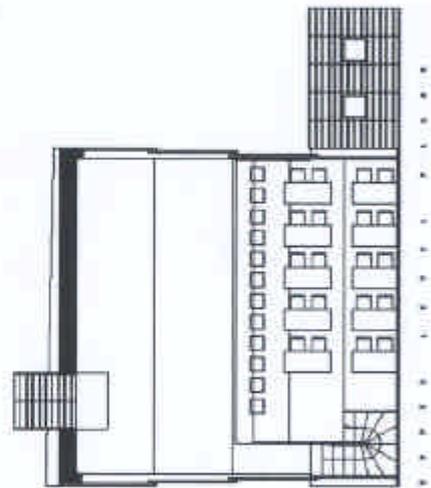
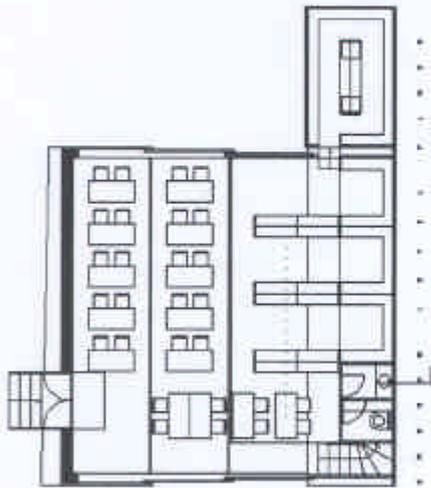
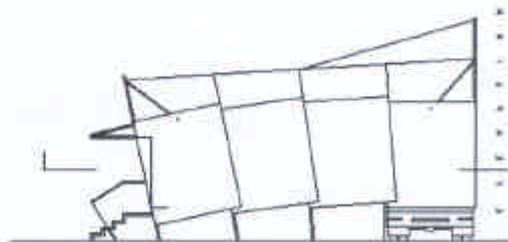
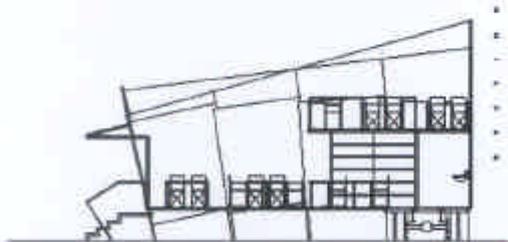


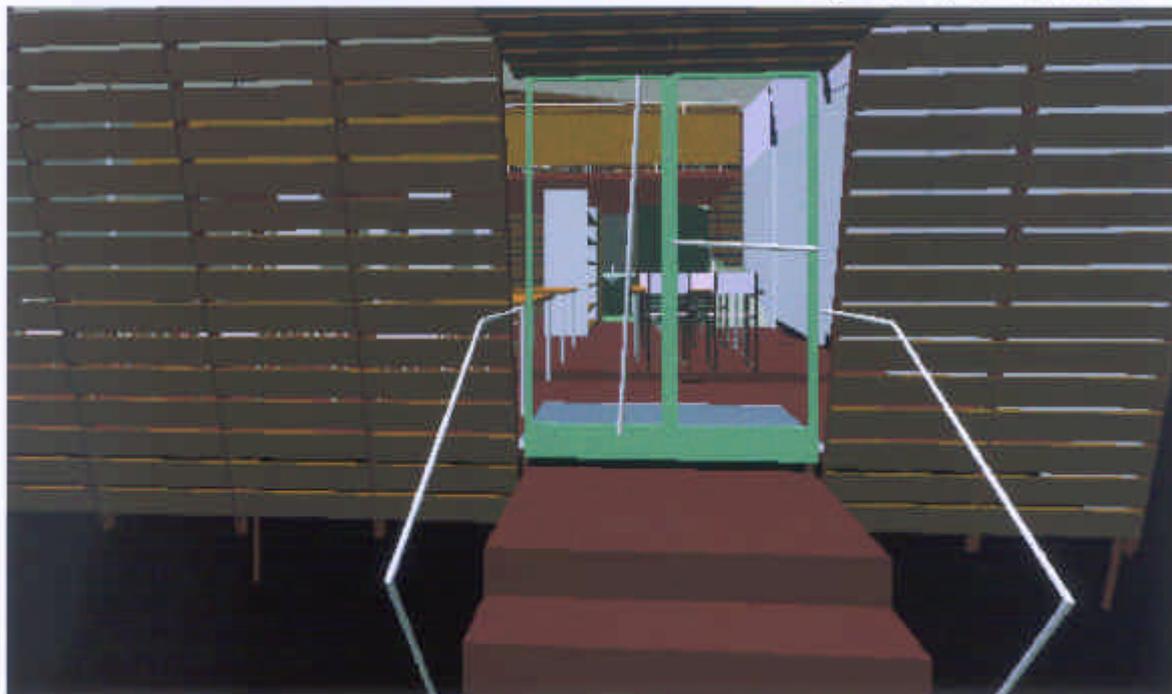
Fig. 7.17. Plantas, corte e alçado posterior da biblioteca.



ESC. 1/200

As áreas de leitura: (fig. 7.19.) o piso superior e os espaços de vão aberto do piso térreo, são aquelas onde as condições de iluminação natural são ótimas. Estas condições de iluminação não resultam apenas das propriedades excepcionais das coberturas têxteis no que diz respeito à filtragem da luz solar, pois além disso, como já foi referido, as fachadas laterais do contentor apresentam uma construção semiaberta. (fig. 7.18.) Elas são realizadas com régua de madeira aparafusadas a uma estrutura metálica, como é tradicional nas carroçarias de camião, com um pequeno afastamento entre elas, de modo a que se criem condições naturais de ventilação quando abertas lâminas de policarbonato basculantes que preenchem esses afastamentos.

**Fig. 7.18.** Perspectiva desde a entrada.



**Fig. 7.19.** Perspectiva interior 1.



Fig. 7.20. Perspectiva interior 2

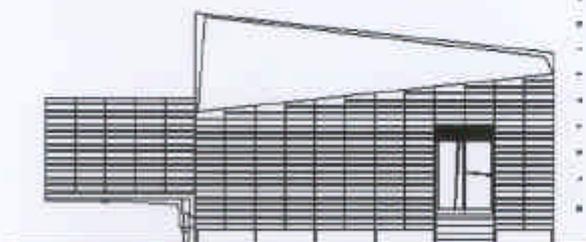
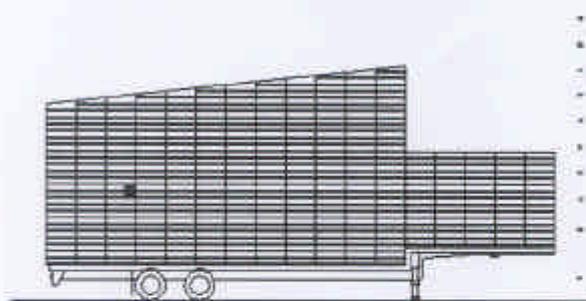


Fig. 7.22. Alçados.

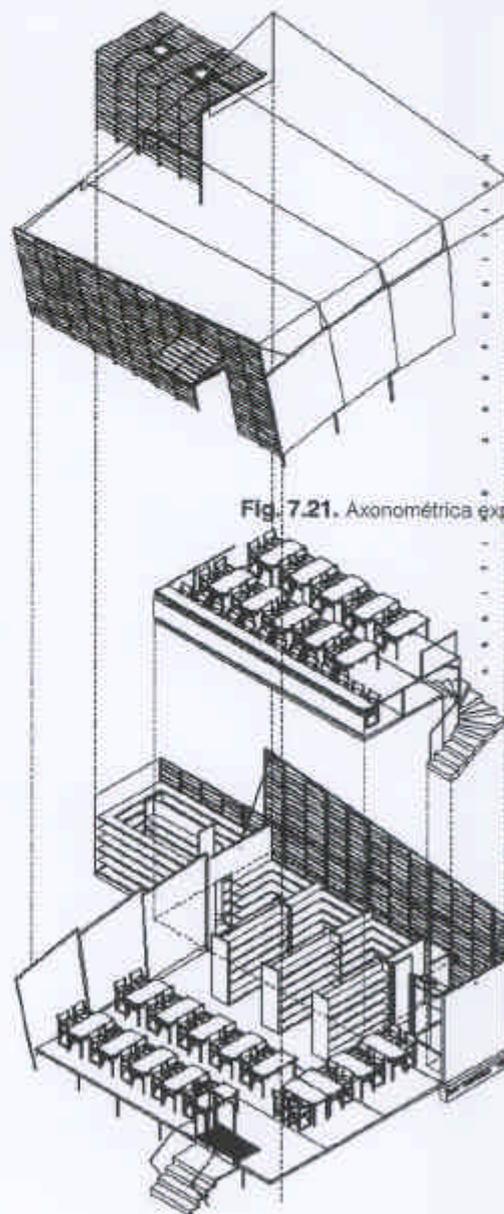
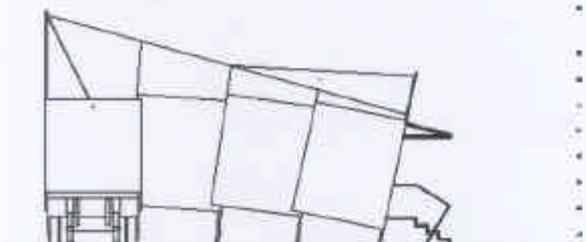
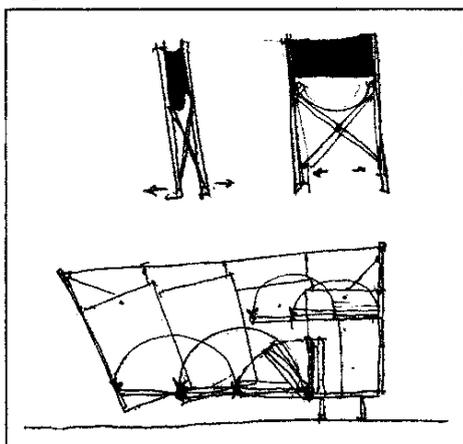


Fig. 7.21. Axonométrica explodida.

É de realçar o facto do mobiliário interior estar todo previsto para ser transportado e “acomodado” no espaço interior do contentor. As estantes interiores são concebidas numa forma modular e têm previsto um espaço de arrumação em transporte. As mesas são também arrumadas no contentor, no espaço que fica entre as estantes e o alçado do contentor onde se localiza a entrada. (fig. 7.11.) A utilização de cadeiras de “realizador” (fig. 7.24.) tem a vêr não apenas com o seu reduzido custo, peso e volume, mas também, pelas características estruturais, já que se trata efectivamente de uma estrutura têxtil suspensa, onde a tela se encontra a trabalhar à tracção, utilizando o mesmo princípio estrutural desta mesma cobertura, mesmo no movimento de abertura. (7.23.)

**Fig. 7.23.** Movimentos de abertura.



**Fig. 7.24.** Cadeira de realizador.

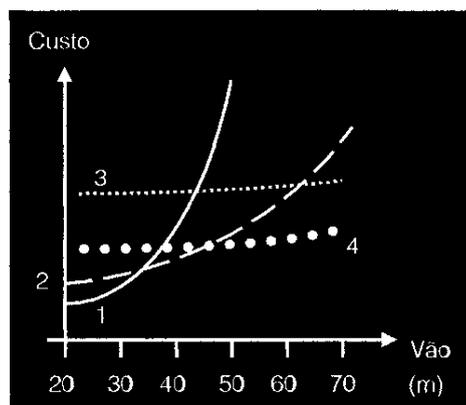
As fachadas posterior e anterior (figuras 7.17. e 7.22.), são propostas em placas de material compósito têxtil. Quisemos que fossem superfícies contínuas, de cor metalizada. A utilização de chapas de aço seria uma solução demasiado cara e extremamente pesada, sendo lisas, e tornaria mais complicada a manobra de abertura do contentor, além de que seria uma solução susceptível de sofrer danos mais facilmente. Como estas chapas deveriam ser resistentes e ligeiras, escolhemos um painel “sandwich” realizado com duas telas de malha de teia em poliéster impregnado com resinas de endurecimento e interligadas. Este material não é aparentemente económico, mas permite pelas suas propriedades estruturais, ser muito resistente e preencher totalmente as necessidades dum veículo como este. As suas propriedades permitem ter uma superfície lisa, sem juntas e apenas reforçada com perfis metálicos no perímetro (a resistência final obtém-se através da quinagem dos topos). O custo final poderá ser interessante pois o seu peso e rápida execução, permitem economizar no transporte e na mão-de-obra.

Os painéis de pavimento são realizados no mesmo material que os do alçado posterior e anterior, com excepção do seu acabamento que deverá ser antiderrapante, o que poderá ser feito através dum tecido com textura marcada. Estas placas ficam suportadas por estacas metálicas de recolher, a aproximadamente 1m de altura, criando um espaço vazio entre o solo e o piso térreo da biblioteca, tal como nas construções de madeira tradicionais das culturas nativas de países tropicais Africanos, Asiáticos e Australianos. O segundo piso foi especialmente concebido como sala de leitura e de aula. (fig. 7.21.)

## **CAPÍTULO VIII – PERSPECTIVAS DE MERCADO**

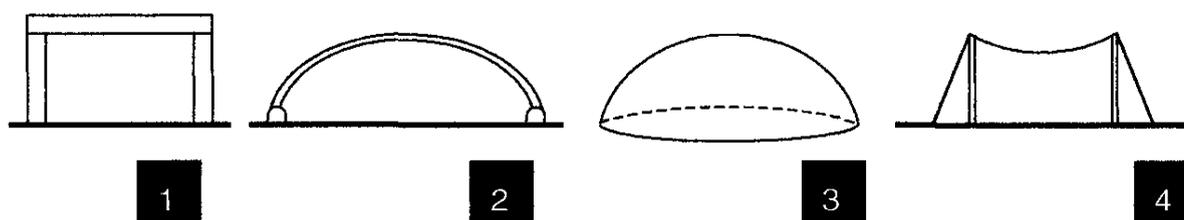
Neste capítulo é feita a avaliação quantitativa do custo das telas arquitectónicas em grosso, e da sua aplicação em obra, e a avaliação comparativa em relação a outras soluções. Com base em dados recentes, é feita uma previsão da evolução futura para o mercado das construções têxteis.

As características técnicas das coberturas de tela permitem, especialmente em vãos de grande dimensão livre, grande capacidade de resistência com o mínimo de peso. A redução do peso é conseguida pela utilização do máximo de elementos a trabalhar à tracção, como os cabos e as próprias telas. Com uma estrutura rígida pesada, a trabalhar à compressão / flexão, do tipo pilar e viga (fig. 8.1. **1**), torna-se necessário, quando se trata de vencer grandes vãos, utilizar secções de viga sobredimensionadas e conseqüentemente pesadas, mas no entanto, a sua simplicidade permite menores custos em pequenos vãos. Podemos concluir que em vãos superiores a 45m, as coberturas suspensas de tela (fig. 8.1. **4**)



conseguem ser conómicamente mais competitivas que qualquer outro tipo de solução, enquanto as coberturas abóbadadas e de arco (fig. 8.1. **2**), a trabalhar exclusivamente à compressão têm uma relação custo / vão intermédio. As coberturas insufláveis (fig. 8.1. **3**) manifestam um custo mais elevado que as suspensas, mas no entanto conseguem atingir vãos livres de muito grande dimensão, sem quaisquer suportes intermédios.

Fig. 8.1. Variação custo / vão. [34]



O custo de fabrico, transporte e montagem de tais estruturas revela-se actualmente superior em termos de somatório, especialmente nos países onde o custo da mão de obra é mais oneroso que o próprio material. Portugal revela já hoje uma tendência neste sentido, com a tecnologia a ser mais acessível, pelo que o investimento em materiais e tecnologias de ponta e em mão de obra mais especializada é a tendência natural de evolução, ou caso contrário a nossa indústria perderá competitividade.

Pela elevada tecnologia necessária para a sua produção e por não serem produtos de grande divulgação, poucas empresas fabricam telas para grandes coberturas, pelo que se torna muitas vezes necessário transportar as matérias primas dos locais onde são fabricados para o sítio onde são realizadas as obras. Pelo reduzido peso e volume das telas, o factor transporte não representa um acréscimo significativo no preço final, mas o mesmo não

acontece com a montagem e com os acessórios, que são normalmente bastante caros. A montagem da estrutura no sítio é normalmente uma actividade altamente especializada, pelo que poucas empresas dispõem dos conhecimentos necessários e do pessoal para a realizar, especialmente quando são utilizadas telas de Fibra de Vidro. Por isso são normalmente realizadas, num processo de concepção / construção, pela mesma empresa.

Uma desvantagem das estruturas têxteis é o custo das telas, só se mostrando economicamente viáveis para coberturas não visitáveis e de grande vão livre, quando o reduzido peso se torna fundamental para a sua mobilidade. [10] Mas o custo das estruturas varia muito com a escolha da tela, dos acessórios, da forma, factores que regra geral, têm a ver com o desenho;

- **Simetria e repetição** - A simetria relativamente a um ou vários eixos, ou a utilização da repetição, conseguem reduzir-se os custos associados aos cálculos, aos padrões de corte e ao aproveitamento da tela e aos custos de montagem pela simplificação desta.
- **Dimensão de vão** - Como o peso próprio da tela é muito pequeno e o custo desta não tem uma variação significativa com o aumento do vão e do esforço, o custo por metro quadrado não aumenta tanto com o aumento do vão livre, como numa estrutura convencional. Por esta razão, o custo por metro quadrado, para uma estrutura têxtil suspensa de pequenas e médias dimensões, é muito superior ao custo por metro quadrado duma estrutura de grandes dimensões, ao contrário da maior parte das coberturas tradicionais.
- **Forma** - Uma curvatura rigorosamente determinada é necessária para limitar o esforço sobre o tecido e sobre os cabos e as estruturas de suporte e assim conseguir estabilidade em relação às cargas do vento. Uma curvatura pouco acentuada pode causar a acumulação das águas pluviais ou da neve em zonas frias e levar ao colapso da cobertura. Um acentuar da curvatura e da altura da estrutura, pode minimizar este risco, mas aumentar a susceptibilidade ao vento e resultar numa solução mais cara, devido a um gasto superior de tela.

A comparação de custo com outros sistemas de cobertura é muito relativa, já que os factores de iluminação natural, isolamento e resistência sísmica, não são normalmente tomados em conta. Por exemplo, a economia de energia durante o dia numa cobertura de tela translúcida, com iluminação natural, em relação a uma cobertura metálica sem aberturas, com um gasto diurno suplementar em iluminação artificial, teria de ser contabilizada para estabelecer uma comparação entre as duas. Para condições iguais de iluminação, a introdução de clarabóias ou de chapas translúcidas na cobertura metálica, já iria provavelmente aumentar o seu custo. Em locais de forte probabilidade de ocorrência de fenómenos sísmicos, ou em terrenos pouco firmes, já nem será necessário comparar o custo, visto que uma solução mais ligeira e

flexível, como uma cobertura têxtil, é certamente muito mais viável e segura. Em soluções de construção móvel, ou em locais de difícil acesso, também haverá que contabilizar os custos necessários ao transporte, que normalmente são proporcionais ao peso e ao volume, pelo que também aqui a solução têxtil, podendo não ser tão económica em custo de fabrico, se torna certamente muito mais económica em termos de montagem.

Em 1995, os preços médios de execução de estruturas têxteis suspensas relativamente complexas, incluindo cabos, mastros, acessórios e amarrações, mas excluindo fundações, paredes interiores, pisos, instalações eléctricas, foi calculado como sendo de aproximadamente entre 27 a 54 contos (\$150 a \$300 US Dollars) por m<sup>2</sup> para as telas de Poliéster / PVC e de 54 a 162 contos (\$300 a \$900 US Dollars) por m<sup>2</sup> para as estruturas de Fibra de Vidro / PTFE. O custo equivalente das telas sem colocação nem acessórios variou entre 15 a 30 contos para a de Poliéster e de 35 a 55 contos por m<sup>2</sup> para a de Fibra de Vidro. [10] A maior duração e menor manutenção das telas de Fibra de Vidro / PTFE, deverá ser tomada em consideração ao comparar os custos. As estruturas mais simples tornam-se obviamente mais económicas, em termos de custo por m<sup>2</sup>, do que as estruturas complexas. As mais económicas, com soluções pré-fabricadas, de desenho repetitivo e de pequenas dimensões, oscilaram entre os 14 e os 18 contos (\$75 a \$100 US Dollars) por m<sup>2</sup>. [10] Mas, a avaliação rigorosa dos custos das obras realizadas, torna-se uma tarefa bastante complicada, pois certos factores, como a duração e a manutenção tornam-se extremamente variáveis de caso para caso. O preço dos acessórios e a variedade crescente de cabos e materiais, implicam uma mudança constante dos preços, com uma tendência para a diminuição. [3] Segundo a empresa americana Birdair, prevê-se mesmo que uma redução em 25% nos seus preços, pode ocorrer dentro de um ou dois anos, devido à eficiência crescente do desenho dos acessórios, tais como presilhas para os cabos, esticadores, anilhas, etc. [3]

No caso dos PCM's, "(...) simulações por computador realizadas pelo Solar Energy Applications Laboratory of Colorado State University, prevêem poupanças de até 60% nos gastos associados ao aquecimento em fachadas expostas a Sul e uma redução de 30% na energia gasta em refrigeração por ar condicionado mecânico, isto para o caso concreto da zona estudada dos Estados Unidos, o Colorado" [5]. A amortização desta solução poderia ser feita em cerca de cinco anos, segundo a análise económica realizada.

