CAPÍTULO 4

DISPOSITIVOS EXPERIMENTAIS

Descrevem-se os Dispositivos Experimentais usados nos trabalhos realizados, destacando a câmara climática, o túnel aerodinâmico e o manequim térmico por se tratarem de meios de investigação de reconhecida relevância. Apresenta-se de forma também pormenorizada o mecanismo inovador que reproduz no manequim térmico os movimentos de marcha, neste caso por ter sido desenvolvido no âmbito da presente dissertação. Refere-se ainda o equipamento de medição das grandezas ambientais e fisiológicas necessário aos trabalhos laboratoriais e de campo.

4.1. INTRODUÇÃO

Nas várias abordagens experimentais conducentes à presente dissertação foi necessário recorrer a diversos equipamentos, alguns de reconhecida complexidade técnica. Na estrutura desta obra, a utilização destes dispositivos está associada a diversos capítulos pelo que a sua apresentação onde são feitos os correspondentes desenvolvimentos experimentais traduzir-se-ia numa certa repetição da estrutura textual e numa duplicação das referências aos equipamentos que suportam várias componentes. Pelas razões expostas, entendeu-se que a inclusão deste capítulo exclusivamente dedicado aos dispositivos experimentais resultaria numa estrutura mais simples, sem prejuízo de conteúdo e clareza.

Assim, as descrições dos equipamentos utilizados são resumidas nas secções que se seguem. Os dispositivos mais importantes e que constituem meios de investigação avançada que se revelaram fundamentais para os estudos efectuados, como a câmara climática e o manequim térmico, são naturalmente objecto de uma maior relevância, traduzida numa descrição mais alongada. Dá-se igualmente relevo ao mecanismo que reproduz os

movimentos de passada no manequim térmico, não só por ter sido desenvolvido no âmbito da presente contribuição, mas também porque se julga merecedor de uma nota destaque.

4.2. CÂMARA CLIMÁTICA

A Câmara Climática (CC) (*vd*. Figura 4.1) é um equipamento que possibilita a avaliação da eficiência de soluções tecnológicas já existentes ou a desenvolver, destinadas à melhoria das condições de trabalho condicionadas pelos efeitos do ambiente térmico. O projecto desta instalação experimental iniciou-se em 1995, no âmbito da dissertação de Mestrado de Pina Amaral, e contou com colaboração e acompanhamento do Prof. Peder Kjerulf-Jensen da Universidade Técnica da Dinamarca, investigador com larga experiência na concepção deste tipo de equipamento. A motivação dominante da sua construção residiu na necessidade de dispor de um instrumento de investigação sofisticado, capaz de simular a exposição de seres humanos a ambientes térmicos característicos de diversos locais de trabalho, incluindo o estudo de situações transitórias, com exposições alternadas a ambientes muito diferenciados (por exemplo, ambientes frios e quentes).

Esta instalação está localizada no Laboratório de Aerodinâmica Industrial (LAI) da Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI). É composta por diverso equipamento, com destaque para os 4 grupos de tratamento de ar, os três "*chillers*", o reservatório de água fria, o quadro eléctrico de comando e toda a rede de condutas de distribuição de ar e tubagens do circuito de água. A câmara climática consiste essencialmente em duas câmaras contíguas, constituídas por uma estrutura modular com painéis amovíveis que permitem a sua rápida substituição por outros componentes (janelas, painéis radiantes, acessórios de ventilação, entre outros). Passando por uma pré-câmara com dimensões típicas de um gabinete, entra-se na câmara de testes com a área útil de pavimento de $4{,}8 \times 4{,}8$ m^2 e altura variável.

A câmara de testes destina-se à realização das experiências enquanto que a pré-câmara tem vindo a ser utilizada para monitorização (*vd*. Figura 4.2). O acesso a partir do exterior faz-se por duas portas, uma situada na câmara e outra na pré-câmara. A comunicação entre as duas câmaras é possível através de uma porta localizada no extremo oposto aos pontos de acesso a partir do exterior, existindo também uma janela de vidro duplo que permite a visualização dos ensaios em curso.