No caso das telas com pigmentos cromotrópicos que apresentamos, os benefícios em termos de poupança energética não estão ainda totalmente explorados em termos práticos, mas as estimativas feitas indicam que os resultados poderiam ser relativamente positivos, conforme as conclusões sobre os ensaios efectuados ao protótipo 1.

“É provável que a segunda metade do século XX e o próximo século fiquem conhecidos como a época dos produtos sintéticos, ou seja dos plásticos, das fibras artificiais, das borrachas sintéticas, dos materiais compósitos e dos adesivos sintéticos” [5].

“A estética tecnológica reflecte cada vez mais as relações entre forma e função” [18] Sendo um dos novos “materiais compósitos sintéticos” de que fala Antonio Miravete [5], as telas arquitectónicas são um dos materiais que provavelmente constituirão uma referência no próximo século. Continuam no entanto a ser soluções mais viáveis quando utilizadas em coberturas onde se mostram necessários grandes vãos livres ou com características de mobilidade e especialmente em locais de acesso difícil e de grande actividade sísmica. As coberturas têxteis têm vindo a aumentar bastante a sua implantação ao longo dos últimos anos, devido às características tecnológicas que transmitem um aspecto vanguardista e inovador “Estima-se que a taxa anual de crescimento da arquitectura têxtil a nível global tem sido de 5 a 15%. Na Europa consomem-se actualmente na ordem de oito milhões de metros quadrados, sendo quatro milhões na Alemanha, dois em França e o resto na totalidade dos outros países Europeus”. [5] Em Portugal, onde praticamente não existiam exemplos significativos, assiste-se agora ao aparecimento de algumas coberturas têxteis, nomeadamente na Expo 98, o que eventualmente resultará num maior interesse sobre este tipo de construções. Deve sublinhar-se que o sector da arquitectura têxtil se encontra em rápida evolução, graças à experimentação e ao espírito criativo de alguns arquitectos e engenheiros, às inovações tecnológicas que tiveram origem no trabalho destes e à interdisciplinaridade, que promoveu a ligação a áreas com tecnologia de ponta, como a engenharia mecânica, náutica, espacial, o desporto, etc. A transferência destas tecnologias e dos materiais a elas associados para uma área de maior industrialização da produção, como a construção civil, permite baixar os custos, o que, paralelamente ao aumento dos custos associados a sistemas construtivos tradicionais pesados, torna estas soluções mais atractivas e viáveis. Se as coberturas têxteis ainda há poucos anos estavam circunscritas a poucos protótipos experimentais, a realizações muito pontuais, são hoje divulgadas a nível mundial, construídas por várias empresas especializadas.

Tal como o Palácio de Cristal de Londres fez no séc. XIX com as estruturas metálicas, as coberturas têxteis, desmontáveis, híbridas e outras de vanguarda tecnológica, irão cada vez mais ser utilizadas pela sua funcionalidade e potencialidades e alterar o nosso conceito de estética arquitectónica, bem como o nosso sentido de espaço. [3] Mas com uma mais valia, a redefinição do conceito de fachada, pela alteração da relação interior / exterior que estas podem trazer, nomeadamente através de soluções activas, como a sugerida na proposta 1, podem conduzir a uma nova atitude arquitectónica, uma relação mais dinâmica com o ambiente e um passo em frente na reavaliação do conceito de arquitectura bioclimática

# C A P Í T U L O    I X    -    C O N C L U S Õ E S

## 9.1

## SÍNTESE

Ao longo deste trabalho foram apresentadas pequenas sínteses inseridas no início de cada capítulo, referente ao tema ou temas tratados. Pretende-se aqui apenas fazer um resumo das mais importantes conclusões.

A nossa maior atenção incidiu nos têxteis, enquanto verdadeiros materiais de construção, com características estruturais, pelo que não foram desenvolvidas utilizações não estruturais dos têxteis, como revestimentos ou decoração. Talvez a classificação de “têxteis técnicos”, aplicados à construção, possa conduzir a alguma diferenciação, mas os exemplos referidos ao longo deste trabalho ajudam a melhor clarificar a orientação dada. Apresentamos alguns dos factores que influenciam o desenho de coberturas têxteis e exemplos práticos do uso de telas e sugerimos algumas soluções em que a utilização destas pode potenciar economias significativas e não apenas pela imagem arrojada e “virtuosismo” a que estão normalmente associadas. As estruturas de tela arquitectónica redefinem o conceito de exterior / interior. Transmitindo uma parte das radiações solares e reflectindo outra, tornam-se responsáveis por uma iluminação uniforme e a formação dum microclima interior. Unidas com costuras especiais, tornam-se perfeitamente estanques e requerem pouca manutenção, especialmente no caso da tela de Fibra de Vidro / PTFE. Esta é auto-lavável e tem uma esperança de vida superior a 30 anos. As telas de Poliéster / PVC, com um custo inicial baixo, têm no entanto necessidade de cuidados de limpeza, bem como um tempo de vida menor, mas uma maior resistência à dobra, sendo mais adequadas a construções móveis. Um dos grandes problemas das coberturas têxteis prende-se com o seu comportamento térmico, associado à fraca resistência e inércia térmica das telas, mas também ao facto de ser difícil obter características alternadas de absorção ou reflexão, adequadas às estações climáticas opostas, o que torna estas estruturas desconfortáveis nas duas estações do ano ou, quando adequadas à estação fria, desadequadas à estação quente e vice-versa. Neste sentido, desenvolvemos uma tela “reactiva”, com utilização de pigmentos cromotrópicos, com diferentes características de reflexão em face dos ganhos térmicos solares, com cor preta associada a uma maior transmissão durante o Inverno e cor branca associada a uma maior reflexividade no Verão. René Motro deu a um artigo sobre construções têxteis, [18] o título de: “Moins de matière, plus de matière grise”. [18] Isto faz-nos pensar que a inteligência na utilização dos têxteis em construção, não diz apenas respeito à economia e características de luminosidade associadas à sua translucidez, mas muito especialmente às suas características estruturais, pelas quais podem ser consideradas como “inteligentes”, por contraponto à utilização de outros materiais, a trabalhar à compressão, muito menos eficazes do ponto de vista da relação peso / resistência.

Os materiais têxteis ou com têxteis na sua composição, utilizados em arquitectura e na construção em geral, são normalmente considerados como têxteis técnicos. Quando utilizados em coberturas, especialmente em coberturas suspensas de grande dimensão, a sua complexidade aumenta pois a resistência e durabilidade necessárias exigem produtos cujas características sejam muito mais específicas e tecnologicamente muito mais evoluídas. São consideradas como materiais "High-Tech" [17], não só pela complexidade dos cálculos necessários à sua concepção, pelo rigor necessário para a sua montagem, mas também pela tecnologia que está implícita, nomeadamente os compósitos a que se pode chamar de membranas arquitectónicas. [18]

A utilização estrutural das telas em construção é uma área bastante descurada no ensino de quem vai projectar, tanto na arquitectura como na engenharia, por lhe ser atribuído um papel secundário, pois este tipo de estruturas tem adquirido uma reputação de um certo carácter exótico. As razões que impedem uma maior implantação deste tipo de construção, deve-se a que as tecnologias empregues na sua montagem e no fabrico dos materiais que a compõem, terem um carácter muito específico, pelo que são apenas utilizadas a título excepcional. [13]

Os argumentos que podem justificar a sua utilização em detrimento de soluções tradicionais, é serem verdadeiramente ligeiras e serem capazes de cobrir vãos excepcionalmente grandes, a um custo menor e num reduzido tempo de montagem, desmontagem e transporte, além de terem associadas certas mais valias como a translucidez e a flexibilidade.

A maior dificuldade continua a ser vencer o conservadorismo dos mercados da construção, muito especialmente no caso Português, que continua bastante fechado à introdução de novos materiais, especialmente quando estes estão associados a novas tecnologias construtivas. A tecnologia das membranas têxteis arquitectónicas, muito adequada aos nossos dias, é cada vez mais conhecida e utilizada. Ela oferece respostas originais em termos estéticos, construtivos e de custo. [18] Tentar evitar ao máximo ou mesmo eliminar totalmente a necessidade de sistemas mecânicos de climatização é o grande objectivo da arquitectura bioclimática ou solar e a utilização dos têxteis nesta área está ainda sub-aproveitada, pois podemos afirmar que no cômputo global as telas permitem uma maior redução do consumo de energia e um ambiente interior mais confortável e atractivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Ossola**, Francesco; "Le strutture a membrana" in TT, Tessili per impieghi Tecnici; Nº 6, Dezembro, 1996.
- [2] **Horden**, Richard; "Light Tech, Towards a light Architecture"; Birkhäuser; Basel, Boston, Berlin, 1995.
- [3] **Robbin**, Tony; "Engineering A New Architecture"; Yale University Press; New Haven and London, 1996.
- [4] **Architectural Design Profile**, Nº117; "Tensile Structures"; Academy Editions, London, 1995.
- [5] **Miravote**, Antonio; "Los nuevos materiales en la construcción"; Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza; Zaragoza, 1994.
- [6] **Wright**, David; "Arquitectura solar natural, Un texto pasivo"; Ediciones G.G.; Mexico, 1983.
- [7] **Shaeffer**, R. E.; "Tensioned Fabric Structures, a Pratical Introduction"; Task Committee on Tensioned Fabric Strucutres; American Society of Civil Engineers; New York, 1996.
- [8] **Kronenburg**, Robert; "Houses in Motion, The Genesis, history and development of the Portable Building"; Academy Editions; London, 1995.
- [9] **Berger**, Horst; "Light Structures, Structures of Light, The Art and Engineering of Tensile Architecture"; Birkhäuser Verlag; Basel, Boston, Berlin, 1996.
- [10] **Vandenberg**, Maritz; "Soft Canopies, Detail in Building"; Academy Editions; London, 1996.
- [11] **Fletcher**, Sir Banister; "A History of Architecture"; 18<sup>th</sup> Edition; London, 1975.
- [12] **Detail**, Zeitschrift für Architektur+Baudetail nº 8 Serie 1996, "Temporäre Bauten"; Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH; München, 1996.
- [13] **Detail**, Zeitschrift für Architektur+Baudetail nº 6 Serie 1994, "Textiles Bauen"; Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH; München, 1994.
- [14] **Le Corbusier**; "La Charte d'Athenes"; Editions Plon, Paris, 1943.
- [15] **Jenks**, Charles; **Koswick**, Maggie; "Architecture today"; Academy Editions, 1988.
- [16] **Portoghesi**, Paolo; "Dopo l'Architettura moderna"; Gius; Laterza & Figli Spa, Roma – Bari, 1981.
- [17] **Buchanan**, P.; in, The Architectural Review nº 1037; July, 1983.
- [18] **Dorlez**, Michel; **Blin**, Pascal; "Architecture Textile" A Tempera Éditions, Paris 1990.
- [19] **Adney & Chapelle**; "The Bark Canoes and Skin Boats of North America", 1964.
- [20] **Star**, Blue Evening; "Tipis & yurts, authentic designs for circular shelters"; Lark Books; Ashville, North Carolina, 1995.
- [21] **Hatton**, E. M.; "The Tent Book"; Houghton Mifflin Co.; Boston, 1979.
- [22] **Glaeser**, Ludwig; "The work of Frei Otto and his teams 1955-1976"; Institut für Leiche Flächentragwerke (IL), University Stuttgart 1977.
- [23] **Gledion**, Sigfried; "Espacio, Tiempo y Arquitectura"; 6ª edicion, Madrid, 1982.
- [24] **Davies**, Colin; "The work of Michael Hopkins and Partners"; Phaidon Press Limited; London, 1993.
- [25] **Makowski**, Z. S.; "Space Structures – A Review" in Space Structures nº 4, 1993.
- [26] **Otto**, Frei; "Architecture et Bionique"; Éditions Delta & Spes; Paris, 1985.
- [27] **RIBA**; "The work of Peter Rice", catalogue to the Exhibition at the RiBA, June 30 to August; London, 1992.

- [28] **Sobek**, Werner; "L'Architecte-Ingénieur" in TUT, Textiles à Usages Techniques, n° 22, 4<sup>e</sup> Trimestre, 1996.
- [29] **Le Moniteur Architecture** – AMC n° 50; Avril, 1994.
- [30] **Architectural Fabric Structures Institute**; "Air Structures Design and Standards Manual"; Architectural Fabric Structures Institute; Glenview, 1977.
- [31] **Bird**, Walter. "Air Structures – Early Developments and Outlook"; Proceedings of the First International Conference on Lightweight Structures in Architecture; Sydney, 1986.
- [32] **Ishii**, Kazuo; "Membrane Structures in Japan"; SPS Publishing Company; Tokyo, 1995.
- [33] **Gössel**, Peter; **Leuthäuser**, Gabriele; "Arquitectura del siglo XX"; Benedikt Taschen; Köln, 1990.
- [34] **Garcia**, Maria da Luz; "Coberturas com redes de cabos"; Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Estruturas de Engenharia Civil; FEUP, Porto, 1993.
- [35] **Schlaich**, Jörg; **Schober**, Hans; "Glass-covered Lightweight Spatial Structures" in Spatial Lattice and Tension Structures; Proceedings of the IASS-ASCE International Symposium 1994; American Society of Civil Engineers, New York 1994.
- [36] **Roland**, Conrad; "Frei Otto, Tension Structures"; Praeger; New York, 1970.
- [37] **Brookstein**, David; "Why inflatable beams?" in Textiles à Usages Techniques; 4<sup>e</sup> Trimestre, 1994.
- [38] **Neves**, Jorge; **Mendonça**, Paulo. "Computer-aided textile architecture design" in Computational Methods in Engineering and Science-Theory and Application; Proceedings of the sixth EPMESC Conference; South China University of Technology Press; Guangzhou, 1997.
- [39] **Araújo**, Mario de; **Castro**, E. M. de Melo e; "Manual de Engenharia Têxtil"; Volumes 1 e 2; Fundação Calouste Gulbenkian; Lisboa, 1984.
- [40] **Lawson**, Dave; "New Developments in Silicone Coatings for Membrane construction" in Techtexil Symposium 1997; Messe Frankfurt, 1997.
- [41] **Bradshaw**, Vaughn; "Building control systems"; John Wiley and Sons, Inc.; New York, 1993.
- [42] **Schulz**, Günter; "Double- and multi-walled membrane building elements – the revolutionary step from pure textile structures to textile buildings" in Techtexil Symposium 1997; Messe Frankfurt 1997.
- [43] **Coelho**, Helder; "Edifícios Inteligentes: Situação actual, facilidades, oportunidades e perspectivas"; Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC); Junho de 1987.
- [44] **Goulding**, John R.; **Lewis**, J. Owen; **Steemers**, Theo C.; "Energy in Architecture, The European Passive Solar Handbook"; The Energy Research Group, School of Architecture, University College Dublin; Batsford for the Commission of the European Communities, London, 1994.
- [45] **Potts**, Michael; "The Independent Home, Living Well with Power from the Sun, wind, and water"; Chelsea Green Publishing Company; Vermont, 1993.
- [46] **Detail**, Zeitschrift für Architektur+Baudetail n° 3 Serie 1997; "Solares Bauen"; Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München.
- [47] **Herzog**, Thomas; **Kaiser**, Michael; **Volz**, Michael; "Solar Energy in Architecture and Urban Planning"; Prestel, Munich, New York, 1996.
- [48] **Pause**, B; "Development of New Panel Systems with Phase Change Material for Air-Conditioning of Buildings" in Techtexil Symposium 1997; Messe Frankfurt, 1997.
- [49] **Pause**, B.; "Development of Heat and Cold Insulating Membrane Structures with Phase Change Material" in Journal of Coated Fabrics n° 25, 1995.
- [50] **Salyer**, I. O.; **Sircar**, A. K.; "Development of Phase Change Technology for Heating and Cooling of Residential Buildings and other applications"; Proceedings of the 28<sup>th</sup> Intersociety Energy Conversion Engineering Conference; Atlanta, 1993.
- [51] **Salyer**, I. O.; **Sircar**, A. K.; "Development of PCM wallboard for Heating and Cooling of Residential Buildings"; U.S. Department of Energy Storage Research Activities Review Proceedings; New Orleans, 1989.

- [52] Neves, Jorge; Mendonça, Paulo;** "Aplicações Inteligentes dos Têxteis em Arquitectura" in VIII Congresso Ibérico de Energia Solar – Energia Solar e Qualidade de Vida; International Solar Energy Society; Porto, Maio 1997.
- [53] Neves, Jorge;** "Efeitos Especiais na Têxtil – Pigmentos Cromotrópicos"; Nova Têxtil; Porto, 1993.
- [54] Costa, Vasco;** "As potencialidades da aplicação dos pigmentos cromotrópicos por pulverização"; Tese de dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Design e Marketing; Universidade do Minho; Departamento Têxtil, 1996.
- [55] Rees, W.H.** "Physical factors determining the confort performance of textiles"; Third Shirley Seminar – Textiles for confort, 1971.
- [56] Urbasek, J.;** "Tabelas e diagramas das propriedades físicas das matérias"; (em Checo) Universidade Técnica Liberec, 1985.
- [57] Hes, Lubos;** "Thermal Properties of Nonwovens" in Congress INDEX 87; Geneve, 1997.
- [58] Kutateladze, S.S.; Borisanski, V.M.** "Manual de transferência do calor"; (em Checo) Editor da literatura técnica (SNTL); Praga, 1962.
- [59] Wester, Ture;** "The nature of Structural Morphology" in Spatial Lattice and Tension Structures; Proceedings of the IASS-ASCE International Symposium 1994; American Society of Civil Engineers; New York, 1994.
- [60] Benevolo, Leonardo;** "Storia dell'architettura moderna"; Casa Editrice Gius; Laterza & Figli, S.p.A.; Roma, Bari, 1985.
- [61] Le Corbusier,** "Vers une Architecture"; Editions Crès; Paris, 1923.
- [62] Gazzaniga, Luca;** "Mario Botta: Tenda per il 700º della Confederazione Elvetica", Domus nº 725. March 1991.
- [63] Rice, Peter;** "An Engineer Imagines"; Artemis; London, 1994.
- [64] L'Evenement Media;** "La Revue de la Grande Arche"; Evenement Media - SEM Tete Défense; Paris, 1989.
- [65] Bubner, Ewald;** "Double-walled membrane elements and their application in building industry"; in Techtextil Symposium; Messe Frankfurt, 1997.
- [66] El Croquis,** "Elias Torres & Martinez Lapeña 1988 – 1993"; Nº 61, ano XII, Madrid, 1993.

# B I B L I O G R A F I A

- **Abel**, John F; **Leonard**, John W; **Penalba**, Celina U.; "Spatial Lattice and Tension Structures"; Proceedings of the IASS-ASCE International Symposium 1994; American Society of Civil Engineers; New York, 1994.
- **Le Moniteur Architecture** – AMC; nº 50; Avril, 1994.
- **Araújo**, Mario de; **Castro**, E. M. de Melo e; "Manual de Engenharia Têxtil"; Volumes 1 e 2; Fundação Calouste Gulbenkian; Lisboa, 1984.
- **Architectural Design Profile**; Nº117; "Tensile Structures"; Academy Editions; London, 1995.
- **Architectural Fabric Structures Institute**; "Air Structures Design and Standards Manual"; Architectural Fabric Structures Institute, Glenview 1977.
- **Benevolo**, Leonardo; "Storia dell'architettura moderna"; Casa Editrice Gius, Laterza & Figli, S.p.A.; Roma, Bari, 1985.
- **Berger**, Horst; "Light Structures, Structures of Light"; The Art and Engineering of Tensile Architecture; Birkhäuser Verlag; Basel, Boston, Berlin, 1996.
- **Biger**, Jean-Pierre; "Alcune raccomandazione per la progettazione delle coperture tessili", in TT, Tessili per impieghi Tecnici, nº 3; Giugno 1996.
- **Bird**, Walter; "Air Structures – Early Developments and Outlook"; Proceedings of the First International Conference on Lightweight Structures in Architecture; Sydney, 1986.
- **Bradshaw**, Vaughn; "Building control systems"; John Wiley and Sons, Inc.; New York, 1993.
- **Brookstein**, David; "Why inflatable beams?"; in Textiles à Usages Techniques; 4º Trimestre, 1994.
- **Bubner**, Ewald. "Double-walled membrane elements and their application in building industry"; in Techtexil Symposium, Messe Frankfurt, 1997.
- **Buchanan**, P.; in "The Architectural Review", nº 1037. July 1983.
- **Coelho**, Helder; "Edifícios Inteligentes: Situação actual, facilidades, oportunidades e prospectivas"; Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC); Junho de 1987.
- **Costa**, Vasco; "As potencialidades da aplicação dos pigmentos cromotrópicos por pulverização"; Tese de dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Design e Marketing; Universidade do Minho; Departamento Têxtil, 1996.
- **Davies**, Colin; "High Tech Architecture"; Thames and Hudson; London, 1988.
- **Davies**, Colin; "The work of Michael Hopkins and Partners"; Phaidon Press Limited; London, 1993.
- **Detail**, Zeitschrift für Architektur+Baudetail nº 6 Serie 1994; "Textiles Bauen"; Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München, 1994.
- **Detail**, Zeitschrift für Architektur+Baudetail nº 4 Serie 1995; "Dachtragwerke"; Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München, 1995.
- **Detail**, Zeitschrift für Architektur+Baudetail nº 8 Serie 1996; "Temporäre Bauten"; Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München, 1996.
- **Detail**, Zeitschrift für Architektur+Baudetail nº 3 Serie 1997; "Solares Bauen"; Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München, 1997.
- **Dillehey**, T.D.; "A Late Ice Age Settlemente in Southern Chile" in Scientific American, 251 -- 4, 1984.
- **Dorlez**, Michel; **Blin**, Pascal; "Architecture Textile"; A Tempera Éditions, Paris 1990.
- **Drew**, Philip. Frei Otto; "Form and Structure"; Crosby Lockwood Stopes; London, 1976.