Figura 4.1 Vista exterior da câmara climática.

Figura 4.2 Câmara de testes (esquerda) e pré-câmara (direita).

As paredes da câmara de ensaios são dotadas de uma caixa-de-ar onde circula ar proveniente dos grupos de climatização. O lado interior da câmara é formado por chapas de aço pintadas de creme, enquanto o lado exterior é constituído por uma estrutura reticulada de vigas de madeira com placas de contraplacado marítimo e isolamento térmico.

Tanto a câmara como a pré-câmara têm pavimentos flutuantes colocados 70 cm acima do pavimento da nave do LAI. O plenum assim definido destina-se à circulação do ar de admissão na câmara de testes podendo também ser útil para a instalação de equipamento. O pavimento da câmara de testes é composto por 64 elementos, assentes numa estrutura de tubos de aço. Actualmente dispõe-se de dois tipos de pavimento, um composto por placas de madeira e o outro por grelhas de aço.

O tecto móvel é composto por uma estrutura reticulada de perfis de alumínio também quadrados, preenchidos por placas de contraplacado de 5 mm de espessura e/ou placas de isolamento de poliestireno expandido de 30 mm de espessura.

Com esta estrutura, o pavimento e o tecto podem ser modificados de forma a reproduzir uma vasta gama de sistemas de ventilação. Quando se pretendem simular condições sem qualquer perturbação exterior (convecção natural pura), escolhe-se o pavimento com placas de madeira, que o torna estanque e força todo o ar proveniente dos grupos de climatização a circular pela caixa-de-ar das paredes. De notar que esta configuração implica um elevado tempo de resposta do sistema. De acordo com experiências efectuadas no período de Inverno, para um *setpoint* da câmara de testes de 30 ºC, são necessárias cerca de 7 horas para obter condições estáveis. Em alternativa, o pavimento constituído pelas grelhas de aço e pelas chapas de aço inox, apresenta como principal vantagem uma redução significativa do tempo de resposta, o que se traduz numa diminuição importante dos custos de operação. Para além disso, consegue-se manter o ar no interior da câmara com uma velocidade muito baixa, normalmente inferior a 0,15 m/s.

Como referido, o projecto global desta instalação experimental foi desenvolvido de forma a garantir a reprodução em laboratório da maior parte das condições termo-higrométricas observadas em locais de trabalho. Na Tabela 4.1 apresentam-se as características de projecto da câmara.

Tabela 4.1 Condições de projecto da câmara climática.

1 – Área: 4,8 × 4,8 m^2 ; **2 – Pé direito**: 2,2 m ⇒ 4,5 m

3 – Grupos de tratamento de ar:

- Grupo I (GTA I) – Temperatura uniforme – temperatura média radiante
- Grupo II (GTA II) – Sistemas de ventilação – câmara interior
- Grupo III (GTA III) – Tratamento de ar novo com controlo de humidade
- Grupo IV (GTA IV) – Câmara de pré-teste

4 – Grupos de refrigeração

- 3 “chillers” monobloco em cascata ; Potência frigorífica: 6,5 kW
- Água com propilenoglicol a 30%

5 – Caudais de ar e potências de aquecimento e de arrefecimento

Grupo de climatização		I e II	III	IV
Caudal de ar	m^3/h	4200	540	650
Arrefecimento	kW	11,6	12,2	2,8
Aquecimento	kW	15,75	9	1,5

6 – Condições interiores

- Temperatura: 5 ºC ⇒ 45 ºC ; - Humidade relativa 20% ⇒ 90%

4.3. MANEQUINS TÉRMICOS

A complexidade de construção e de funcionamento dos manequins térmicos torna-os equipamentos dispendiosos e de utilização cuidada. No entanto, apresentam uma série de vantagens de utilização prática que tem contribuído para um aumento significativo da sua adopção em trabalhos de investigação (Holmér, 2000) e motivado a atenção crescente de várias equipas de investigadores que continuam a apostar no seu desenvolvimento e aperfeiçoamento. Actualmente existem mais de 100 manequins em funcionamento espalhados pelo mundo (Holmér, 2004, Nilsson, 2004).