- **Dupavillon**, Christian; "Architectures du Cirque"; Moniteur, Paris, 1982.
- **El Croquis**, "Elias Torres & Martinez Lapeña 1988 - 1993"; Nº 61, ano XII, Madrid, 1993.
- **Fabrics & Architecture**; "Designer's Guide 1997"; Industrial Fabrics Association International (IFAI); St. Paul, Minnesota, November & December, 1996.
- **Fabrics & Architecture**; "Designer's Guide 1998"; Industrial Fabrics Association International (IFAI); St. Paul, Minnesota, November & December, 1997.
- **Faegre**, Torvald; "Tents: Architecture of the Nomads"; John Murray; London, 1979.
- **Feldman**, Dorel; "Polymeric building materials"; Elsevier applied Science; London, 1989.
- **Fletcher**, Sir Banister; "A History of Architecture"; 18<sup>th</sup> Edition; London, 1975.
- **Garcia**, Maria da Luz; "Coberturas com redes de cabos"; Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Estruturas de Engenharia Civil; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 1993.
- **Gazzaniga**, Luca; "Mario Botta: Tenda per il 700<sup>o</sup>b della Confederazione Elvetica"; Domus nº 725; March, 1991.
- **Giedlon**, Sigfried; "Espacio, Tiempo y Arquitectura"; 6ª edición, Madrid, 1982.
- **Glaeser**, Ludwig; "The work of Frei Otto and his teams 1955-1976"; Institut für Leiche Flächentragwerke (IL), University Stuttgart; 1977.
- **Gössel**, Peter; **Louthäuser**, Gabriele; "Arquitectura del siglo XX"; Benedikt Taschen; Köln, 1990.
- **Goulding**, John R.; **Lewis**, J. Owen; **Steevers**, Theo C.; "Energy in Architecture, The European Passive Solar Handbook"; The Energy Research Group, School of Architecture, University College Dublin; Batsford for the Commission of the European Communities; London, 1994.
- **Grimshaw**, Nicholas; **Haryott**, Richard.; "Solar-powered Pavilion"; transcription of a lecture at the RIBA; London, June 16<sup>th</sup> 1992; RIBA Journal, October, 1992.
- **Guidoni**, Enrico; "Primitive Architecture, History of World Architecture Series"; Faber and Faber; London, 1987.
- **Hale**, D.V.; **Hover**, M. J.; **O'Neill**, M. J.; "Phase Change Materials Handbook"; Contract NAS8-25183, Marshall Space Flight Center; Alabama, 1971.
- **Hatton**, E. M.; "The Tent Book"; Houghton Mifflin Co.; Boston, 1979.
- **Herzog**, Thomas; **Kaiser**, Michael; **Volz**, Michael.; "Solar Energy in Architecture and Urban Planning"; Prestel, Munich, New York, 1996.
- **Hes**, Lubos. "DSC Thesis"; Tech. Univ. of Liberec; Liberec, 1993.
- **Hes**, Lubos; "Thermal Properties of Nonwovens", in Congress INDEX 87; Geneve, 1997.
- **Horden**, Richard; "Light Tech, Towards a light Architecture"; Birkhäuser; Basel, Boston, Berlin, 1995.
- **Huet**, Agnès; "Immeubles intelligents et téléports"; Editions Eyrolles; Paris, 1990.
- **Industrial Fabric Products Review**; Industrial Fabrics Association International; St. Paul, Minnesota; April, 1997.
- **In Tents**; The Magazine for the Tent rental and special event Industries; Industrial Fabrics Association International; St. Paul, Minnesota; Spring, 1997.
- **Ishii**, Kazuo; "Membrane Structures in Japan"; SPS Publishing Company; Tokyo, 1995.
- **Jandl**, H. Ward; "Yesterday's House of Tomorrow"; Preservation Press; Washington DC, 1991.
- **Jenks**, Charles; **Keswick**, Maggie; "Architecture today"; Academy Editions, 1988.
- **Kronenburg**, Robert; "Houses in Motion, the Genesis, history and development of the Portable Building"; Academy Editions; London, 1995.
- **Kutateladze**, S.S.; **Borlsanskij**, V.M. "Manual de transferência do calor" (em Checo); Editor da literatura técnica (SNTL); Praga, 1962.

- **Labbé**, Françoise; **Salat**, Serge; "Paul Andreu - Métamorphoses du cercle"; Electa Moniteur; Paris, n.d.
- **Lawson**, Dave; "New Developments in Silicone Coatings for Membrane construction" in *Techtextil Symposium 1997*; Messe Frankfurt 1997.
- **Le Corbusier**; "La Charte d'Athenes"; Editions Plon; Paris, 1943.
- **Le Corbusier**; "Vers une Architecture"; Editions Crès; Paris, 1923.
- **Les cahiers Techniques du bâtiment**; "Quels composants pour l'intelligence du bâtiment" in *Les cahiers Techniques du bâtiment* n° 140; Decembre 1992.
- **L'Evenement Media**, "La Revue de la Grande Arche"; Evenement Media - SEM Tete Défense; Paris, 1989.
- **Makowski**, Z. S.; "Space Structures – A Review" in *Space Structures* 4, 1993.
- **Miravete**, Antonio; "Los nuevos materiales en la construcción"; Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza; Zaragoza, 1994.
- **Neves**, Jorge; "Efeitos Especiais na Têxtil – Pigmentos Cromotrópicos" in *Nova Têxtil*; Porto 1993.
- **Neves**, Jorge; **Mendonça**, Paulo; "Aplicações Inteligentes dos Têxteis em Arquitectura" in *VIII Congresso Ibérico de Energia Solar – Energia Solar e Qualidade de Vida*; International Solar Energy Society; Porto, Maio, 1997.
- **Neves**, Jorge; **Mendonça**, Paulo; "Computer-aided textile architecture design" in *Computational Methods in Engineering and Science-Theory and Application*; Proceedings of the sixth EPMEESC Conference; South China University of Technology Press; Guangzhou, 1997.
- **Oliver**, Paul; "Shelter in Africa"; Barrie and Jenkins; London, 1971.
- **Oliver**, Paul; "Shelter, Sign and Symbol"; Barrie and Jenkins; London, 1975.
- **Ossola**, Francesco; "Le strutture a membrana" in *TT, Tessili per impieghi Tecnici*; N° 6, Dezembro, 1996.
- **Otto**, Frei; **Rash**, Bodo; "Finding Form"; Edition Axel Henges, 1995.
- **Otto**, Frei; "Architecture et Bionique"; Éditions Delta & Spes, Paris 1985.
- **Pause**, B.; "Development of Heat and Cold Insulating Membrane Structures with Phase Change Material" in *Journal of Coated Fabrics* n° 25, 1995.
- **Pause**, B.; "Development of New Panel Systems with Phase Change Material for Air-Conditioning of Buildings", in *Techtextil Symposium 1997*; Messe Frankfurt, 1997.
- **Pawley**, Martin; "Future Systems: The Story of Tomorrow"; Phaidon; London, 1993.
- **Pawley**, Martin; "Theory and Design in the Second Machine Age"; Blackwell; Oxford, 1990.
- **Payne**, E. ; **Perry**, B.T.; **Walker**, T.D.; "Thermal Barriers for Buildings, Appliance and Textiles"; US Patent N° 5.532.039; 1996.
- **Pevsner**, Nikolaus; "A History of Building Types"; London, 1976.
- **Portoghese**, Paolo; "Dopo l'Architettura moderna"; Gius; Laterza & Figli Spa; Roma – Bari, 1981.
- **Potts**, Michael; "The Independent Home, Living Well with Power from the Sun, wind, and water"; Chelsea Green Publishing Company; Vermont, 1993.
- **Pouts-Lajus**, Serge; "Les Bâtiments de la vie, L'intelligence du bâtiment au service de la santé"; Galiléo; Paris, 1991.
- **Rees**, W.H. "Physical factors determining the confort performance of textiles". Third Shirley Seminar – Textiles for confort, 1971.
- **RIBA**; "The work of Peter Rice"; catalogue to the Exhibition at the RiBA; June 30 to August; London, 1992.
- **Rice**, Peter; "An Engineer Imagines"; Artemis; London, 1994.
- **Robbin**, Tony; "Engineering A New Architecture"; Yale University Press; New Haven and London, 1996.

- **Rooha**, Adelia; "Materiais plásticos para a construção civil"; LNEC, Lisboa, 1990.
- **Roland**, Conrad; "Frei Otto, Tension Structures"; Praeger; New York, 1970.
- **Rupp**, Jürg; "Obras móviles con membranas textiles" in *International Textile Bulletin* nº1/1995; ITS Publishing; Zurique, 1995.
- **Rosemoler**, G.; **Saberi-Haghighi**, K.; "The computer-oriented calculation of wind loads on membrane structures" in *Techtextil Symposium 1997*; Messe Frankfurt, 1997.
- **Sagot**, François; "Batiments Intelligents: Quelle solution technique choisir" in *Les cahiers techniques du batiment* nº 149, Decembre, 1993.
- **Salyer**, I. O.; **Sircar**, A. K.; "Development of Phase Change Technology for Heating and Cooling of Residential Buildings and other applications"; *Proceedings of the 28<sup>th</sup> Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*; Atlanta, 1993.
- **Salyer**, I. O.; **Sircar**, A. K.; "Development of PCM wallboard for Heating and Cooling of Residential Buildings"; *U.S. Department of Energy Storage Research Activities Review Proceedings*; New Orleans, 1989.
- **Salyer**, I. O.; **Sircar**, A. K.; "Advanced Phase Change Technology for Passive Solar Storage Applications"; *Proceedings of the 20<sup>th</sup> Annual Intersociety Energy Conference*; Miami Beach, 1985.
- **Schlaich**, Jörg; **Schober**, Hans; "Glass-covered Lightweight Spatial Structures" in *Spatial Lattice and Tension Structures. Proceedings of the IASS-ASCE International Symposium 1994*; American Society of Civil Engineers, New York 1994.
- **Schulz**, Günter; "Double- and multi-walled membrane building elements – the revolutionary step from pure textile structures to textile buildings" in *Techtextil Symposium 1997*; Messe Frankfurt, 1997.
- **Shaeffer**, R. E; "Tensioned Fabric Structures, a Pratical Introduction"; *Task Committee on Tensioned Fabric Strucutres*; American Society of Civil Engineers; New York, 1996.
- **Slessor**, Catherine; "Seville and Expo"; *The Architectural Review*, nº1144; June, 1992.
- **Smith**, Ronald C.; "Materials of Construction"; Third edition; McGraw-Hill, Inc.; London, 1979.
- **Sobek**, Werner; "L'Architecte-Ingénieur" in *TUT Textiles à Usages Techniques* nº 22, 4<sup>e</sup> Trimestre, 1996.
- **Star**, Blue Evening; "Tipis & yurts, authentic designs for circular shelters"; Lark Books; Ashville, North Carolina, 1995.
- **Technische Textilien**, "Kettengewirkt"; *Maye; Veröffentlichungen aus der Fachzeitschrift "kettewirk-praxis"*; 3/86 - 4/87; nd.
- **Technical Textiles International**; September, 1993.
- **Techniques & Architecture**; "Matériaux d'Architecture"; *Techniques & Architecture* nº 386; Oct/Nov, 1989.
- **Techniques & Architecture**; "Une usine reconvertie, Institut de formation bâtiment et travaux publics"; *Techniques & Architecture* nº 396; Aubergenville, Junho/Julho, 1991.
- **Thomas**, Howard L.; "Nuevos campos de aplicación para no tejidos en el sector de obras" in *International Textile Bulletin* nº1/1995; ITS Publishing; Zurique, 1995.
- **Tomlinson**, J.J.; **Heberl**, D.D.; "Analysis of Wallboards Containing a Phase Change Material"; *Proceedings of the 25<sup>th</sup> Annual Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*; Reno, 1990.
- **Urbasek**, J.; "Tabelas e diagramas das propriedades físicas das matérias"; (em Checo) *Universidade Técnica Liberec*, 1985.
- **Vandenberg**, Maritz; "Soft Canopies, Detail in Building"; *Academy Editions*; London, 1996.
- **W67 CIB**; *Proceedings from the International Symposium held on June 5, 1986. "Passive Solar Techniques for Energy Conservation in Buildings"*; Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC); Lisboa, 1995.
- **Wester**, Ture; "The nature of Structural Morphology" in *Spatial Lattice and Tension Structures*; *Proceedings of the IASS-ASCE International Symposium 1994*; American Society of Civil Engineers; New York 1994.
- **Wright**, David. "Arquitectura solar natural, Un texto pasivo"; *Ediciones G.G.*; Mexico, 1983.

**A N E X O S**

# Í N D I C E D E A N E X O S

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| ANEXO A |  | 196 |
| 1       | David Geiger.  | 197 |
| 2       | O "Barnum and Bailey Greatest Show on Earth".              | 197 |
| 3       | O "Cirque Henry Rancy".                                    | 197 |
| 4       | O Processo de montagem dum "Chapiteau" de circo.           | 198 |
| 5       | O Movimento Construtivista.                                | 198 |
| 6       | Frel Otto.   | 199 |
| 7       | Horst Berger.  | 201 |
| 8       | No mar e no ar.  | 202 |
| 9       | O Tipi.  | 204 |
| 10      | Abrigos de emergência.                                     | 204 |
| 11      | O Aeroporto Internacional de Denver.                       | 206 |
| 12      | O Pavilhão Carlos Moseley.                                 | 209 |
| 13      | Os "Zénith" de Montpellier e Paris.                        | 209 |
| 14      | Expo 92.   | 211 |
| 15      | O Centro de Convenções de San Diego.                       | 212 |
| 16      | O Pavilhão comemorativo dos 700 Anos da Fundação da Suíça. | 213 |
| 17      | As "Nuvens" do Arco de "La Défense".                       | 213 |
| 18      | Protótipos e utopias.                                      | 215 |
| 19      | O Pavilhão da Fuji na Expo 70 (Detalhes construtivos).     | 216 |
| 20      | Estruturas de tela e betão.                                | 217 |
| 21      | As fibras.   | 218 |
| 22      | Revestimentos.   | 222 |
| 23      | Película de ETFE.  | 224 |
| 24      | Comportamento ao fogo.                                     | 225 |
| 25      | Tratamentos ignífugos.                                     | 226 |
| 26      | Algumas definições de térmica.                             | 226 |
| 27      | Fontes de Energia.   | 230 |

## ANEXO B

## TABELAS DE CARACTERÍSTICAS DAS TELAS ARQUITECTÓNICAS

231

O Engenheiro David Geiger dedicou parte do seu tempo ao "Habitat for Humanity", uma organização dedicada à promoção de habitações de baixo custo para necessitados e considerou-se na missão de construir estruturas ecologicamente eficientes. Geiger foi pioneiro na concepção de estruturas têxteis solares, desenhadas para reflectir a energia do sol no Verão e absorvê-la no Inverno, retendo o calor em bolsas de ar, com vista ao aquecimento ou à desumidificação dos ambientes interiores. Geiger também desenvolveu a utilização de telas têxteis, com propriedades acústicas. Resolveu problemas que diziam respeito aos materiais bem como às estruturas, procurando não fazer juízos prévios a respeito duma solução de arquitectura ou identificar-se com alguma corrente arquitectónica, mas antes escolher a melhor solução para cada sítio e função. [3]

Este foi um espectáculo de circo que andou em itinerância pela Europa de 1897 a 1902. Era composto de 14 tendas e necessitava dum terreno livre com pelo menos 200 por 300 metros. A tenda maior tinha 130 por 54 metros, dois palcos e podia sentar 10.000 pessoas. Para o transporte de todo o espectáculo eram necessárias 70 carruagens, distribuídas em quatro comboios, pelo que os locais de espectáculo tinham de se situar próximo da linha férrea. Este espectáculo serviu de precedente para a realização de outros grandes espectáculos, como o Buffalo Bill's Wild West Show e o Circus Sarrasani que percorriam várias cidades, nos finais do século XIX e princípio do século XX."[8]

O "Cirque Henry Rancy" era uma estrutura metálica revestida com tela, (fig. 2.7.) que foi erguida pela primeira vez em 1946 e tem o mesmo princípio do Circo de Marselha, mas apresentando algumas vantagens em relação às estruturas de madeira, pois o metal revela-se mais adequado aos processos de montagem e desmontagem, principalmente na fixação de juntas e mais fácil de transportar pelo menor peso relativo e volume. Neste exemplo eram utilizados tubos de secção circular para a execução de asnas montadas concêntricamente, num anel superior a 15,6 metros de altura e numa estrutura perimétrica, na base. Podia abrigar 3.000 espectadores para um peso total de 120 toneladas.

O "Cirque du Soleil" (fig. 2.8.) é um exemplo moderno do sistema de montagem comum às tendas do tipo "Chapiteau". Com uma lotação para 2500 espectadores e um diâmetro de 50 metros, os quatro mastros principais têm 24 metros de altura e são fixos por cabos de aço a 12 pontos de amarração ao solo. A altura do vão livre interior é de 17 metros e a cobertura é elevada na periferia por 120 postes em oito secções. O processo de montagem segue o seguinte método (segundo [8]):

- Fixam-se o mastro ou mastros principais à base e erguem-se até estes estarem na sua posição vertical definitiva, com a ajuda duma grua ou com a força de homens, animais ou tractores.
- Fazem-se amarrações ao solo, através de cabos, até se obter o equilíbrio estático dos mastros.
- A tela é estendida à volta dos mastros e fixa no perímetro exterior pretendido, sendo amarradas as juntas até se tornar numa peça única, com forma de disco.
- Depois de se amarrar o seu perímetro interior com cordas suspensas do cimo dos mastros, a tela é içada até aos pontos pretendidos, no cimo dos mastros, onde é amarrada.
- Os cabos e mastros interiores e periféricos mais pequenos são então colocados de modo a obter-se a forma final e a dar uma tensão relativamente uniforme à tela.

Já no século XX, um grupo de arquitectos dito "construtivista" desenvolvia, após a revolução soviética de 1917, uma série de estudos conceptuais com estruturas metálicas arrojadas, com um carácter muitas vezes mais utópico do que exequível, dos quais se destacam o projecto para o monumento à Terceira Internacional, de Tatlin, e os projectos de Melnikov, publicados em livros da ASNOVA. (o nome da associação formada pelos arquitectos modernistas russos que provinham da experiência construtivista) Este grupo não teve muita aceitação política na então U.R.S.S., talvez porque esta se encontrava ainda numa mudança de formação dum regime novo. Leonardo Benevolo refere a propósito do movimento construtivista, "(...) a investigação arquitectónica moderna torna-se muito evoluída e coloca-se mesmo num estado muito mais avançado que em qualquer outro país. (...) Depois, este riquíssimo património resultará disperso e esquecido; os estudos mais recentes estão a trazê-lo outra vez à luz e demonstram-nos como se desperdiçaram tantas energias intelectuais e humanas." [60] Se a União Soviética não soube aproveitar

suficientemente o seu movimento vanguardista, ele viria a tomar um novo rumo, por influência de El Lissitzki, Van Doesburg e Mies van der Rohe. Inicialmente, formando na Alemanha a Bauhaus e na Holanda o De Stijl, algumas das concepções de arte dos modernistas Russos acabaram por se internacionalizar. Também Hitler na Alemanha não aceitou o vanguardismo da Bauhaus e elementos desta escola foram para os Estados Unidos, como aconteceu com Mies van der Rohe e Marcel Breuer. [60]

Frei Otto nasceu em 1925, em Siegmar, na Alemanha, numa família de escultores. [3] Começou por trabalhar com o pai em escultura, mas foi obrigado a desistir com a sua ida para a tropa. [8] O seu interesse por planadores levou-o posteriormente a ser um piloto de caça durante a 2ª Guerra Mundial. Enquanto prisioneiro de guerra em Chartres, tornou-se o arquitecto do campo de prisioneiros, continuando depois da guerra, a partir de 1948 a sua formação em arquitectura, em Berlim. [3] Durante uma viagem aos Estados Unidos, em 1950, Otto trabalhou durante pouco tempo no atelier de Fred Severud, em Nova Iorque. [3] Naquela data, Severud estava a trabalhar juntamente com Matthew Nowicki no projecto do agora famoso State Fair Arena em Raleigh, na Carolina do Norte Talvez influenciado e impulsionado tanto pelo seu interesse em planadores, como pelo trabalho com Severud, Otto voltou-se exclusivamente para o estudo das estruturas ligeiras e especialmente para as coberturas suspensas. Concluiu o Doutoramento no tema "As formas das Tendias" em 1954. Tanto nas suas obras construídas, nos estudos teóricos, como na investigação, ele interessou-se pelos princípios da eficiência da forma nas estruturas ligeiras. Os primeiros trabalhos de Frei Otto eram baseados nas formas típicas das tendas e velas tradicionais, mas foi gradualmente introduzindo sofisticação e complexidade tecnológica. As suas primeiras estruturas de grande dimensão, foram concebidas em 1956 / 57, para uma Exposição em Colónia. [8] Foi aqui que ele fez os seus primeiros ensaios sobre a forma das tendas, incluindo o desenho para a cobertura da entrada, o pavilhão de exposições e posteriormente os "guarda-sóis" invertidos, em 1971 (fig. 3.5.), as únicas coberturas que ainda se mantêm hoje, de todas as que ele realizou no local.

Em 1957, Otto fundou o Centro para o Desenvolvimento da Construção Ligeira em Berlim, que se transformou em 1964 no Instituto para estruturas ligeiras da Faculdade de Engenharia da Universidade Técnica de Stuttgart (o I.L.). Aqui, Otto construiu e estudou, além de telas suspensas, telas pneumáticas, estruturas desmontáveis, coberturas retracteis e estruturas tridimensionais. Ainda que Otto tenha cortado a sua ligação oficial ao Instituto há alguns anos atrás, este continua a sua actividade. Os Engenheiros do instituto estudam actualmente os segredos estruturais das formas naturais, os sistemas auto-organizativos das bolas de sabão, dos cristais, da radelária e de outras plantas microscópicas e da vida animal. O I.L., sigla pela qual o instituto se tornou conhecido foi talvez o maior legado de Otto. [3]

Mas as suas obras mais representativas, em vários aspectos, foram sem dúvida o Pavilhão da Alemanha em Montreal e o Estádio Olímpico de Munique.

#### O PAVILHÃO DA ALEMANHA NA EXPO 67.

Dez anos depois de Frei Otto ter concluído um projecto, para várias coberturas, duma Exposição de Jardim em Colónia, estava pronto o projecto do Pavilhão da Alemanha para a Expo 67 de Montreal. (fig. 4.12.) A concepção desta cobertura suspensa de forma orgânica resulta já duma prática de projecto de 10 anos, que vinha das obras anteriores e dela aproveitava a experiência com os erros e correcções e só assim se explica que o projecto tenha começado apenas 14 meses antes da adjudicação da obra e esta tenha ficado pronta na data prevista. Além disso tinha a dificuldade acrescida de ter de ser projectada como uma estrutura desmontável, facilmente transportável e com a possibilidade de ser reconstruída noutra local, na forma original ou modificada. O gasto reduzido que revelou em termos de material, de produção, de transporte e montagem foi inversamente proporcional ao tempo gasto na concepção e desenho tornando-a, no cômputo global e em termos de custo, uma solução mais económica que as tradicionais. Ainda mais compensadora é a possibilidade de reutilização e a inovação reveladas.

O tema da Expo 67 era "Terre des Hommes", abordando a relação do homem com a natureza, o que inspirou Otto a realizar uma forma livre abrigando uma série de ambientes sobrepostos e relacionados entre si. A forma foi toda concebida e estudada com o auxílio de modelos à escala, sete maquetas do conjunto e dezenas de modelos parciais de estudo. Os cálculos de estabilidade foram realizados com o auxílio de molas calibradas e com fotografias de dupla exposição. Estes ensaios levaram à utilização duma rede de cabos, suspensa, de reforço, em vez duma simples tela estrutural, especialmente por causa do problema das sobrecargas que o peso da neve poderia acarretar no Inverno. A maior dificuldade das estruturas com rede de cabos é o da escolha e fixação do material de cobertura, que no caso do Pavilhão de Montreal foi uma tela de Poliéster / PVC suspensa com cabos, sob a estrutura funicular.

#### ESTÁDIO OLÍMPICO DE MUNIQUE

Depois de Otto ganhar um Concurso de Ideias, com um projecto duma cobertura suspensa funicular, algum cepticismo da parte dos empreiteiros e mesmo da parte dos fornecedores dos cabos de aço quase impossibilitava a realização da obra. Foi proposta uma alternativa, utilizando vigas de madeira laminada a substituir os cabos de aço. Enquanto a Comissão Olímpica Alemã estava indecisa entre as duas opções, surgiu um inesperado apoio para a primeira hipótese, por parte das estações de televisão. As câmaras de televisão não eram então capazes de focar sobre zonas sombreadas por coberturas opacas, pelo que as transmissões televisivas dos jogos que recentemente tinham ocorrido no Campeonato do

Mundo de Futebol do México haviam sido desastrosas. Uma cobertura que permitisse uma iluminação uniforme seria a solução ideal, e assim sendo, uma rede metálica preenchida com painéis de acrílico transparente coloridos em cinza acastanhado de 4mm foi então sugerida e aprovada. Os projectistas determinaram que estes painéis iriam satisfazer as cadeias televisivas, ajudariam os espectadores na protecção em relação ao sol, nomeadamente das radiações ultravioleta, e em caso de incêndio desintegravam-se, permitindo que o calor e o fumo se libertassem. [3] Além disso teriam uma grande durabilidade, o que aliás se verificou, pois ainda hoje se encontram em bom estado, como se pode ver na figura 3.22.

“Em 1972, em reconhecimento do seu trabalho para o Estádio Olímpico de Munique, o Metropolitan Museum of Modern Art de Nova Iorque apresentou uma exposição da obra de Otto, que incluía uma cobertura suspensa no jardim do museu. Esta exposição, bem como as publicações feitas a propósito, serviram para estimular o desenvolvimento das estruturas suspensas de tela e colocaram o nome de Frei Otto na vanguarda das estruturas suspensas”. [3]

Horst Berger é um dos principais responsáveis pela introdução das estruturas suspensas têxteis. Em 25 anos de prática, ele construiu ou esteve ligado ao projecto de 40 coberturas têxteis, incluindo algumas das maiores construídas. [3] Engenheiro, Professor e Cientista, os seus trabalhos são verdadeira arte porque nos transportam a uma nova dimensão de espaço definido pela arquitectura, estabelecendo uma influência bem para lá do seu valor utilitário, pois mostram-nos o que deverá ser um edifício racional. Berger fala-nos apaixonadamente acerca da sua filosofia das telas estruturais ou "shape structures" como ele lhes chama. Além de focar os aspectos práticos e as vantagens económicas das telas, a sua filosofia ressalta a satisfação racional, estética e mesmo moral. Igualdade e equilíbrio dos elementos estruturais, economia de meios, coerência entre forma arquitectónica e engenharia da estrutura, controle do sol e da sombra e a afinação da acústica, tudo isto poderá ser conseguido por uma tela com uma espessura de poucos milímetros. Estruturas em que a Arquitectura e a Engenharia estão separadas, são no seu ponto de vista, formas arbitrárias, enquanto as coberturas têxteis, não unem apenas forma e estrutura, mas fazem-no com estética. [3]

“Com a filosofia de Berger, somos levados a ver além duma dicotomia simplista de dentro e fora, as telas são como que uma superfície de comunicação, o filtro que coloca o exterior e o interior juntos - telas num sentido biológico.” [3] As telas podem servir para deixar entrar (luz, calor, ar fresco), manter fora (Raios ultravioleta, calor, humidade), expulsar (ruído, calor excessivo), ou manter dentro (calor, ruído, poeira), tudo segundo as nossas necessidades. Berger diz aos seus alunos que, quando ele era estudante, havia 2 biliões de pessoas no

mundu, agora há o dobro desse número, e quando os seus estudantes tiverem a sua idade o total será outra vez duplicado. Ele afirma que "Nós temos de aceitar uma estética da economia". (citado em [3]) Há um tom imperativo no discurso de Berger - Nós não temos o direito de desperdiçar energia solar, engenharia é mais do que cálculos estruturais, sendo por isso importante ter estes princípios em mente quando se trata de desenvolver uma tela estrutural. [3]

"Há 5500 anos os navegadores de Creta descobriram uma forma de aproveitar a energia dos ventos para impulsionar os seus barcos, poupando o esforço muscular necessário para remar. Usando inicialmente peles esticadas e mais tarde tecido, a energia eólica era transmitida ao barco através do mastro, um elemento em compressão auxiliado por cabos de tracção, fixos a diversos pontos do casco. As velas são com efeito exemplos de estruturas pneumáticas. A tecnologia marítima dos veleiros chegou ao seu expoente máximo nos finais do século XIX, pelo menos no que diz respeito à escala das embarcações". [8] A navegação adoptou novas formas de energia motriz, mas a tecnologia continuou a desenvolver-se, principalmente no que diz respeito a embarcações de menor escala, com novos materiais mais ligeiros e resistentes, voltando um pouco a certas formas e princípios que já haviam sido explorados por certos povos, há vários séculos. Um princípio estrutural semelhante ao de certas construções têxteis primitivas, utilizando peles e ossos, pode-se encontrar nas canoas dos Nativos Americanos. Aqui, um delicado sistema estrutural, realizado com costelas atadas entre si por cordas, suporta uma membrana realizada com pele de animais, que serve para realizar embarcações robustas e facilmente navegáveis em vários tipos de águas. As modernas canoas, construídas com a forma de Kayak por Alfred Heurich em 1905 constituem também um confortável meio de deslocação na água e podem facilmente ser transportadas por terra [13], só que actualmente as embarcações ligeiras são realizadas com novos materiais, como a fibra de vidro, a fibra de carbono, as resinas epoxy e toda uma série de acessórios que se foram desenvolvendo a par com a arquitectura têxtil, adoptando inclusivamente nomenclaturas similares. A evocação marítima é hoje uma constante da arquitectura têxtil, com os seus mastros, velas, cabos e acessórios de aço inox. Esta evocação encontra-se actualmente presente em muitas outras actividades projectuais, como na arquitectura de interiores, no design de mobiliário, na moda ou na cenografia, onde algum vocabulário tem origem marítima. [18]

O desafio de construir máquinas que pudessem voar, remonta já a mais de 2500 anos com os "papagaios de papel" na China. Apesar da popularidade que estes tinham e das suas grandes dimensões, já que se sabe que alguns teriam, em condições de vento favoráveis, capacidade, inclusivamente, para elevar uma pessoa, não o faziam pelo receio da rotura

dos materiais, que eram frágeis, e do pouco domínio de voo destes. O mesmo sucedia com os balões de ar quente, também inventados pelos Chineses há 800 anos, caso existissem materiais capazes de realizá-los com o tamanho e resistência suficiente. [8]

Se já durante o Renascimento se pensou realmente na possibilidade de criar engenhos que pudessem levar o homem a voar, nomeadamente nas investigações de Leonardo da Vinci ou em Portugal, a “Passarola” que Frei Bartolomeu de Gusmão tinha concebido, se bem que num sentido mais teórico do que prático, só no século XVIII, Sir George Cayley desenvolveu várias experiências tendo em vista a realização dum planador, capaz de transportar um homem. Em 1783, Montgolfier adoptou o balão inventado pelos chineses, mas com a dimensão e a capacidade para transportar passageiros. Os balões foram-se desenvolvendo ao longo do século XIX, mas só com a descoberta da produção e utilização de gás, se tornou possível fazer engenhos facilmente controláveis, com propulsão. [8] A aplicação da propulsão aos balões foi realizada por Von Zeppelin e todas as tecnologias utilizadas nestes se revelaram com extrema importância na realização futura das estruturas ligeiras têxteis. Os dirigíveis eram compostos por uma estrutura metálica rígida revestida a tela, dentro da qual existiam vários “sacos” cheios de gás, como hidrogénio ou hélio. “O facto do hidrogénio ser um gás combustível originou alguns acidentes, dos quais o do Hindenberg ficou célebre e marca o fim da era dos dirigíveis em favor dos aviões”. [8]

O facto de qualquer pessoa poder hoje em dia deslizar pelo ar com um ultra-leve ou com um Asa-delta era algo impraticável no passado, nem mesmo no tempo dos pioneiros da aviação. Voar é um velho sonho do Homem, mas só na viragem do presente século, Otto Lilienthal explorou os pormenores técnicos dos aparelhos voadores que Leonardo da Vinci havia desenhado, alguns séculos antes. Passo por passo, Lilienthal desenvolveu as suas delicadas construções de madeira, cabos e tela e testou-as pessoalmente, antecipando as leis da aerodinâmica, [13] que só um pouco mais tarde, com os irmãos Orville e Wilbur Wright, viriam a conhecer uma aplicação prática, no primeiro engenho voador mais pesado que o ar. [8] Eles basearam a sua máquina numa estrutura ligeira semelhante à dos papagaios de papel e construíram um biplanador a que um pouco mais tarde acrescentariam um motor de hélice. A estrutura deste engenho era de tal forma exemplar em termos de eficácia estrutural que Le Corbusier inseriu mesmo uma ilustração deste no seu livro “Vers une Architecture”. [61]

“A transferência da tecnologia associada aos primeiros aviões, para a construção de coberturas ligeiras, foi feita por Alexander Graham Bell”. [8] Ele trabalhou numa série de desenhos para papagaios tipo caixas e encontrou uma forma estrutural baseada no tetraedro. Em 1903 ele publicou os seus estudos, onde escreveu “ A forma do tetraedro parecia ter a máxima resistência com o mínimo material”. (Citado em [8]) Bell construiu papagaios compostos até 3395 tetraedros e teve mesmo a ambição de aplicá-los à aeronáutica apesar deles não terem as características aerodinâmicas que os Wright já haviam deduzido serem as ideais para o sucesso dum engenho voador mais pesado que o ar. Contudo, Bell observou o potencial que as suas descobertas poderiam ter para a

construção e assim realizou na sua quinta, em 1902, uma cobertura para um abrigo temporário. Em 1907 desenhou e construiu uma torre de 24 metros usando tubos de ferro com apenas 1,2 cm de diâmetro unidos por conectores de ferro. Esta estrutura, com apenas 5 toneladas montada em 10 dias, demonstrou as capacidades daquilo que se passaram a chamar "estruturas espaciais". [8]

A concepção e a ocupação do Tipi, baseava-se em aspectos místicos, não sendo apenas fruto da resolução pragmática dos problemas que se colocavam; daí que a sua forma circular poderia ter algo a ver com a crença dos Índios no "poder" do círculo, pela sua referência ao céu, à terra e às estrelas. [8] A entrada é colocada virada a Nascente e no interior a lareira é localizada no eixo da entrada, sobre o alinhamento vertical da chaminé. O lado esquerdo da tenda era ocupado pelos adultos, enquanto o direito era ocupado pelas crianças, seguindo uma orientação Este / Oeste. Os Tipis foram o tipo de habitação mais utilizado pelos habitantes Indígenas da América do Norte e chegaram a aglomerar-se, durante alguns períodos, em povoados com mais de 1,5 Km de diâmetro. Após a colonização, os Índios foram forçados a viver em reservas e fortemente desencorajados a habitar os Tipis, por serem consideradas pelos colonos como casas "pagãs". [8] Pelas suas crenças nas capacidades místicas do círculo, eles acreditaram haver perdido o seu poder quando passaram a habitar em casas rectangulares. [8]

Os fenómenos que podem originar situações de realojamento urgente podem ser classificadas como de dois tipos básicos;

- **Desastres naturais** - Têm origem em fenómenos climáticos extremos (como inundações e secas), fenómenos geológicos (como tremores de terra e erupções vulcânicas), ou fenómenos biológicos (como pestes e pragas).
- **Factores humanos** - Desastres provocados por factores que se podem dever a conflitos bélicos, ou a migrações causadas por intolerância religiosa, social ou política (que podem ter ou não um conflito bélico ou uma questão económica associados).

Apesar da função humanitária que este género de abrigos pode desempenhar, não é no entanto forçoso que o aspecto estético seja descurado, como muitas vezes é, tornado

secundário pelo carácter de intervenção urgente que se apresenta. Prova desse desinteresse, são os poucos desenvolvimentos que as construções deste tipo têm tido ao longo dos últimos anos, normalmente limitando-se ao uso de tendas militares de concepção pouco inovadora. E isto, apesar do potencial de utilização que as construções móveis têm nesta área constituir um desafio e um exercício aliciante para projectistas e construtores, onde o problema da relação custo / desempenho é fundamental. A questão da qualidade dos abrigos nestes casos não se esgota normalmente na qualidade arquitectónica. As imagens que nos chegam através dos média são reveladoras de falta de condições e da pouca higiene dos abrigos que são instalados por exemplo em campos de refugiados, que muitas vezes não se devem à falta de um "projecto", mas a projectos concebidos sem conhecimento da problemática social por que as culturas se orientam e da natureza das circunstâncias que as vítimas experimentam em situação de pós-calamidade. [8]

Muitas das intervenções de auxílio que têm sido levadas a cabo costumam ficar aquém das expectativas por razões logísticas (quando o apoio chega tarde de mais), principalmente pela estratégia de intervenção ser planeada em locais e por técnicos muitas vezes alheios à realidade local. Um exemplo deste processo são os abrigos com forma de "igló", em poliuretano, construídos pela Bayer por encomenda da Cruz Vermelha Alemã. Estes abrigos foram desenhados com um sistema construtivo para serem realizados nos locais de implantação em apenas duas horas cada um, de forma a proporcionar uma ajuda quase instantânea e com características de resistência e isolamento muito boas. [8] Mas a aceitação pela população não se revelou no entanto muito positiva, pois após o sismo que atingiu a Nicarágua em 1972, estes abrigos só foram ocupados 148 dias depois da catástrofe e a grande maioria não chegou mesmo a ser utilizada apesar de serem gratuitos. [8] Uma solução demasiado tecnológica pode trazer vários problemas. Neste caso, a necessidade da construção ter de ser levada a cabo por técnicos e equipamentos especializados e não poder ser utilizada mão-de-obra local, além do material utilizado se revelar problemático em alguns pontos como a dificuldade de reparação, a impossibilidade de ampliação e neste caso mesmo o risco de incêndio (por ser um material inflamável e que liberta fumos tóxicos). A utilização de soluções importadas não pode ser vista como ajuda a longo prazo, pois apenas aumenta a excessiva dependência exterior, enquanto estagna o desenvolvimento da economia local. A estratégia de intervenção numa situação destas, deverá ser mais orientada no sentido do planeamento sistematizado, do apoio na concepção e desenho dos abrigos e da gestão dos recursos feita no próprio local. O que se passa muitas vezes é o apoio ser apenas orientado no fornecimento de água e comida e na criação de infra-estruturas sanitárias, o que não deixando de ser fundamental não é suficiente, especialmente a longo prazo [8].