Desde os primeiros exemplares destes equipamentos que se assiste a formas de concepção muito diversificadas. Os materiais de construção, o número de secções independentes, a possibilidade de assumir diferentes posturas e o sexo do manequim térmico são algumas das características que distinguem estes dispositivos experimentais. Mais recentemente, com o aparecimento dos manequins com a capacidade de transpirar, considera-se uma nova categoria e os manequins caracterizam-se também pela possibilidade de simular apenas as trocas de calor sensível, ou os mais completos que têm também uma componente latente. Embora se adivinhe a era destes manequins mais avançados, presentemente, a maioria continua a ser usada no estudo de fenómenos relacionados com as perdas de calor sensível.

Entre os manequins com a capacidade de transpirar, destaque para os desenvolvidos na China (Fan e Chen, 2002), no Japão (Yasuhiko *et al*., 2000 ; Fukazawa *et al*., 2003), na Finlândia (Meinander, 2000*a*) e na Suíça (Mattle, 2000) e em Portugal (Conçeição *et al*., 2004). Na Figura 4.3 mostra-se o manequim desenvolvido nos Estados Unidos da América pela empresa *Measurement Technology Northwest* (MTNW) e que se encontra já disponível para comercialização (MTNW, 2005*a*).

Para partes especificas do corpo como por exemplo a cabeça, as mãos e os pés, existem também dispositivos experimentais dotados da mesma capacidade de transpirar (Kuklane e Holmér, 1998 ; Kuklane, 1999 ; Meinander, 2000*b* ; Brühwiler, 2003 ; Brühwiler *et al*., 2005 ; MTNW, 2005*b*, Mekjavic *et al*., 2005). Neste contexto, destaque também para o elipsóide de revolução destinado à avaliação de ambientes térmicos desenvolvido por Mendes (2001).

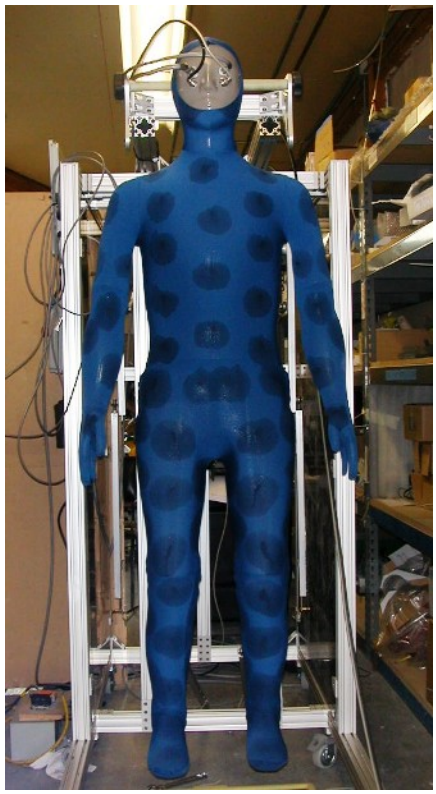


Figura 4.3 Manequim térmico com a capacidade de transpirar desenvolvido pela MTNW (adaptado de MTNW Thermal Newsletter nº 4, 2005*b*).

Para a avaliação de ambientes térmicos, os manequins térmicos são instrumentos de grande utilidade, revelando-se como o único equipamento capaz de avaliar os efeitos conjugados da temperatura local do ar, das trocas radiativas com as superfícies e corpos envolventes, da velocidade do ar e de possíveis ganhos solares, tanto em espaços confinados e com heterogeneidades significativas, como em espaços amplos (Silva, 2002).

No domínio da avaliação das características térmicas de peças e conjuntos de vestuário, conforme referido no Capítulo 2, os manequins térmicos são o equipamento de medição mais comum, encontrando-se a metodologia de ensaio descrita em diversas normas internacionais. Para este efeito, devem apresentar dimensões padrão e estar equipados com dispositivos para aquecimento e simulação das perdas de calor sensível (ISO 9920, 1995).

No que diz respeito ao sistema de aquecimento, os manequins térmicos mais usuais classificam-se em três grupos consoante a localização do elemento de aquecimento:

- Superfície exterior do manequim (SE);
- Superfície interior do manequim (SI);
- Espaço interior do manequim (EI).

Os manequins cuja disposição construtiva é baseada nos métodos SI e EI apresentam normalmente materiais com elevada condutividade térmica, casos do alumínio e cobre, visando uma temperatura superficial uniforme (Matsunaga *et al.*, 1993). No caso do método SE é recomendada a utilização de materiais com boa capacidade de isolamento para que o fluxo de calor se dê no sentido do interior do manequim para o ambiente, evitando-se um aquecimento excessivo do interior e a ocorrência de gradientes de temperatura entre as diversas partes do corpo (Gaspar, 2004). Em comparação com os outros tipos de manequins, estes últimos têm um tempo de resposta mais reduzido (Matsunaga *et al.*, 1993).

Em relação aos sistemas de controlo, os manequins térmicos agrupam-se em três modos de funcionamento:

- Fluxo de calor constante (FC);
- Temperatura da superfície constante (TC);
- Equação de conforto (EC).

No sistema FC, a cada secção do manequim pode corresponder um valor do fluxo de calor determinado, ou o mesmo valor pode ser usado para todas as secções do manequim. O valor da temperatura da superfície cutânea depende assim das condições ambientais e do vestuário. Este método é muito estável e especialmente indicado para a avaliação de situações transitórias, uma vez que não é necessária adaptação do processo de controlo. Porém, as temperaturas das diferentes secções do manequim podem ser bastantes diferentes das apresentadas pelo ser humano nas mesmas condições de exposição (Silva, 2002) e, ambientes não uniformes, este método pode resultar em grandes diferenças de temperatura, com o consequente fluxo de calor entre secções (Matsunaga *et al.*, 1993).

No sistema TC pretende-se que a superfície exterior do manequim seja mantida a uma temperatura semelhante à que se verifica nos seres humanos. Tal como no sistema de fluxo de calor constante, a mesma temperatura pode ser usada para todas as secções do manequim ou, a cada parte, pode corresponder um valor diferente, embora constante. O método tem a desvantagem de ser um pouco instável devido ao processo de regulação, verificando-se ainda que em ambientes não uniformes o fluxo de calor perdido entre as diferentes partes do corpo pode ser muito diferente (Matsunaga *et al.*, 1993).

O sistema EC implica maiores tempos de resposta em condições transitórias e, devido ao facto de as diferentes secções do manequim apresentaram temperaturas distintas, poderá verificar-se algum fluxo de calor entre secções. No entanto, este modo de controlo permite

uma melhor simulação da resposta térmica do corpo humano, ajustando a temperatura da pele de cada parte do corpo em função das condições ambientes e do vestuário.

4.3.1. MANEQUIM TÉRMICO "*MARIA*"

O manequim térmico "*Maria* foi projectado pelo Prof. Thomas Lund Madsen da Universidade Técnica da Dinamarca" e pertence, desde 1994, à ADAI-FCTUC (*vd*. Figura 4.4). Em termos de aparência física corresponde a um indivíduo do sexo feminino de tamanho 38, com 1,68 m de altura.

É articulado ao nível do pescoço, ombros, punhos, anca e joelhos. As uniões feitas em *teflon* e alumínio facilitam os movimentos necessários para vestir e despir o manequim e tornam-no relativamente seguro contra danos quando manipulado de forma inapropriada. Entre o joelho e a perna existe um disco móvel que permite que a parte inferior da perna rode e assuma qualquer posição, apresentando ainda um corte circular que lhe confere a possibilidade de assumir diferentes posturas e a simulação da marcha.

Figura 4.4 Manequim térmico "*Maria*" em diferentes posturas.