No caso das calamidades naturais, certas áreas geográficas revelam-se mais propícias à ocorrência de certos problemas particulares, numa frequência relativamente regular, mas imprevisível. Exemplos disto são as zonas sísmicas em que se localizam cidades como

Tóquio ou São Francisco. Após o terramoto de 1906 nesta última, 250.000 casas foram destruídas por um incêndio [8]. A resposta das autoridades foi a que ainda hoje é a mais comum: com a ajuda humana e logística militar, foram montadas tendas de campanha, abrigando a população afectada, mas não tendo em conta as exigências sociais e de organização de espaço comunitário que as vítimas necessitavam. As tendas acabaram por ser gradualmente substituídas por casas de madeira que mais tarde muitos dos proprietários viriam a reimplantar nos terrenos onde se localizavam as suas anteriores habitações. Se inicialmente as vítimas preferem buscar abrigo em casas de amigos e familiares, antes da chegada dum auxílio eficaz, quando este chega com abrigos de qualidade aceitável, tornam-se os substitutos das residências permanentes anteriores e começam a constituir a arquitectura definitiva que se mantém por décadas e é mesmo adoptada como modelo futuro. Este fenómeno tem os seus problemas, já que os abrigos não se destinam a substituir definitivamente as construções tradicionais, com o que isso poderia trazer de descaracterização arquitectónica e problemas sociais, como a compra e venda destes. Haverá que conceber abrigos com um tempo de vida limitado, que apenas tenham uso durante o período que se revele necessário à recuperação das propriedades e das ligações sociais e culturais anteriores à catástrofe, quer este processo tenha lugar no mesmo local, quer tenha lugar numa nova fixação, daí a sua mobilidade ser um factor essencial. [at] Nas situações de pós-calamidade, como as resultantes de sismos nos locais onde não existem técnicas de construção anti-sísmica, mesmo as construções que parecem em bom estado podem apresentar risco de colapso, ou pelo menos uma maior susceptibilidade às réplicas que podem suceder. Nestes casos, o valor da ajuda deverá ir no sentido não apenas de fornecer abrigos temporários para o realojamento das pessoas, mas também no apoio técnico necessário à protecção da propriedade e à reconstrução das construções e no apoio social com vista ao restabelecimento das relações de comunidade. O aconselhamento sobre métodos construtivos mais seguros deverá ser especialmente cuidado, no sentido de tornar as novas construções menos vulneráveis a futuros desastres. [8]

O projecto do Aeroporto Internacional de Denver (fig. 3.14.) confirma a adequação das telas suspensas para coberturas de grande vão em climas frios. O projecto inicial de W. Fentress, J. H. Bradburn and Associates, a empresa responsável pela concepção, previa uma cobertura rígida tradicional. Os arquitectos duvidaram que o edifício pudesse ser terminado dentro do tempo previsto e calcularam que a cobertura faria o orçamento inicial aumentar 48 milhões de Dólares. Propuseram assim, como alternativa viável, uma cobertura em tela arquitectónica suspensa, convidando Berger a dar apoio técnico na sua concepção. Foi então concebida uma cobertura para uma área de 305 por 67 metros, ficando a sua forma definida no projecto em 20 dias e todos os detalhes de execução

terminados em sete meses. Como a cobertura poderia ser montada antes das paredes laterais e interiores, Berger estimou que, com a possibilidade de se trabalhar dentro, se pouparam 4 ou 5 meses. O Arquitecto James Bradburn quis que o aeroporto, tal como as grandes estações ferroviárias da Europa, transmitisse ao viajante um espírito de lugar, que não fosse uma estrutura anónima que poderia ter sido pousada em qualquer sítio [3]. Como Denver se caracteriza pelas suas montanhas, bem como pelos seus Tipis, uma cobertura de tela resultaria adequada. Também no aspecto técnico e funcional a escolha se revelou acertada. Mesmo num dia sombrio, a tela deixa passar aproximadamente o triplo da iluminação dum edifício de escritórios, além disso trata-se dum iluminação completa (Bradburn aprendeu o valor da iluminação de espectro total quando era arquitecto para as remodelações do Metropolitan Museum of Modern Art em Nova Iorque). [3]

A tela de Fibra de Vidro / Teflon aqui utilizada, transmite o espectro total de luz visível, eliminando apenas as radiações ultravioleta e infravermelha.[3] O resultado é um ambiente interior com luminosidade “controlada”, efeito que é conseguido pela modulação da luz, criada pelo afastamento entre as telas exterior e interior, que varia na sua separação desde 40 centímetros nos pontos mais próximos até 2,75 metros. Assim, tanto a luz do meio-dia como a do entardecer parecem iluminações plenas, sem brilhos contrastantes pois os olhos conseguem mais facilmente ajustar-se a níveis de luz uniformes baixos. [3] É utilizado talco nos filamentos de fibra de vidro para permitir uma tecitura mais apertada. Apesar de ser limpo o tecido, alguns resíduos mantêm-se e caramelizam durante o processo de revestimento a quente do Teflon. A tela de PTFE nova tem uma cor bege, que só as radiações ultravioleta transformam passadas algumas semanas de exposição na cor branca definitiva. Mas a tela interior ficava protegida da exposição solar pela tela exterior e não estaria sujeita ao branqueamento natural pelo sol. Foi assim necessário um trabalho extra para branquear quimicamente a tela interior antes desta ser instalada. [3]

Denver situa-se numa zona montanhosa. Nevou abundantemente depois das telas terem sido montadas e antes de terem sido pré-esforçadas (que é o momento em que a estrutura têxtil se encontra mais vulnerável), mas isso não trouxe consequências negativas à estrutura. A cobertura têxtil, acabada com presilhas e cabos de 3 polegadas de diâmetro pesa menos de 3 Kg por m<sup>2</sup> e no entanto consegue suportar sobrecargas provocadas pelo peso de neve de 20 ou mesmo 30 vezes mais. Se a cobertura fosse uma estrutura tridimensional de aço pesaria cerca de 15 vezes mais e se fosse de betão armado 40 a 50 vezes mais. [3] O pré-esforço das estruturas têxteis foi um processo que durou 3 meses e que consiste em puxar a cobertura nos seus pontos mais baixos. A neve que não desliza da cobertura não deforma a tela nem é visível para as pessoas que olham através da tela interior. A estrutura é capaz de absorver grandes vibrações e deflexões, por exemplo quando sob o efeito de ventos fortes. O problema de estabelecer a ligação da cobertura em movimento, com as paredes estáticas e com as fachadas de vidro, foi resolvido dum forma engenhosa. Entalado entre a caixilharia e a tela existem almofadas de ar insufladas capazes de distorcer a sua forma e ao mesmo tempo fazer o isolamento térmico do interior, absorvendo as vibrações e movimentos da cobertura. A pressão das almofadas é mantida

por compressores de ar ainda que válvulas controlem o excesso de pressão. Estas almofadas são um pouco inestéticas, mas são tapadas por uma estrutura inferior que se desenvolve a cerca de 70 cm da tela de cobertura. A estrutura inferior não só esconde os detalhes menos agradáveis como serve para reforçar o isolamento térmico e acústico. Além do facto das fachadas exteriores serem em vidro, a cobertura permite a entrada de 7% da luminosidade exterior, fornecendo a iluminação natural suficiente para o edifício. Durante o Verão, a grande capacidade de reflexão da tela reduz o incremento da temperatura exterior sob o efeito solar, reduzindo o esforço de climatização. O calor das luzes, maquinaria e pessoas faz aumentar a temperatura interior, o calor acumulado tem relativamente pouca superfície por onde irradiar, pelo que era esperado que o aeroporto de Denver apenas tivesse de ser activamente aquecido duas vezes por ano [3]. As estruturas têxteis reduzem a carga de calor por 75% da sua superfície reflexiva, pela pouca densidade da cobertura em si - pouco resta para conter o calor absorvido - e pela redução da necessidade de iluminação artificial, que produz mais calor que luz. Segundo Berger, "apenas a necessidade de aquecimento durante as noites de Inverno é maior que num edifício convencional". Comparando a tela com uma cobertura tradicional em betão vemos que em ambas temos o problema da necessidade de aquecimento no Inverno, se bem que a tradicional tenha talvez vantagens na conservação da temperatura durante a noite, no entanto a cobertura têxtil tem vantagens na capacidade de conservação do ar fresco durante o Verão. [3]

Tal como nas grandes telas, a cobertura chegou do fabricante em painéis pré-fabricados. Estes foram unidos entre si por cabos correndo em presilhas em forma de dobradiça. Depois da tela ser levada para o local, as costuras foram cobertas com uma fita colada a quente em ambos os lados da tela, transformando-a numa superfície única. A empresa Birdair verificou que não existia alternativa à construção dum modelo físico da cobertura, para se poder ensaiar todos os passos necessários à montagem correcta dos mastros e cabos e posicionar os guindastes para que pudessem deslizar sobre as cablagens de suporte temporárias e erguer a tela. Houve 17 operações desse tipo, uma para cada módulo da cobertura. Cada módulo/tela levou aproximadamente uma semana para ser instalada, a menos que os ventos, quando superiores a 30 Km/h, impedissem o trabalho. No total, o fabrico e construção do sistema de cobertura envolveu mais de 300 pessoas, durante três anos. Estima-se que o seu custo total foi cerca de 700 Dólares por m<sup>2</sup>. O valor exacto é difícil de determinar, pois a Birdair construiu a cobertura e as paredes laterais num só contrato e orçamento. De qualquer modo, o projecto de 4 biliões de Dólares foi terminado tão rapidamente quando comparado com períodos muito maiores em que aeroportos mais pequenos foram construídos e com custos superiores, que no cômputo global se mostrou uma solução económica [3].

Construído em 1991 para a New York Philharmonic and Metropolitan Opera, o Pavilhão Carlos Moseley (fig. 3.26.) é uma cobertura têxtil e estrutura de palco que serve para a realização de espectáculos de música em vários parques de Nova Iorque, principalmente durante o Verão. "Com o pressuposto de que os espectáculos poderiam muitas vezes ser realizados em diferentes locais e em dias consecutivos, a construção foi projectada pelos arquitectos F. T. L., para ser montada em menos de seis horas e desmontada ainda em menos tempo. Se a estrutura por si só faz parte dos espectáculos e atrai a atenção do público pelo seu aspecto arrojado depois de montada, o processo de montagem é ele também uma performance e também ajuda à função de atrair audiências para a música clássica, mais convencional e por vezes menos "atractiva" para alguns públicos. A estrutura é transportada em sete camiões articulados, cinco dos quais fazem mesmo parte da estrutura montada, servindo de apoio ao palco e às estruturas metálicas".[8]

O processo de montagem é seguidamente descrito; um camião é inicialmente estacionado no local central, onde se projectou a localização do eixo do palco e o reboque é então estabilizado através de sapatas hidráulicas. A partir deste reboque são estendidas vigas de alumínio que se ligam aos restantes quatro reboques, estacionados nos vértices das diagonais do palco, e que servirão de apoio às placas de chão de contraplacado desdobráveis, a partir do reboque do camião central. Os três mastros, de 26 metros, formando um triângulo e partindo de três dos reboques, são ligados uns aos outros no nível do palco e são elevados até à sua posição final, estendendo o mastro central telescópico. Do vértice da pirâmide, formada pelos três mastros, é suspensa a tela com cabos de fibra sintética que, pela sua maior elasticidade e menor peso, em relação ao aço inox, permitem o seu transporte juntamente com a tela. Esta é de Poliéster / PVC, com 1,6 mm de espessura de cor branca e revestida pelo lado de cima com um tratamento de protecção à sujidade.

O "Zénith" de Montpellier foi inaugurado em Fevereiro de 1986, dois anos depois dum edifício semelhante realizado no "Parc de La Villette" em Paris, duas encomendas feitas aos arquitectos Philippe Chaix e Jean-Paul Morel. O "Zénith" de Paris, (fig. 3.28.) concebido como resposta a um desafio colocado no princípio de 1983, de construir o mais rapidamente possível, com um orçamento muito limitado, uma estrutura temporária de 6500 lugares, especialmente adaptada a concertos de Rock, que até aí não dispunham de um local específico para a sua realização. A opção de realizar o edifício com uma estrutura ligeira, foi também devida ao carácter provisório que se pretendia para este, pois estava prevista a abertura dentro de dois anos, de uma nova sala de Rock na "Porte de Bagnolet", que iria substituir esta. [18]

A estrutura metálica de base, com vãos de oitenta metros, é constituída por vigas treliças de secção triangular. Serve de apoio a um piso técnico sobre toda a área da sala, bem como à dupla cobertura composta por elementos modulares de dupla curvatura em tela de Poliéster / PVC. Por uma questão de economia e facilidade de execução, todo o conjunto da cobertura foi montado no solo (telas, passarelas, electricidade, ventilação, etc.) e posteriormente içado para a altura desejada. A procura das condições óptimas de visibilidade e do máximo de flexibilidade para o espaço cénico, levou à escolha duma planta livre quadrada, onde a distância da última fila de espectadores é mínima em relação ao palco, o que é também conseguido pela organização concêntrica das bancadas. [18]

A entrada na sala não é feita directamente, mas através dum vestíbulo, composto por uma rede de grande dimensão que constitui verdadeiramente a fachada principal. Ainda que o edifício tenha tido no seu conjunto, uma boa aceitação pelo público, alguns problemas não ficaram totalmente tratados, nomeadamente a questão do isolamento acústico, que poderia ter sido inicialmente melhorado pela introdução duma tela dupla interior apropriada para o efeito. O "Zénith" de Montpellier beneficiou já da experiência adquirida pelo seu homónimo de Paris, resolvendo-se entre outros problemas, o do tratamento acústico. Se bem que a concepção geral da estrutura fosse conservada, todos os detalhes e acertos foram novamente estudados e redesenhados. O desenho das bancadas foi revisto, eliminando-se alguns lugares laterais que existiam em Paris, cuja visibilidade era prejudicada por serem demasiado afastados do centro. Os bastidores foram totalmente revistos, colocados os locais técnicos e os camarins em dois blocos separados de R/C+2, o que permitiu a libertação de espaço para a criação de corredores laterais. Os dois paramentos verticais que separam estas passagens da sala foram substituídos por dois "tímpanos" articulados e o pano de cena pode deslocar-se em direcção ao plano de fundo. A acústica foi objecto de estudos rigorosos, tanto de isolamento como de correcção, e foram conseguidos bons resultados pela utilização de aplicações têxteis, em mistura com outros materiais. Nos paramentos verticais, utilizaram-se placas de gesso, revestidas pelo lado da sala com uma tela de PVC/lã de vidro. No tecto foi aplicada uma solução composta, alternando tecidos pesados de PVC e lã de vidro densa, o que permite ao edifício ter também um excelente isolamento térmico. [18]

Muitos melhoramentos foram também introduzidos na tela exterior, em relação ao "Zénith" de Paris, nomeadamente nos detalhes de fixação à estrutura, aos tubos de queda, aos remates em geral que não tinham sido bem resolvidos em Paris. As investigações, feitas em colaboração com os engenheiros da empresa construtora, permitiram a realização de montagem bem mais simples e mais eficaz, em termos de funcionamento. A fachada e o tratamento arquitectónico do edifício foram adaptados a uma outra realidade, a um outro sítio, localizado na cidade de Montpellier. O edifício é relativamente neutro de dia, sem cor, apenas o brilho do cinzento metalizado da tela e do aço inox da entrada. É apenas à noite, quando o edifício está aberto para os concertos, que um dispositivo de iluminação dá ao edifício uma presença notável.

- **Diadema.** Estrutura suspensa de tipo “deformação com arco” da entrada principal Norte que marcava o início da “Avenida das Descobertas”.

- **Palenque.** Estrutura de grandes dimensões, composta por 25 módulos de forma tipo cônica, de deformação pontual dupla, funcionando como ponto de encontro para os elementos da organização, reuniões e apresentações diversas.

- **A Avenida da Europa.** Consistia em várias coberturas suspensas com forma de hiperbolóide hiperbólico, com a função exclusiva de sombrear, em tela tipo rede aberta de “Duraskin”. Desenvolve-se entre cones simbolizando chaminés, como referência ao antigo Mosteiro de “La Cartuja”.

- **Palco Real.** Estrutura montada para a cerimónia de inauguração, uma estrutura suspensa em forma de sela hiperbolóide hiperbólica, com uma superfície de área coberta de aproximadamente 1.500 m<sup>2</sup>.

- **Pavilhão da Alemanha.** Destaca-se nesta construção uma cobertura aberta, em forma de “cogumelo” em tela, que se conjuga com um edifício de forma mais convencional, mas onde duas das fachadas são também realizadas em tela de Poliéster / PVC, num total de 15.000 m<sup>2</sup> de telas.

- **O Pavilhão da Inglaterra.** Este edifício também comportava telas na cobertura, mas não podendo ser considerada propriamente uma construção têxtil, mas uma construção em que os têxteis são usados como toldos na cobertura, sendo estruturas relativamente simples de tela plana simplesmente apoiada, funcionando como um sistema passivo para controlar os ganhos solares.

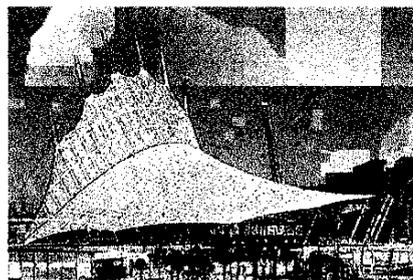


Fig. A1. Diadema. [cat. AKZO]



Fig. A2. Palenque [cat. AKZO]



Fig. A3. Avenida da Europa [cat. AKZO]



Fig. A4. Palco Real [cat. AKZO]

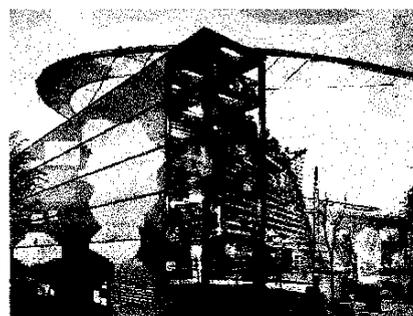


Fig. A5. Pavilhão da Alemanha [cat. AKZO]

• **O Pavilhão das Artes.** Uma estrutura espacial geodésica que funcionava como um exoesqueleto de suporte para uma tela têxtil, fixa através de peças de conexão especiais, e espaçadas regularmente na estrutura. Ao nível do tecto existia uma superestrutura de suporte técnico, que servia, tanto para equipamento de iluminação, como para fixação das divisórias interiores e apoio às molduras dos quadros e desenhos. O chão também albergava algumas infra-estruturas, especialmente as mais pesadas e volumosas, como as condutas de ar condicionado. No exterior, uma série de estruturas planas ligeiras, aleatoriamente colocadas, completavam o conjunto.

O Centro de Convenções de San Diego, (fig. A6.) foi projectado pelo Arquitecto Arthur Erikson e construído em 1989 na baía de San Diego. Horst Berger e a empresa Birdair foram contratados para acompanhar a construção. A tela é suportada por varões interiores, que neste caso não chegam ao chão mas encontram-se suspensos a 8,5 metros do solo,

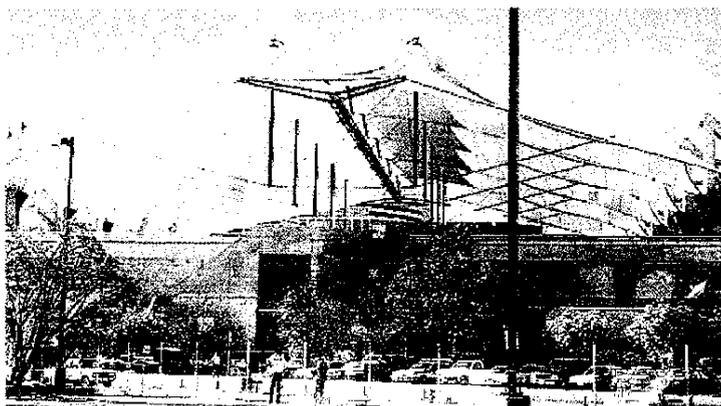


Fig. A6. O Centro de Convenções de San Diego. [32]

através dum sistema de cabos fixos a umas estruturas de betão laterais, trianguladas. O resultado é um vão totalmente livre, coberto por uma estrutura têxtil suspensa. Varões pintados de azul e cabos cobertos de plástico vermelho suspendem telas brancas, uma referência marítima. (fazendo lembrar um veleiro) [3]

Os ventos da baía criam correntes de ar ascendentes, o que levou Berger a utilizar os "contrafortes" de betão para ancorar, dum forma mais sólida, os cabos que seguram a tela. Os vértices da tela são criados pelo sistema metálico, em viga treliça, que se encontra suspenso ao centro das estruturas de betão laterais. A abertura no topo é resguardada por uma tela "descolada" da linha central da estrutura e permite a ventilação do recinto e a saída do ar quente, protegendo-o no entanto das águas da chuva. Também os topos da estrutura se encontram abertos, o que se torna tecnicamente possível pela existência dum viga metálica, suspensa entre as duas linhas de varões, que termina em V em ambos os topos. Como no Mitchell Center, esta viga treliça estica a tela, ao longo de todo o comprimento da estrutura, eliminando a necessidade dum suporte externo para conter as forças laterais nessa direcção e servindo também de suporte para projectores de luz e som. [3]

Numa ocasião, ondas sísmicas provocadas por um tremor de terra, que causaram desabamentos de telhados em alguns edifícios, não provocaram qualquer dano na estrutura. A tela é de fácil manutenção; até hoje ainda não houve necessidade de ser limpa, pois a chuva ocasional tem conseguido eliminar todas as sujidades que se acumulam na sua superfície. O recinto revela-se fresco no Verão e temperado durante o Inverno. Debaixo da tenda, o ruído de fundo, provocado pelas pessoas nas grandes convenções, é abafado. Tornou-se um ex-libris da cidade, identificando a cidade para os visitantes estrangeiros. O seu reflexo na água, durante a noite, dominando o perfil nocturno da linha costeira da cidade, promove essa identificação. [3]

## **16** O PAVILHÃO COMEMORATIVO DOS 700 ANOS DA FUNDAÇÃO DA SUÍÇA.

O arquitecto Mario Botta projectou uma cobertura têxtil itinerante para a comemoração dos 700 anos de fundação da Suíça. É uma estrutura prefabricada de desmontar, com a forma duma coroa, encimada por um anel que suporta 26 mastros com as bandeiras dos 26 cantões Suíços. [62] Para suportar a tela e o anel da coroa, existem 13 vigas metálicas em forma de arco, que fazem referência aos 13 cantões que na fundação compunham o país. Durante a montagem da estrutura, a coroa era fixa às vigas no chão e seguidamente erguida no ar por três macacos hidráulicos. As bases das vigas eram então fixas a fundações de betão e a estrutura ficava em equilíbrio. A última operação consistia na colocação da tela em Poliéster / PVC. Esta cobertura albergava um auditório com uma lotação de 1450 espectadores sentados e uma área coberta de 1500 m<sup>2</sup>. [8] Foi concebida para andar em itinerância por todos os cantões Suíços e para ser implantada, não num lugar específico, mas em vários sítios previamente estabelecidos, o que implicava um desafio interessante. [8] Além disso tinha o papel de estabelecer a ligação entre as várias comunidades, tendo por isso de ser consensual e ao mesmo tempo não causando um choque visual, especialmente quando se localizava em locais de interesse histórico. [8] O local mais interessante, e o mais divulgado, refere-se ao período em que esteve montada no Castelo de Belinzona.