O corpo do manequim é feito em poliéster reforçado com fibra de vidro de 4 mm de espessura. O elemento de aquecimento consiste num fio de níquel com 0,3 mm de espessura sendo a distância entre fios variável para garantir um aquecimento homogéneo ao longo de toda a superfície, não ultrapassando contudo os 2 mm (*vd*. Figura 4.5). Enrolado sobre a casca

do corpo, o fio de níquel é dotado de uma camada protectora de 0,1 a 1 mm de espessura (Madsen, 1992). O elemento de aquecimento está colocado junto da superfície exterior, o que confere ao manequim um tempo de resposta reduzido em comparação com outros manequins térmicos. O facto de o mesmo fio de níquel desempenhar a dupla função sequencial de aquecer e medir a temperatura da superfície do manequim, contribui também para reduzir o tempo de resposta (Matsunaga *et al.*, 1993). O fluxo de calor máximo é de 200 W/m^2 o que corresponde a um metabolismo de aproximadamente 3,5 *met* (Madsen, 1992).

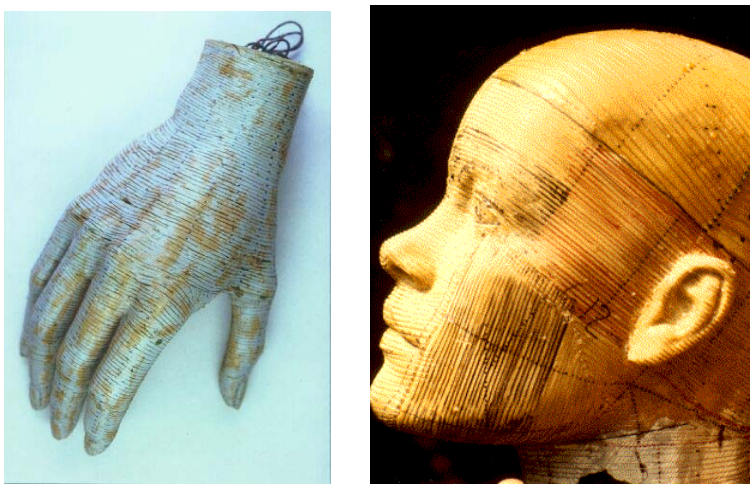
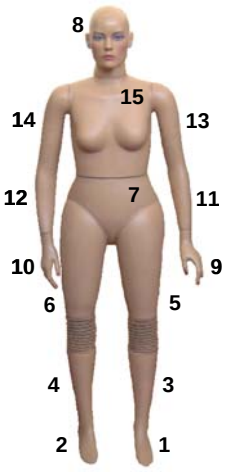


Figura 4.5 Mão e cabeça com o enrolamento de fio de níquel (adaptado de Madsen, 1999 e PT-Teknik, 2004).

Este manequim térmico encontra-se dividido nas 16 partes independentes que se indicam na Tabela 4.2, tendo as áreas e os volumes de cada parte sido obtidos por Martinho (2002) recorrendo a um programa de modelação de sólidos (*SolidWorks*).

Tabela 4.2 Áreas, volumes e factores de área das 16 partes do manequim térmico.