## **17** AS "NUVENS" DO ARCO DE "LA DÉFENSE".

Sé há alguma construção que testemunhe perfeitamente a oposição intrínseca às estruturas têxteis entre o peso da "ancoragem" e a leveza das telas, é a estrutura das "nuvens" do Arco de La Défense em Paris, (fig. 3.50.) concebida pelo Arquitecto J. O. Von Spreckelsen como resultado de um concurso público internacional que este venceu. Nos seus esquissos iniciais, ele havia previsto uma estrutura em ferro e vidro, que flutuava entre os blocos laterais verticais do arco, suspensa por cabos. O peso duma estrutura deste tipo

viria a revelar-se excessivo para ficar suspenso e a possibilidade de existirem apoios no solo iria contra a intenção inicial. Por sugestão de Paul Andreu, arquitecto associado a Spreckelsen para o desenvolvimento e acompanhamento do projecto de execução, foi proposta uma estrutura têxtil. Esta solução revelou-se a única hipótese possível e ficou decidida muito pouco tempo antes da morte prematura e inesperada, de Spreckelsen, que já não terá assistido à finalização dos trabalhos. Para o desenho, foi pedida a colaboração de Peter Rice. [63] A forma do arco, as suas dimensões, a sua massa, permitem tratar sem problemas a questão muitas vezes complicada da ligação ao solo das forças de tracção. [18] A técnica e a expressão estão aqui em perfeita convergência com o edifício, a estrutura principal pesada a suportar a tela e a estrutura secundária ligeira suspensa. As "nuvens", explica Paul Andreu, "comportam-se como árvores à frente da fachada de um edifício. Elas dão densidade ao espaço, criam distâncias(...) trazem a monumentalidade abstracta do Grande Arco para a escala humana". [64]

O conjunto das "nuvens" foi previsto como compondo-se de duas partes; a que se desenvolve no meio do arco e é aqui apresentada e outra na avenida, que se situa em frente a este, que não foi construída até agora e ficará a cargo do EPAD (Établissement Public d'Aménagement de La Défense). [64] A estrutura têxtil sobre o arco desenvolve-se entre os quinze e os trinta e três metros de altura, em relação à base. Trata-se da mais complexa obra realizada pelo seu construtor, a empresa Viry, especializada em estruturas suspensas com base em aço de alta resistência. Peter Rice e o seu gabinete transpuseram inicialmente o desenho de Spreckelsen para execução, definindo o conjunto das telas, nós, cabos e fixações na forma de um pré-dimensionamento geral. [63] O construtor introduziu posteriormente as prescrições técnicas e os elementos previstos no caderno de encargos num complexo programa de CAD, de forma a estudar a concepção detalhada do conjunto e de cada elemento constitutivo, como tubos de aço de 15 cm de diâmetro, cabos que nalguns casos têm 10 cm de diâmetro, bielas, rótulas, nós e tela. Cada um destes elementos é pré-esforçado, inclusivamente as telas de fibra de vidro / Teflon. A grandiosa escala da obra é-nos transmitida pelas características dos seus componentes, nomeadamente dos seus nós principais, concebidos e fabricados pelo construtor e pesando cada um aproximadamente uma tonelada. Todos os nós funcionam também como rótulas (cardans), de modo a que toda a estrutura possa absorver as variações e movimentos produzidos pelos ventos. O pré-esforço realizado em todos os elementos criou uma estrutura estática, quase rígida, resultante da concepção teórica que lhe deu origem, mas também de aperfeiçoamentos, feitos através de CAD, que foram levados mesmo até à fase de montagem. Para apoio desta, foi utilizado um sistema de andaimes e gruas provisórios, através do qual se posicionaram todos os elementos constitutivos, começando pelos nós principais, de grande complexidade, pelas suas conexões multidireccionais. Uma vez colocados, foram sendo ligados pouco a pouco todos os restantes elementos componentes, no sentido descendente da estrutura. O estudo computadorizado e os cálculos permitiram o ajuste gradual da montagem, de modo a serem evitadas as sobrecargas e qualquer desequilíbrio temporário da estrutura. As formas resultam das exigências técnicas ligadas ao material, mas também, e sobretudo, às condições de

fixação. Para ser possível a utilização de cabos não protegidos contra o fogo, nas zonas próximas ao edifício, foi necessário criar uma estrutura hiperestática onde cada nó principal é ligado a este através de pontos de fixação muito distantes entre si, o que tornará improvável que estes possam todos ser, no espaço de tempo necessário à evacuação do edifício, simultaneamente rompidos pelo calor. [18] A outra estrutura, que vem completar o conjunto, ainda não realizada, está prevista para a avenida que antecede o arco e divide-se em dois volumes laterais, estabelecendo percursos paralelos que se elevam na direcção da escadaria principal, tendo o seu remate visual na "nuvem" já referida. Estas serão mais ligeiras e transparentes, de forma a criarem um efeito de "dégradé" no conjunto formado com a estrutura do cubo. [18]

A arquitectura utópica não é uma invenção recente, pois já nos finais do séc. XVIII, Étienne-Louis Boullée idealizava construções sem a intenção de serem construídas, mas comportarem-se como "manifestos" arquitectónicos, sendo o exemplo mais conhecido o do "Projecto para um Monumento a Isaac Newton" de 1784 [33]. A sua escala monumental inviabilizava à partida a sua construção, mas a imagem que as pinturas realizadas para a sua representação sugeriam, cumpria já a sua função de homenagem ao famoso físico visado.

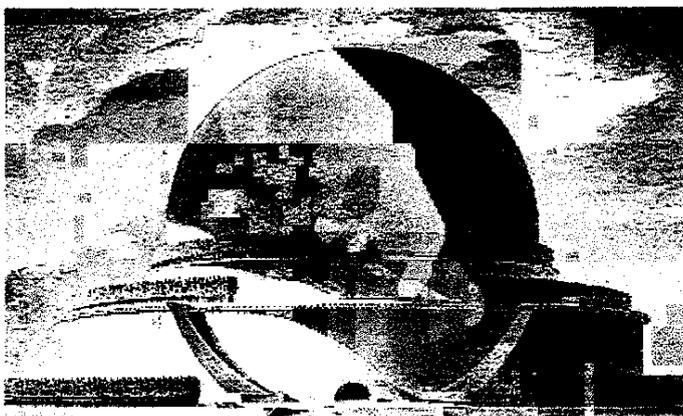


Fig. A6. Monumento a Isaac Newton. [32]

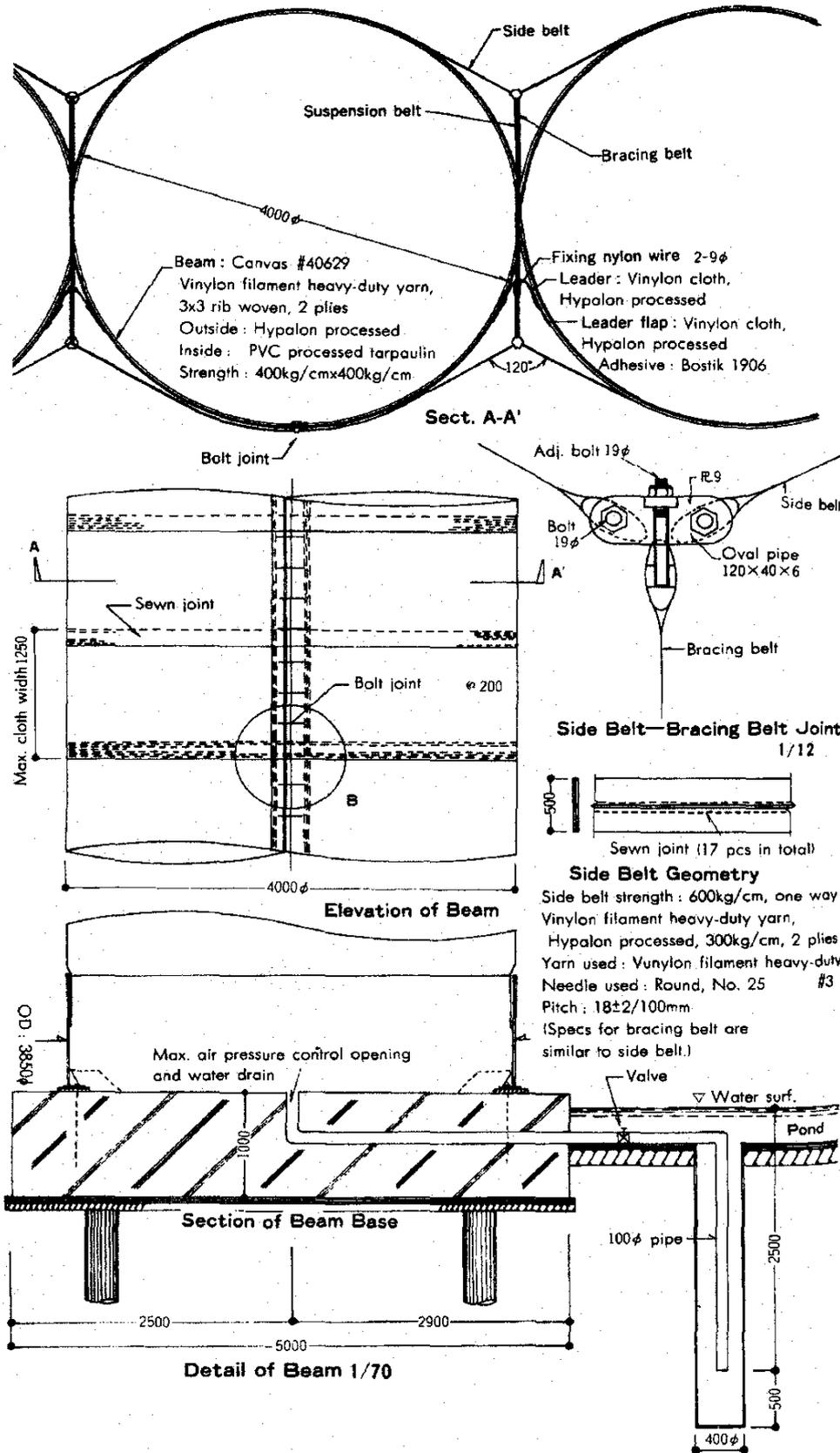


Fig. A7. Pavilhão da Fuji (detalhes constructivos). [32]

Nestas, utiliza-se um tecido ou uma malha de poliéster revestida a PVC, a qual pode ser “moldada” usando um sistema de tipo insuflável ou de tipo suspenso, servindo de cofragem perdida à casca de betão, tendo a tela neste caso também as funções estruturais e de protecção exterior, garantindo a estanquicidade. A forma é normalmente semi-esférica para o primeiro caso e de dupla curvatura no segundo caso, como a forma de sela. O processo de construção para as formas semi-esféricas e abobadadas, que têm tido uma especial implantação nos sectores agrícola e agro-alimentar, mas também em recintos de desporto e espectáculos (como por exemplo o Futuroscope de Poitiers), segue normalmente as fases aqui referidas, segundo A. Miravete [5]:

- Colocação de uma sapata de betão e de uma cinta no perímetro da construção e na qual são deixadas amarrações em aço.
- Fixação na periferia da cinta de betão da tela de Poliéster / PVC.
- A tela é insuflada através de um compressor.
- Projecção pelo interior da tela numa camada de 5 cm de poliuretano rígido.
- Colocação de uma malha metálica de armação.
- Projecção da camada de betão pelo interior.

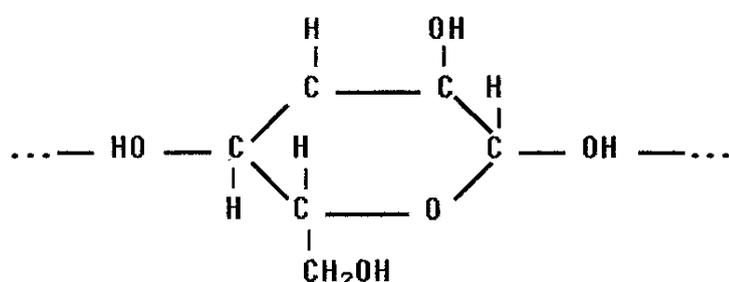
Pode também ser utilizada, para a realização deste tipo de solução, um sistema de secções pré-fabricadas, com a mesma composição, que são montadas em obra, em forma de “gomos”, para a realização de cúpulas, ou de “meia cana” para a realização de abóbadas. [5] As vantagens que se podem apontar às soluções deste tipo, relativamente às estruturas insufláveis normais e às estruturas de betão armado, são:

- Não serem necessárias amarrações tão pesadas, pois devido ao peso do betão há uma maior estabilidade face às sobrecargas provocadas pelo vento.
- A possibilidade de abrir aberturas, posteriormente à conclusão da estrutura sem necessidade de reforços.
- Melhor isolamento térmico e estanquicidade asseguradas pela membrana, protegendo também o betão e impedindo choques térmicos, a consequente fissuração e um ambiente interior mais confortável, do ponto de vista ambiental, e mais facilmente condicionado.

As desvantagens que se podem apontar são, uma menor resistência ao colapso face a sismos e à rotura devidas ao maior peso próprio e pouca elasticidade, em relação às coberturas têxteis tradicionais.

## O ALGODÃO

O algodão é uma fibra natural orgânica com um comprimento entre 16 e 40 mm. Quimicamente, é constituído por celulose pura, contendo uma pequena percentagem de impurezas que incluem: ceras naturais, pectina, matéria colorida e compostos de azoto. Estas impurezas são removidas por lavagem e branqueamento, feitos antes da tinturaria e do acabamento. As fibras do algodão ficam então constituídas por celulose pura, com a seguinte fórmula estrutural.[39]

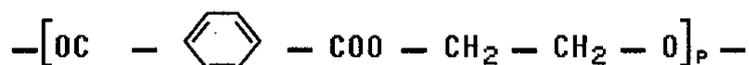


Nas fibras de algodão a celulose aparece em longas cadeias de moléculas unidas pelo grupo OH. Estas longas cadeias estão paralelamente dispostas nas fibras, formando uma espiral. Este arranjo estrutural espiralado, confere às fibras grande resistência à tracção. [39] Os tecidos de algodão têm uma resistência à tracção de 500 a 5000 Kg/m. O valor mais comum é de 3000 Kg/m [36]. O elevado número de hidróxidos (OH) presentes, é responsável pela grande capacidade de absorção de água, cerca de 50 % [39] e por essa razão os tecidos de algodão encolhem com a humidade. Em meio húmido e a cerca de 30 °C desenvolvem-se bolores e bactérias que degradam a cor e a resistência do algodão.[39] A durabilidade dos tecidos de algodão oscila entre 1 e 5 anos, dependendo do peso, protecção e clima a que se expõe. Os tecidos de algodão utilizados em construção têm normalmente um peso entre 150 a 1000 gr/m<sup>2</sup> e aos mais pesados chamam-se lonas. Devido às características anisotrópicas dos tecidos, a deformação à rotura é de 10 a 20 % na direcção da trama e de 15 a 25 % na direcção da teia. [36] Têm pouca elasticidade. A transparência varia consideravelmente se as fibras forem de distintas procedências, mesmo com igual peso específico e características de tecido, pelo que na montagem em obra deverá ter-se em atenção esse facto, quando houverem variações de lotes.

## O POLIÉSTER

O Poliéster é resultante da síntese de macromoléculas lineares cuja cadeia possui, pelo menos, 85 % (em massa) de unidades de éster derivado de um diol e do ácido tereftálico [39]:

Poli (tereftalato de etileno):



A menor resistência ao esforço de tracção do Poliéster, comparado com o Nylon, é compensado em muitas das aplicações pela sua maior rigidez. Possui uma grande estabilidade devida a uma fraca recuperação de humidade : 0,4 % a 25 °C, com 65 % de humidade relativa, pelo que os artigos com ele confeccionados possuem uma rápida secagem e uma dilatação pouco relevante. [39] As fibras do Poliéster, em bruto, são mais vulneráveis à degradação pelos ultravioleta do que as do Nylon, mas, quando revestidas, consegue-se uma protecção efectiva maior, pelo que dum ponto de vista prático é mais resistente à exposição solar. É a fibra actualmente mais utilizada nos tecidos de base que compõem as telas arquitectónicas.

## O VIDRO

A Fibra de Vidro é uma fibra inorgânica, elaborada a partir das matérias primas tradicionais necessárias para o fabrico do vidro: silicatos mistos (cálcio, borossilicatos de alumínio e magnésio) [39]. A estes constituintes de base, acrescentam-se, segundo os tipos de vidro, doses extremamente precisas de certos óxidos num conjunto a que se chama "composição". Triturada finamente e amassada até conseguir uma mistura homogénea, introduzida depois num forno de fusão, a composição passa progressivamente ao estado líquido, com o forno a uma temperatura de aproximadamente 1550 °C. Seguidamente, o vidro, mantido em fusão a 1250 °C, alimenta as fieiras, constituídas por placas em liga de platina e ródio, perfuradas por vários orifícios com um ou dois milímetros de diâmetro. À saída das fieiras, os fios de vidro são estirados mecânicamente a grande velocidade, até se obterem filamentos de 5 a 24 micras, conforme a aplicação. Seguidamente, antes de reunir a fibra para formar o fio de base, os filamentos são revestidos por uma solução aquosa de compostos lubrificantes, colantes e suavizantes, geralmente orgânicos (a ensimagem), assegurando a protecção da fibra contra a abrasão nos processos de fiação e tecelagem. [5]

A Fibra de Vidro é caracterizada pela sua grande resistência à tracção, um elevado módulo de elasticidade, mas pouca resistência à dobra, pela sua natureza "quebradiça". Uma das suas vantagens é não ser susceptível de deterioração face à exposição aos ultravioleta, o

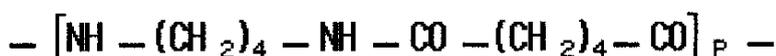


Têm um elevado módulo de elasticidade e não são atacadas por reagentes químicos. Em aplicações para construção, são comercializadas com os nomes de Kevlar e Nomex, mas são pouco utilizadas, devido essencialmente ao seu custo, já que as suas propriedades mecânicas são bastante interessantes, especialmente para a realização de cabos, alternativamente ao aço. Têm essencialmente tido aplicações na engenharia aeronáutica e em várias soluções que envolvem tecnologia de ponta associada à minimização do peso relativo à resistência, como certas actividades desportivas. Têm um elevado módulo de elasticidade e resistência à rotura, com mais elasticidade que a Fibra de Vidro, mas não tanta quanto o Poliéster ou o Nylon. [31] Na cobertura conversível do estádio de Montreal foi utilizado um tecido de Kevlar revestido a poliuretano e PVC, sendo o único exemplo que encontramos em bibliografia, duma cobertura de grande dimensão utilizando esta fibra numa tela.

## O NYLON

As fibras do Nylon são fibras poliamídicas obtidas por policondensação, em que duas substâncias iniciais se combinam por reacção química para constituir uma molécula grande, resultante da repetição do grupo amida, estando 85 % (em massa) desses grupos ligados a grupos alifáticos ou alicíclicos, obtendo-se uma macromolécula linear sintética, [39] como por exemplo:

Poli (hexametileno adipamida) – Poliamida 6.6



O Nylon tem uma resistência ligeiramente superior ao Poliéster, mas um módulo de elasticidade menor, o que implica um maior alongamento quando em esforço de tracção, provocando “folgas” na estrutura. Em tecidos de Nylon haverá que ter cuidado com as condições de humidade entre a marcação e o corte das peças, já que a variação das dimensões da fibra com a humidade, pode levar a diferenças significativas na montagem. A exposição aos raios ultravioleta deverá ser protegida através dum revestimento, já que o Nylon perde cerca de 80 % da sua resistência à tracção ao fim de 35 semanas de exposição solar [7]. A exposição à humidade pode também ser causa de alguma instabilidade estrutural da fibra e está provado que as perdas de resistência mecânica podem chegar a ser, durante, apenas um ano, de quase 80 %. Estes problemas levaram ao abandono na quase totalidade do Nylon em estruturas têxteis de grandes dimensões, pelo que a percentagem de telas em que este é utilizado é muito diminuta, especialmente se compararmos com a fibra mais utilizada, o Poliéster, que tem um custo e características mecânicas comparáveis.

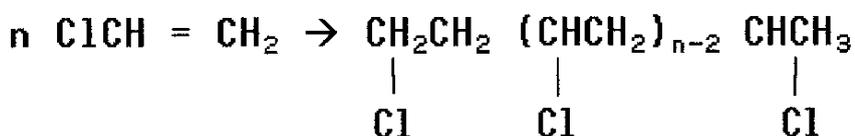
## O PTFE

O Politetrafluoretileno (PTFE) é um polímero normalmente utilizado como material de revestimento dos tecidos de Fibra de Vidro, mas já se encontra disponível no mercado um tecido realizado com fibras de PTFE expandido. Só está disponível um produto deste material, com a marca comercial de Tenara (ver tabela no Anexo B). Devido às suas especiais características de resistência à sujidade e a todos os factores ambientais, incluindo a água e a exposição solar, o tecido de PTFE não necessita de qualquer revestimento, apresentando-se como uma alternativa às telas de Fibra de Vidro e de Poliéster, já que combina perfeitamente as vantagens mecânicas e durabilidade das duas, eliminando as desvantagens. Mais precisamente, revela-se muito mais resistente à dobra do que a Fibra de Vidro / PTFE e com a durabilidade desta à exposição aos agentes atmosféricos, muito superior à tela de Poliéster / PVC. A sua flexibilidade, aliada à durabilidade, torna este material especialmente adequado para coberturas conversíveis e coberturas móveis de grande dimensão, mas com a desvantagem dum custo bastante elevado.

## **22**

## PVC

O Policloreto de Vinilo (PVC) é a designação química para um composto obtido por polimerização de moléculas de Cloreto de vinilo. O Cloreto de vinilo é industrialmente produzido pela reacção do ácido clorídrico com acetileno, ou a partir de ácido clorídrico e etileno, por adição desidrogenante em catalisadores especiais. O PVC é por natureza um polímero amorfo, cujas propriedades dependem de diferentes formulações específicas [5], mas pode simplificarmente ser representado pela seguinte fórmula geral:



Dada a sua versatilidade, é um dos polímeros mais utilizados, não só em construção civil, mas também em muitas outras áreas. O PVC em estado "puro", é uma substância sólida, de cor branca, e que a aproximadamente 90 °C se torna plástica, o que permite, quando misturada com estabilizantes, lubrificantes e pigmentos coloridos, dar lugar a formas e características muito diversas, obtidas por extrusão, por moldagem ou por injeção. A adição de estabilizantes permite que o aquecimento acima de 90 °C não provoque a decomposição do polímero e seja assim possível dar a este a forma pretendida. O

Policloreto de Vinilo admite outros aditivos, como por exemplo: plastificantes, elastificantes e diversos polímeros, que permitem assim, à temperatura ambiente, encontrá-lo como material rígido, mais ou menos flexível, ou quase como borracha; transparente, translúcido ou totalmente opaco; compacto ou em espuma; frágil ou tenaz; mate ou brilhante. “Em geral, podemos dizer que as suas propriedades mecânicas não são excelentes dentro da gama oferecida por outros polímeros, com a desvantagem de perder propriedades sob a acção de baixas temperaturas (a partir dos  $-10^{\circ}\text{C}$ ). A sua resistência química é boa, ainda que sensível a certos dissolventes (hidrocarbonos aromáticos e clorados, ésteres e cetejas) e apresenta um comportamento bastante satisfatório face aos agentes atmosféricos, incluindo as radiações solares, quando os aditivos utilizados após a polimerização são adequados para esse fim.” [5]

O PVC, associado à arquitectura têxtil, é normalmente em forma de revestimento flexível, caracterizado por ter no seu processo de fabrico a adição de plastificantes e elastificantes e podendo ser utilizado como uma película simples, quando não existam solicitações estruturais, como as que as grandes coberturas suspensas exigem. É assim admissível em pequenas construções ou em utilizações não estruturais, como em cenografia, onde são vulgarmente usadas em cicloramas e em projecção de cinema e vídeo. Para se obter a necessária resistência nas coberturas têxteis é normalmente associado ao PVC um tecido, neste caso o Poliéster. Em coberturas, o revestimento de PVC sobre o Poliéster pode revelar-se bastante translúcido, mas com a desvantagem de aumentar as perdas de resistência mecânica pela exposição aos raios ultravioleta do Poliéster. Além disso, retém alguma sujidade, pelo que se torna necessário uma limpeza regular das coberturas ou então um posterior tratamento de protecção para repelir as poeiras. [3] Um outro problema prende-se com a própria degradação química do PVC. Quando os componentes vinílicos se degradam, produz-se ácido clorídrico, que vai atacar o tecido de base quando este é o Nylon, já que no caso mais vulgar do Poliéster não há degradação.

## PTFE

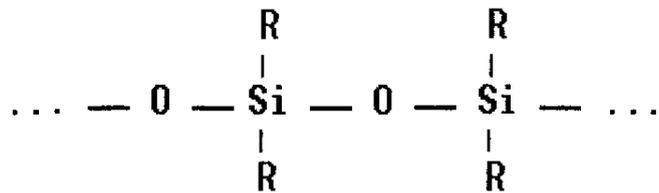
O Politetrafluoretileno (PTFE), é um polímero cuja cadeia está formada por unidades alifáticas fluorocarbonadas, [39] cuja marca comercial pelo qual é mais conhecido é o Teflon, sendo um polímero quimicamente inerte, muito resistente a baixas e altas temperaturas continuando inalterável em temperaturas variando desde os  $-73$  graus Celsius até aos  $232$  graus e pode ser representado pela seguinte fórmula:



Aparece sempre ligado a um tecido estrutural de Fibra de Vidro, com excepção do caso já mencionado, em que é transformado em fibra e tecido, deixando neste caso de ser um revestimento e passando a ter a função estrutural, sem necessidade de revestimento.

## SILICONE

As Silicones, ou Silicionas, são polímeros sintéticos, lineares ou reticulados de fórmula geral:



Em que **R** representa um radical orgânico, alifático ou aromático, tal como os grupos metil, fenil, etc. [39] São muito resistentes ao calor e ao ataque químico e têm aplicações diversas consoante a sua natureza;

- Em líquido (aditivos para tintas, fluidos hidrófobos).
- Pastosos (lubrificantes).
- Plásticos (vedantes, adesivos, revestimentos).
- Rígidos (como isolantes eléctricos).

Os utilizados nas telas arquitectónicas são de natureza plástica e normalmente são aplicados como revestimento protector para tecidos de Fibra de Vidro.

Craig Schwitter, da Buro Happold Consulting Engineers, de Bath, estudou e usou películas de ETFE e catalogou os seus atributos:

- Ao contrário de outras películas, as de ETFE são insensíveis aos raios ultravioletas. Ocorreu menos de 10% em perda de resistência do material, após um teste de exposição solar acelerada equivalente a 10.000 horas de exposição reais. Amostras expostas a condições naturais (no Arizona e em Bombaim), também tiveram um bom comportamento e o tempo de vida esperado para o material é de 25 a 50 anos. [3]
- As películas de ETFE são também resistentes à água e à maior parte dos poluentes químicos que se encontram vulgarmente no ar. [3]
- Têm uma grande resistência ao rasgo, ou seja, cedem a aproximadamente uma tensão de 3% e têm uma grande capacidade de alongamento antes da rotura (a 28 Newtons por milímetro quadrado), o que significa que os pequenos furos não se propagam.

Vector, um fabricante alemão, afirma que regra geral os balões em película podem suportar 75Kg por m<sup>2</sup>. [3]

- As películas de ETFE podem ser fabricadas com uma grande variedade de transparência (20-95% de transmissão). Pode ser aplicado pigmento de cor à película, durante o fabrico ou impressas tramas de pontos. [3]
- As películas ETFE passaram pelos ensaios de resistência ao fogo, tanto na Inglaterra como na Alemanha. O material é resistente às chamas e quando derrete não forma gotas quentes que poderiam cair sobre as pessoas debaixo dela, e provocar queimaduras. [3]
- As películas de ETFE têm finalmente um outro atractivo que é um custo de produção relativamente baixo. [3]

Todas as almofadas insufláveis de película são bons isolantes térmicos, especialmente quando formados por almofadas de 3 películas. As costuras, coladas a quente de modo a tornarem-se estanques são normalmente fixas a caixilhos de alumínio extrudido. A Buro Happold Consulting Engineers desenvolveu dois tipos de suporte para as almofadas: um caixilho rígido como uma janela normal e uma estrutura flexível de cabos suspensos que permite às almofadas moverem-se sobre as pressões do vento e as pressões térmicas. Em áreas onde os nevões podem ser grandes, finos cabos de aço podem suportar os painéis de película, que estão limitados em largura aos 3,6 m, mas podem ter mais de 15 m de comprimento. As películas de ETFE perdem força a cerca de 60 graus centígrados o que as torna desaconselhadas para climas extremamente quentes. [3]

Em 1992, a Buro Happold usou um sistema de almofada com caixilho rígido na cobertura do átrio do Westminster Chelsea Hospital, com uma nave central e quatro naves cruzadas - a estrutura tem cerca de 116 por 85 metros - e com vãos de 20 metros. Uma pressão de ar contínua foi injectada nas almofadas através dos perfis de alumínio. A maior almofada, com 3 por 4 metros foi insuflada a uma pressão baixa de 400 Pascal. Está actualmente a ser projectada uma cobertura flexível de 6000 m<sup>2</sup> de superfície para 10 campos de ténis com painéis de 3 por 18 metros. A rede de cabos é suportada por mastros e fixa ao solo. [3]

O Poliéster ou o Nylon, são materiais não inflamáveis, isto é, não produzem chama, mas são combustíveis, já que são destruídos, produzindo, no caso do Poliéster, fumos claros, que podem causar intoxicação nos seus ocupantes. O oxigénio une-se rapidamente com as moléculas do material inflamável, quando a temperatura interior da tela é elevada até à

temperatura de combustão da fibra, que no caso do Poliéster é de 485 a 560 °C. [r] O ponto de fusão da fibra de Poliéster (252 a 292 °C) [39] é muito menor que a sua temperatura de combustão, pelo que a perda total de propriedades mecânicas acontece antes da combustão, já que o Policloreto de Vinilo não protege o tecido de Poliéster e ainda tem o seu ponto de fusão a uma temperatura menor. (100 a 160 °C) Em condições normais, a temperatura de combustão destes polímeros apenas é atingida se o fogo for alimentado numa forma prolongada e contínua por uma fonte de combustão, já que antes de atingir a temperatura de combustão, pela natureza termoplástica o revestimento derrete e a tela tem tendência a não alimentar a chama.

## **25**

## **TRATAMENTOS IGNÍFUGOS.**

Os tratamentos ignífugos baseiam-se no retardamento ou limitação da combustão, pelo que têm especial indicação no caso do algodão, mas também no caso do Poliéster. No caso da Fibra de Vidro, a questão não se coloca, já que esta fibra é não combustível. As fibras proteicas (Lã e Pêlos) inflamam-se a temperaturas elevadas (cerca de 600 °C) e ardem lentamente, não mantendo a combustão, [39] pelo que também não são normalmente sujeitas a tratamentos ignífugos.

## **26**

## **ALGUMAS DEFINIÇÕES DE TÉRMICA.**

### **CALOR / TEMPERATURA.**

Por definição, calor é uma forma de energia que se desloca de um ponto a uma temperatura superior para outro ponto a uma temperatura inferior. [41] As unidades de medição da quantidade de calor são o Joule, no Sistema Internacional (Unidades SI) e o Btu (Sistema Britânico). Um Joule é a quantidade de energia necessária para aquecer 1°C, um litro de água. A medida de fluxo de calor em Unidades SI é em watts ( $W = \text{Joules por segundo}$ ). [41] O sentido do tacto diz-nos o quanto um objecto está quente ou frio, mas não a percepção rigorosa do grau de temperatura a que este se encontra. O sentido do tacto é mais influenciado pela rapidez com que os objectos conduzem calor para ou desde o corpo, do que pela verdadeira temperatura dos objectos. O aço parece mais frio que a madeira à mesma temperatura pois o calor dos dedos é conduzido mais rapidamente através do aço. [41]

Temperatura é a medida da intensidade de calor num determinado ponto e mede-se em graus Celsius (°C) (Unidades SI) ou em graus Fahrenheit (°F) (Sistema Britânico). O

diferencial de temperatura entre dois pontos indica um potencial para o calor se mover do ponto mais quente para o mais frio. A temperatura de termómetro seco (DB – dry bulb) de um gás ou de uma mistura de gases é realizada com um termómetro protegido de calor radiante e corresponde ao tipo de vulgar termómetro de parede de mercúrio. A temperatura de termómetro molhado (WB – wet bulb) é uma forma de exprimir a percentagem de humidade no ar. [41] A medição dessa percentagem pode ser feita através de um psicrómetro, aparelho que consiste em dois termómetros; um termómetro seco e num termómetro molhado. Numa versão simples deste aparelho, o termómetro molhado é semelhante ao termómetro seco, com excepção de que o globo, onde normalmente está mercúrio, é envolvido por um pano molhado. Quando os dois termómetros indicam a mesma temperatura (a medição neste caso é feita após serem agitados no ar em movimento pendular), significa que não existe evaporação e o ar já absorveu o máximo de vapor de água possível, pelo que a percentagem de humidade é 100%. Quanto maior for a diferença de temperatura, maior é a humidade relativa no ar. Mas a capacidade que o ar tem de absorver humidade depende da temperatura de termómetro seco e a capacidade de absorção aumenta com a temperatura. Pelo contrário, com o arrefecimento a quantidade de humidade que o ar consegue suportar diminui. A uma determinada temperatura o ar torna-se saturado, pelo que se dá a condensação. [41]

## EVAPORAÇÃO

A evaporação é exclusivamente um mecanismo de arrefecimento. As perdas por evaporação têm normalmente um papel insignificante no equilíbrio térmico do corpo a temperaturas baixas e médias, no entanto, em ambientes de temperatura elevada, elas tornam-se o factor predominante, pois as perdas radiante e por convecção mais dificilmente podem ocorrer. Quando a temperatura ambiente é de 21 °C, o corpo perde calor sensível, num grau que nos faz sentir conforto. [41] Quando a temperatura aumenta, passa a haver ganhos pela pele e a única forma de arrefecer é por evaporação, o que também sucede quando o metabolismo faz aumentar a temperatura do organismo, devido a uma actividade física importante. O grau de perda de calor por evaporação é determinado pelo potencial de evaporação do ar, que tem a ver não só com a percentagem de humidade relativa, mas especialmente com a circulação de ar existente. Enquanto a pele transpira, apenas a temperaturas moderadas e altas, as perdas por evaporação, pelas vias respiratórias e pulmões, ocorrem constantemente. Nós exalamos ar normalmente saturado (100% de humidade relativa) e mesmo em repouso o corpo gasta cerca de 30 W de calor, [41] para conseguir evaporar esta humidade. Como é necessária uma considerável quantidade de calor para converter água em vapor, as perdas de calor pela respiração, necessárias ao equilíbrio térmico, são grandes, pelo que a humidade relativa do ar é também um factor importante no conforto, além da temperatura.

## CALOR SENSÍVEL.

O calor sensível é uma expressão do grau de excitação molecular duma determinada massa. Essa excitação pode ser causada por diversas razões, tais como a exposição à radiação, a fricção, a reacção química ou o contacto com um objecto mais quente. Cada material tem uma propriedade que se chama a sua temperatura específica e que identifica o quanto a sua temperatura se modifica face a um determinado fluxo de calor sensível. [41] A transferência de calor sensível pode ser feita de três formas, por radiação, por convecção e por condução;

- Por radiação. Todos os corpos emitem radiação térmica e a troca de calor entre dois corpos faz-se em função da diferença de temperatura entre os dois corpos. Cada corpo, como a terra, uma parede, uma pessoa ou uma peça de mobiliário interagem com outro corpo em termos de radiação, quando directamente confrontados. Quando a radiação encontra um obstáculo à sua transmissão, uma de três coisas pode suceder; a radiação é transmitida, é reflectida ou absorvida. Normalmente, a resposta da radiação num material é uma combinação das três. As características de radiação dum material são determinadas pela sua temperatura, emissividade, absorptância, reflexividade e transmissibilidade. [41]

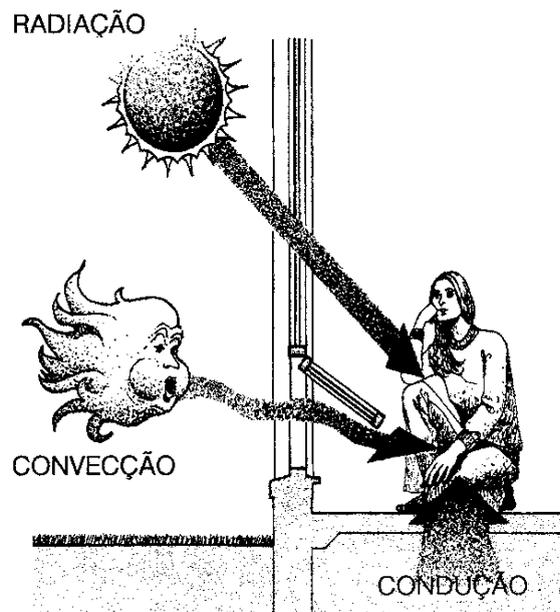


Fig. A8. Radiação, convecção, condução. [41]

- Por convecção. É um processo de transporte de calor que se faz através dum líquido ou de um gás. [41] A circulação de ar é fundamental para que haja transferência de calor de ou para o corpo humano, por convecção, pelo que quanto maior for a circulação de ar, mais rápidas são as trocas de calor. Um exemplo é o de um termoventilador, que com a mesma potência calorífica que um radiador nos produz uma maior sensação de calor em menos tempo.
- Por condução. É o processo pelo qual a excitação molecular se espalha por uma substância ou duma substância para outra por contacto directo. [41] No corpo humano, a condução pode traduzir-se em ganhos e perdas de calor pelo contacto com objectos mais frios ou mais quentes. Este contacto pode encontrar "barreiras", como a roupa, ou variar consoante a condutibilidade do material.

## CALOR LATENTE

O calor latente está associado à mudança de estado da matéria, por exemplo de sólido a líquido ou de líquido a gasoso (evaporação). O “calor latente de fusão” é o calor necessário para uma matéria passar de estado sólido a líquido e o “calor latente de evaporação” é o necessário à passagem de estado líquido a gasoso. [41] A libertação de calor latente dá-se nas mudanças de estado inversas, ou seja na solidificação e na condensação. O aproveitamento desta propriedade de certos materiais, como a água, pode ser utilizado em termos de soluções passivas de regulação térmica, como os painéis de PCMs. (Phase Change Materials) A utilização de água em coberturas térmicas é um bom exemplo do aproveitamento destas propriedades, pois a evaporação provoca o arrefecimento da cobertura exposta ao sol.

## ENTALPIA

Entalpia é a soma do calor sensível e latente duma substância. Por exemplo, o ar húmido consiste numa mistura de ar e vapor de água. Se o valor total do conteúdo de calor ou entalpia do ar é conhecido e a entalpia das condições de conforto desejado também é conhecida, a diferença entre os dois representa o calor que deve ser introduzido ou removido (por aquecimento / arrefecimento e / ou humedificação / desumidificação). [41]

“As fontes de energia de que actualmente dispomos são basicamente: solar, geotérmica, combustíveis fósseis, forças cinéticas naturais e fusão nuclear. A energia solar representa a maior percentagem do total de energia disponível (se a considerarmos também como fonte indirecta em outras formas de energia). A energia eólica, a madeira em lenha, o álcool (obtido da biomassa) e a energia hidráulica (das marés e cursos de água) são todas formas indirectas de energia solar e são consideradas renováveis, porque estão continuamente disponíveis ou pelo menos em ciclos relativamente regulares e por isso nunca se esgotam definitivamente, se forem geridos os recursos (no caso da madeira e biomassa)” [41]. A energia nuclear pode também ser considerada uma fonte de energia inesgotável, se bem que os riscos associados à sua exploração, coloquem reservas quanto à sua utilização.

Historicamente, os tipos de energia dominantes têm-se alterado. Inicialmente, o homem dependia exclusivamente de energias renováveis, o sol directamente para iluminação e aquecimento, a lenha para aquecimento e também para cozinhar. Técnicas mais elaboradas trouxeram o aproveitamento da energia eólica para o transporte, no caso dos veleiros ou para a moagem dos cereais, função para a qual também era utilizada a energia hidráulica. Antes do século XIX, a madeira era utilizada para a maior parte das necessidades de energia combustível. Com a revolução industrial, o carvão passou a ser a fonte de energia transformada dominante, o que marcou o início da era das energias não renováveis. Em 1950 já o petróleo e o gás natural eram as fontes de energia transformadas predominantes (se considerarmos a iluminação e o aquecimento solares como energias não transformadas ou directas). A principal vantagem da utilização “transformada” das energias, nomeadamente em termos de conversão em electricidade ou em motores de explosão, reside no facto do uso poder ser independente dos factores naturais, como por exemplo poder existir iluminação artificial durante a noite. Os combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural, são também energia solar indirecta, recolhida e guardada durante milhões de anos. [41] Mas uma vez extraídas e gastas na sua totalidade, levarão o mesmo tempo a ser substituídas, o que torna impossível a sua renovação para nossa utilização em tempo útil. São consideradas por isso, fontes não renováveis de energia.

# A N E X O

## TABELAS DE CARACTERÍSTICAS DAS TELAS ARQUITECTÓNICAS

| Características da Tela                       | 1                      | 2                       | 3                      | 4                    |
|---|------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| Tipo de fibra do tecido                       | Fibra acrílica         | Fibra modacrílica       | Poliéster              | Poliéster            |
| Revestimento                                  | Resina                 | Resina                  | Acrílico               | Vinilo               |
| Sobre-revestimento                            | -                      | -                       | -                      | Acrílico e PVDF      |
| Fabricante                                    | Glen Raven Mills       | Glen Raven Mills        | Marchem Coated Fabrics | Erez Thermoplastic   |
| <b>Nome comercial</b>                         | <b>Sunbrella</b>       | <b>Sunbrella Firest</b> | <b>Odyssey IV</b>      | <b>Air Tite 1520</b> |
| Largura útil (mm)                             | 1170-1520              | 1520                    | 1625                   | 1800-1850            |
| Peso total (g/m <sup>2</sup> )                | 314                    | 314                     | 254                    | 990                  |
| Espessura total (mm)                          | -                      | -                       | -                      | 1,8                  |
| Comportamento ao fogo                         | Inflamável             | M2 - não inflamável     | M2 - não inflamável    | M2 - não inflamável  |
| Vida útil                                     | 5 a 10 anos            | 5 a 10 anos             | 3 anos                 | mais de 10 anos      |
| Garantia do fabricante                        | 5 anos                 | 5 anos                  | Não                    | 10 anos              |
| Tipo de tecido                                | Tafetá                 | Tafetá                  | Tafetá                 | Welt insertion       |
| Densidade (teia/trama)-t.p.cm                 | 29,5,29,5              | 29,5,29,5               | 23,19                  | 47,74                |
| Peso do tecido (g/m <sup>2</sup> )            | 314                    | 314                     | 159                    | 270                  |
| Peso do revestimento (g/m <sup>2</sup> )      | -                      | -                       | 95                     | 360-330 (sup/inf)    |
| Junta recomendada (classe de costura)         | LS a-1                 | LS a-1                  | -                      | -                    |
| Método de costura                             | Termocolagem / costura | Termocolagem / costura  | -                      | -                    |
| <b>Propriedades estruturais</b>               |                        |                         |                        |                      |
| Resistência ao rasgo (N/cm)                   |                        |                         |                        |                      |
| Teste tipo "Lingua" (teia/trama)              | -                      | -                       | 23,19,5                | 587,472              |
| Teste trapezoidal (teia/trama)                | 80,80                  | 80,80                   | 62,53                  | 214,231              |
| Resistência à tração (N/cm)                   |                        |                         |                        |                      |
| Teste da tira (teia/trama)                    | -                      | -                       | -                      | 783,721              |
| Teste "Grab" (teia/trama)                     | 418,418                | 418,418                 | 534,445                | 1175,1104            |
| Resistência hidrostática (N/cm <sup>2</sup> ) | 255                    | 255                     | 0,6895                 | -                    |
| Aderência (N/cm)                              | 62                     | 62                      | -                      | 27                   |
| <b>Propriedades não estruturais</b>           |                        |                         |                        |                      |
| <b>Características de luminosidade</b>        |                        |                         |                        |                      |
| Transmissão %                                 | -                      | -                       | -                      | 8 a 11               |
| Reflectância %                                | -                      | -                       | -                      | -                    |
| Absorção %                                    | -                      | -                       | -                      | -                    |

|   | 5                           | 6                            | 7                           | 8                            |
|---|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| <b>Características da Tela</b>                |                             |                              |                             |                              |
| Tipo de fibra do tecido                       | Poliéster                   | Poliéster                    | Poliéster                   | Poliéster                    |
| Revestimento                                  | Laminado vinílico           | Laminado vinílico            | Laminado vinílico           | Laminado vinílico            |
| Sobre-revestimento                            | -                           | -                            | -                           | -                            |
| Fabricante                                    | Pacific Combining           | Pacific Combining            | Pacific Combining           | Pacific Combining            |
| <b>Nome comercial</b>                         | <b>Pacifitex 1009-cores</b> | <b>Pacifitex 1409-branco</b> | <b>Pacifitex 1409-cores</b> | <b>Pacifitex 1440-branco</b> |
| Largura útil (mm)                             | 1371-1829                   | 1371-1829                    | 1371-1829                   | 1371-1829                    |
| Peso total (g/m <sup>2</sup> )                | 373                         | 576                          | 508                         | 627                          |
| Espessura total (mm)                          | 0,33                        | 0,43                         | 0,48                        | 0,51                         |
| Comportamento ao fogo                         | M2 - não inflamável         | M2 - não inflamável          | M2 - não inflamável         | M2 - não inflamável          |
| Vida útil                                     | 5 anos                      | 5 anos                       | 5 anos                      | 5 anos                       |
| Garantia do fabricante                        | Não                         | Não                          | Não                         | Não                          |
| Tipo de tecido                                | Malha                       | Malha                        | Malha                       | Taftetá                      |
| Densidade (teia/trama)-1 p.cm                 | 3,5,3,5                     | 3,5,3,5                      | 3,5,3,5                     | 5,5                          |
| Peso do tecido (g/m <sup>2</sup> )            | 49                          | 90                           | 90                          | 132                          |
| Peso do revestimento (g/m <sup>2</sup> )      | 162+162                     | 243+243                      | 209+209                     | 224+224                      |
| Junta recomendada (classe de costura)         | LS a-1                      | LS a-1                       | LS a-1                      | LS a-1                       |
| Método de costura                             | Termocolagem                | Termocolagem                 | Termocolagem                | Termocolagem                 |
| <b>Propriedades estruturais</b>               |                             |                              |                             |                              |
| Resistência ao rasgo (N/cm)                   |                             |                              |                             |                              |
| Teste tipo "Lingua" (teia/trama)              | 71,77                       | 151,166                      | 160,183                     | 199,201                      |
| Teste trapezoidal (teia/trama)                | -                           | -                            | -                           | -                            |
| Resistência à tração (N/cm)                   |                             |                              |                             |                              |
| Teste da tira (teia/trama)                    | -                           | -                            | -                           | -                            |
| Teste "Grab" (teia/trama)                     | 224,206                     | 420,365                      | 406,361                     | 536,532                      |
| Resistência hidrostática (N/cm <sup>2</sup> ) | 124                         | 252                          | 210                         | 350                          |
| Aderência (N/cm)                              | 18                          | 25                           | 25                          | 23                           |
| <b>Propriedades não estruturais</b>           |                             |                              |                             |                              |
| <b>Características de luminosidade</b>        |                             |                              |                             |                              |
| Transmissão %                                 | -                           | -                            | -                           | -                            |
| Reflectância %                                | -                           | -                            | -                           | -                            |
| Absorção %                                    | -                           | -                            | -                           | -                            |

| Características da Tela                       |  | 9                   | 10                        | 11                        | 12                        |
|---|--|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Tipo de fibra do tecido                       |  | Poliéster           | Poliéster                 | Poliéster                 | Poliéster                 |
| Revestimento                                  |  | Vinilo              | Vinilo                    | Vinilo                    | Vinilo                    |
| Sobre-revestimento                            |  | -                   | -                         | Fluctop S                 | Fluctop T - PVDF          |
| Fabricante                                    |  | Ferrari             | Ferrari                   | Ferrari                   | Ferrari                   |
| Nome comercial                                |  | Precostrant 392     | Precostrant 702           | Precostrant 1002          | Precostrant 1502          |
| Largura útil (mm)                             |  | 1800                | 1800                      | -                         | -                         |
| Peso total (g/m <sup>2</sup> )                |  | 848                 | 750                       | 1051                      | 1246                      |
| Espessura total (mm)                          |  | -                   | -                         | -                         | -                         |
| Compartimento ao fogo                         |  | M2 - não inflamável | M2 - não inflamável       | M2 - não inflamável       | M2 - não inflamável       |
| Vida útil                                     |  | -                   | -                         | -                         | -                         |
| Garantia do fabricante                        |  | Negociável          | Negociável                | Negociável                | Negociável                |
| Tipo de tecido                                |  | Tecido "mesh"       | Tafetá                    | -                         | -                         |
| Densidade (teia/trama) l.p.cm                 |  | -                   | 9,9                       | -                         | -                         |
| Peso do tecido (g/m <sup>2</sup> )            |  | -                   | -                         | -                         | -                         |
| Peso do revestimento (g/m <sup>2</sup> )      |  | -                   | -                         | -                         | -                         |
| Junta recomendada (classe de costura)         |  | -                   | LS a-1                    | LS a-1                    | LS a-1                    |
| Método de costura                             |  | -                   | Solda por alta frequência | Solda por alta frequência | Solda por alta frequência |
| <b>Propriedades estruturais</b>               |  |                     |                           |                           |                           |
| Resistência ao rasgo (N/cm)                   |  |                     |                           |                           |                           |
| Teste tipo "Língua" (teia/trama)              |  | -                   | -                         | -                         | -                         |
| Teste trapezoidal (teia/trama)                |  | 153,150.            | 94,68                     | 131,130.                  | 279,270.                  |
| Resistência à tração (N/cm)                   |  |                     |                           |                           |                           |
| Teste da tira (teia/trama)                    |  | 552,641             | 570,507                   | 783,774                   | 1632,1479                 |
| Teste "Grab" (teia/trama)                     |  | -                   | 792,763                   | 1308,1255                 | 2314,2136                 |
| Resistência hidrostática (N/cm <sup>2</sup> ) |  | -                   | -                         | -                         | -                         |
| Aderência (N/cm)                              |  | 16                  | 20                        | 23                        | -                         |
| <b>Propriedades não estruturais</b>           |  |                     |                           |                           |                           |
| Características de luminosidade               |  |                     |                           |                           |                           |
| Transmissão %                                 |  | 26                  | -                         | -                         | -                         |
| Reflectância %                                |  | 59                  | -                         | -                         | -                         |
| Absorção %                                    |  | 15                  | -                         | -                         | -                         |

| Características da Tela                      | 13                  | 14                  | 15                  | 16                  |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Tipo de fibra do tecido                      | Poliéster           | Poliéster           | Poliéster           | Poliéster           |
| Revestimento                                 | PVC                 | PVC                 | PVC                 | PVC                 |
| Sobre-revestimento                           | -                   | -                   | -                   | Fluorex P - PVDF    |
| Fabricante                                   | Duracote            | Duracote            | Meridian Mtg.       | Meridian Mtg.       |
| Nome comercial                               | Awntop 6022         | Awntop 6111         | Canopy              | Canopy Plus         |
| Largura útil (mm)                            | 1550                | 1550                | 1550                | 1550                |
| Peso total (g/m <sup>2</sup> )               | 576                 | 440                 | 610                 | 610                 |
| Espessura total (mm)                         | -                   | -                   | -                   | -                   |
| Comportamento ao fogo                        | M2 - não inflamável |
| Vida útil                                    | -                   | -                   | -                   | -                   |
| Garantia do fabricante                       | Não                 | Não                 | Não                 | Não                 |
| Tipo de tecido                               | Weft Inserted       | Weft Inserted       | Weft Inserted       | Weft Inserted       |
| Densidade (teia/trama) l.p.cm                | 3,5,3,5             | 3,5,3,5             | 7,7                 | 7,7                 |
| Peso do tecido (g/m <sup>2</sup> )           | 92                  | 92                  | 108                 | 108                 |
| Peso do revestimento (g/m <sup>2</sup> )     | 242+242             | 174+174             | 251+251             | 251+151             |
| Junta recomendada (classe de costura)        | LS a-1              | LS a-1              | -                   | -                   |
| Método de costura                            | Termocolagem        | Termocolagem        | -                   | -                   |
| <b>Propriedades estruturais</b>              |                     |                     |                     |                     |
| Resistência ao rasgo (N/cm)                  |                     |                     |                     |                     |
| Teste tipo "Lingua" (teia/trama)             | 178,187             | 178,187             | -                   | -                   |
| Teste trapezoidal (teia/trama)               | -                   | -                   | 80,80               | 80,80               |
| Resistência a tracção (N/cm)                 |                     |                     |                     |                     |
| Teste da tira (teia/trama)                   | 260,230             | 260,230             | -                   | -                   |
| Teste "Grab" (teia/trama)                    | 445,400             | 445,400             | 418,418             | 418,418             |
| Resistência hidrotática (N/cm <sup>2</sup> ) | 255                 | 255                 | 255                 | 255                 |
| Aderência (N/cm)                             | 17,5                | 17,5                | 62                  | 62                  |
| <b>Propriedades não estruturais</b>          |                     |                     |                     |                     |
| <b>Características de luminosidade</b>       |                     |                     |                     |                     |
| Transmissão %                                | -                   | -                   | -                   | -                   |
| Reflectância %                               | -                   | -                   | -                   | -                   |
| Absorção %                                   | -                   | -                   | -                   | -                   |

|   |                     |                     |                      |                      |
|---|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Características da Tela                       | 17                  | 18                  | 19                   | 20                   |
| Tipo de fibra do tecido                       | Poliéster           | Poliéster           | Fibra de Vidro       | Fibra de Vidro       |
| Revestimento                                  | PVC                 | PVC                 | PTFE                 | PTFE                 |
| Sobre-revestimento                            | -                   | -                   | -                    | -                    |
| Fabricante                                    | Meridian Mfg.       | Meridian Mfg.       | Chemfab              | Chemfab              |
| Nome comercial                                | Showtime            | Showtime II         | Fabrosorb I          | Fabrosorb II         |
| Largura útil (mm)                             | 1550                | 1550                | 3810                 | 3810                 |
| Peso total (g/m <sup>2</sup> )                | 475                 | 441                 | 475                  | 288                  |
| Espessura total (mm)                          | 0,46                | 0,28                | 0,35                 | 0,23                 |
| Comportamento ao fogo                         | M2 - não inflamável | M2 - não inflamável | M0 - não combustível | M0 - não combustível |
| Vida útil                                     | -                   | -                   | mais de 25 anos      | mais de 25 anos      |
| Garantia do fabricante                        | -                   | -                   | Variável             | Variável             |
| Tipo de tecido                                | Tafetá              | Weft Inserted       | Tafetá               | Tafetá               |
| Densidade (teia/trama) - l p cm               | 5,5                 | 3,5,3,5             | 12,5,9               | 16,5,12,5            |
| Peso do tecido (g/m <sup>2</sup> )            | 119                 | 85                  | 305                  | 202                  |
| Peso do revestimento (g/m <sup>2</sup> )      | 178+178             | 178+178             | 85+85                | 43+43                |
| Junta recomendada (classe de costura)         | -                   | -                   | LS a-1               | LS a-1               |
| Método de costura                             | -                   | -                   | Termocolagem         | Termocolagem         |
| <b>Propriedades estruturais</b>               |                     |                     |                      |                      |
| Resistência ao rasgo (N/cm)                   |                     |                     |                      |                      |
| Teste tipo "Lingua" (teia/trama)              | 178,169             | -                   | -                    | -                    |
| Teste trapezoidal (teia/trama)                | -                   | 80,80,              | 53,36                | 30,32                |
| Resistência à tração (N/cm)                   |                     |                     |                      |                      |
| Teste da tira (teia/trama)                    | -                   | -                   | 632,607              | 374,32               |
| Teste "Grab" (teia/trama)                     | 525,525             | 374,347             | -                    | -                    |
| Resistência hidrostática (N/cm <sup>2</sup> ) | 362                 | 248                 | -                    | -                    |
| Aderência (N/cm)                              | 30                  | 20                  | 11                   | 5,5                  |
| <b>Propriedades não estruturais</b>           |                     |                     |                      |                      |
| <b>Características de luminosidade</b>        |                     |                     |                      |                      |
| Transmissão %                                 | -                   | -                   | 24,5                 | 29                   |
| Reflectância %                                | -                   | -                   | 65                   | 65                   |
| Absorção %                                    | -                   | -                   | 10,5                 | 6                    |

| Características da Tela                       | 21                   | 22                    | 23                    | 24                   |
|---|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Tipo de fibra do tecido                       | Fibra de Vidro       | Fibra de Vidro        | Fibra de Vidro        | Fibra de Vidro       |
| Revestimento                                  | PTFE                 | PTFE                  | PTFE                  | PTFE                 |
| Sobre-revestimento                            | -                    | -                     | -                     | -                    |
| Fabricante                                    | Chemfab              | Chemfab               | Chemfab               | Chemfab              |
| <b>Nome comercial</b>                         | <b>Shearfill I</b>   | <b>Shearfill II A</b> | <b>Shearfill IV A</b> | <b>Shearfill V</b>   |
| Largura útil (mm)                             | 3810                 | 3810                  | 3810                  | 3810                 |
| Peso total (g/m <sup>2</sup> )                | 1526                 | 1289                  | 814                   | 983                  |
| Espessura total (mm)                          | 0,9                  | 0,7                   | 0,45                  | 0,55                 |
| Comportamento ao fogo                         | M0 - não combustível | M0 - não combustível  | M0 - não combustível  | M0 - não combustível |
| Vida útil                                     | mais de 25 anos      | mais de 25 anos       | mais de 25 anos       | mais de 25 anos      |
| Garantia do fabricante                        | Variável             | Variável              | Variável              | Variável             |
| Tipo de tecido                                | Tafetá               | Tafetá                | Tafetá                | Tafetá               |
| Densidade (tela/trama)-l.p.cm                 | 7,7,5                | 8,8                   | 12,5,9                | 12,5,9               |
| Peso do tecido (g/m <sup>2</sup> )            | 610                  | 441                   | 305                   | 356                  |
| Peso do revestimento (g/m <sup>2</sup> )      | 458+458              | 424+424               | 254+254               | 322+322              |
| Junta recomendada (classe de costura)         | LS a-1               | LS a-1                | LS a-1                | LS a-1               |
| Método de costura                             | Termocolagem         | Termocolagem          | Termocolagem          | Termocolagem         |
| <b>Propriedades estruturais</b>               |                      |                       |                       |                      |
| Resistência ao rasgo (N/cm)                   |                      |                       |                       |                      |
| Teste tipo "Lingua" (tela/trama)              | -                    | -                     | -                     | -                    |
| Teste trapezoidal (tela/trama)                | 425,536              | 268,313               | 155,155               | 155,265              |
| Resistência à tração (N/cm)                   |                      |                       |                       |                      |
| Teste da tra (tela/trama)                     | 1736,1602            | 1139,1139             | 910,665               | 910,1033             |
| Teste "Grab" (tela/trama)                     | -                    | -                     | -                     | -                    |
| Resistência hidrostática (N/cm <sup>2</sup> ) | -                    | -                     | -                     | -                    |
| Aderência (N/cm)                              | 29                   | 22                    | 12                    | 12                   |
| <b>Propriedades não estruturais</b>           |                      |                       |                       |                      |
| <b>Características de luminosidade</b>        |                      |                       |                       |                      |
| Transmissão %                                 | 7 ou 11              | 16,5                  | 22                    | 17,5                 |
| Reflectância %                                | 74 ou 72             | 71,5                  | 70                    | 72,5                 |
| Absorção %                                    | 19 ou 17             | 12                    | 8                     | 10                   |

| Características da Tela                       | 25                   | 26                   | 27                   | 28                  |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Tipo de fibra do tecido                       | Fibra de Vidro       | Fibra de Vidro       | Fibra de Vidro       | PTFE expandido      |
| Revestimento                                  | Silicone             | Silicone             | Silicone             | PTFE expandido      |
| Sobre-revestimento                            | -                    | -                    | -                    | -                   |
| Fabricante                                    | DCI                  | DCI                  | DCI                  | W.L.Gore & Assoc.   |
| Nome comercial                                | Softglass 200        | Softglass 500        | Softglass 600        | Temara              |
| Largura útil (mm)                             | 1470                 | 1470                 | 1470                 | 3990                |
| Peso total (g/m <sup>2</sup> )                | 550                  | 880                  | 1220                 | 522                 |
| Espessura total (mm)                          | 0,3                  | 0,5                  | 0,9                  | 0,35                |
| Comportamento ao fogo                         | M0 - não combustível | M0 - não combustível | M0 - não combustível | M2 - não inflamável |
| Vida útil                                     | mais de 25 anos      | mais de 25 anos      | mais de 25 anos      | mais de 20 anos     |
| Garantia do fabricante                        | 10/15 anos           | 15/20 anos           | 20 anos              | Não                 |
| Tipo de tecido                                | Taftá                | Taftá                | Taftá "2 end"        | 3x1 twill           |
| Densidade (teia/trama) l.p.cm                 | 7,5,8,5              | 11,8                 | 10,5,5,5             | 26,26               |
| Peso do tecido (g/m <sup>2</sup> )            | 250                  | 400                  | 610                  | 522                 |
| Peso do revestimento (g/m <sup>2</sup> )      | 150+150              | 240+240              | 305+305              | -                   |
| Junta recomendada (classe de costura)         | LS a-1               | LS a-1               | LS a-1               | Variável            |
| Método de costura                             | Solda química        | Solda química        | Solda química        | Costura de linha    |
| <b>Propriedades estruturais</b>               |                      |                      |                      |                     |
| Resistência ao rasgo (N/cm)                   |                      |                      |                      |                     |
| Teste tipo "Língua" (teia/trama)              | -                    | -                    | -                    | -                   |
| Teste trapezoidal (teia/trama)                | 110,135              | 135,135              | 250,310              | -                   |
| Resistência à tração (N/cm)                   |                      |                      |                      |                     |
| Teste da tira (teia/trama)                    | 1750,1750            | 4400,3700            | 5700,5000            | -                   |
| Teste "Grab" (teia/trama)                     | -                    | -                    | -                    | 673,685             |
| Resistência hidrostática (N/cm <sup>2</sup> ) | -                    | -                    | -                    | -                   |
| Aderência (N/cm)                              | -                    | 130                  | 130                  | -                   |
| <b>Propriedades não estruturais</b>           |                      |                      |                      |                     |
| <b>Características de luminosidade</b>        |                      |                      |                      |                     |
| Transmissão %                                 | 32                   | 25                   | 18                   | 20                  |
| Reflectância %                                | 54                   | 60                   | 65                   | 76                  |
| Absorção %                                    | 14                   | 15                   | 17                   | 4                   |