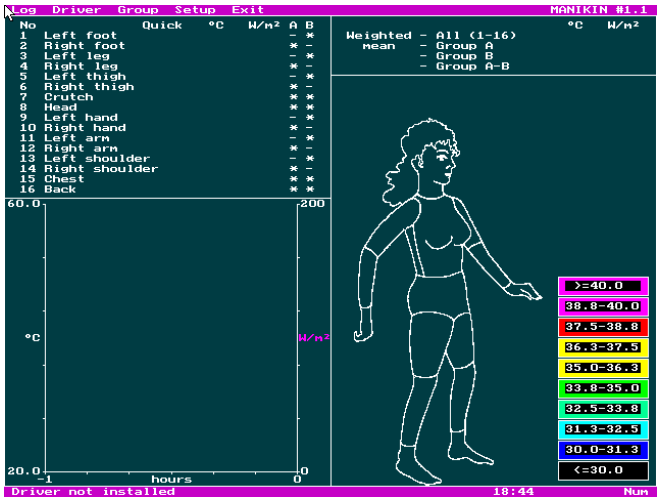
Representação esquemática	Parte do Manequim	Área [m^2]	Volume [m^3]	f_i
	1 – Pé esquerdo	0,044	$6{,}412 \times 10^{-4}$	0,02678
	2 – Pé direito	0,044	$6{,}412 \times 10^{-4}$	0,02678
	3 – Perna esquerda	0,090	$1{,}983 \times 10^{-3}$	0,054778
	4 – Perna direita	0,090	$1{,}983 \times 10^{-3}$	0,054778
	5 – Coxa esquerda	0,175	$7{,}071 \times 10^{-3}$	0,106512
	6 – Coxa direita	0,175	$7{,}071 \times 10^{-3}$	0,106512
	7 – Ancas	0,175	$1{,}219 \times 10^{-2}$	0,106512
	8 – Cabeça	0,122	$3{,}531 \times 10^{-3}$	0,074254
	9 – Mão esquerda	0,040	$3{,}355 \times 10^{-4}$	0,024346
	10 – Mão direita	0,040	$3{,}355 \times 10^{-4}$	0,024346
	11 – Antebraço esquerdo	0,051	$9{,}171 \times 10^{-4}$	0,031041
	12 – Antebraço direito	0,051	$9{,}171 \times 10^{-4}$	0,031041
	13 – Braço esquerdo	0,080	$1{,}764 \times 10^{-3}$	0,048691
	14 – Braço direito	0,080	$1{,}764 \times 10^{-3}$	0,048691
	15 – Peito	0,157	$9{,}681 \times 10^{-3}$	0,095557
	16 – Costas	0,229	$5{,}864 \times 10^{-3}$	0,139379
	Total	**1,642**	**$5{,}669 \times 10^{-2}$**	**1**

4.3.1.1. Sistema de controlo e monitorização

A cada parte do manequim térmico está associado um processo independente de controlo, em que, como foi referido, o fio de níquel é usado como elemento sensor de temperatura e para aquecer. Inicialmente é determinada a temperatura média de cada secção a partir de 10 medições durante um tempo total de 100 μs. De seguida é avaliado o fluxo de calor e calculado o período de aquecimento, que pode oscilar entre 0 e 18,3 ms. Os diversos canais são ligados com uma frequência de 46 Hz, ou seja, 21,7 ms após a leitura anterior. O ciclo completo para as 16 secções demora cerca de 0,33 s.

O controlo e monitorização são assegurados por *software* comunicando com os sistemas exteriores do manequim através da porta RS-232C (Matsunaga *et al*., 1993). A temperatura e o fluxo de calor de cada secção são armazenados em ficheiros ASCII para posterior tratamento em folhas de cálculo ou programas desenvolvidos para o efeito. A aquisição dos dados baseia-se em dois módulos denominados *Controlo* e *Manikin* (Bidstrup, 1994). O programa *Controlo* consiste num "*driver*" residente em memória, que se destina a medir a temperatura do manequim e a transferir para cada parte a potência necessária para manter a temperatura no nível desejado. O programa *Manikin* pode ser considerado como a tradução gráfica do programa *Controlo*, acumulando também a função de transferir a informação sobre a temperatura e o fluxo de calor das várias partes, em intervalos de tempo definidos, para ficheiro ou uma impressora. Na interface do programa *Manikin* o utilizador pode ajustar os coeficientes da equação de controlo, entre outros parâmetros.

A Figura 4.6 mostra o computador de controlo e duas imagens que ilustram o ambiente gráfico do programa *Manikin*. No canto superior esquerdo listam-se as 16 partes do manequim e monitoriza-se, em tempo real, a temperatura e o respectivo fluxo de calor. Em baixo mostra-se um gráfico que ilustra a evolução das curvas de temperatura e fluxo de calor médios de todo o corpo. A parte direita do monitor exibe uma silhueta do manequim em que a cor de cada uma das 16 partes varia em função da temperatura actual.



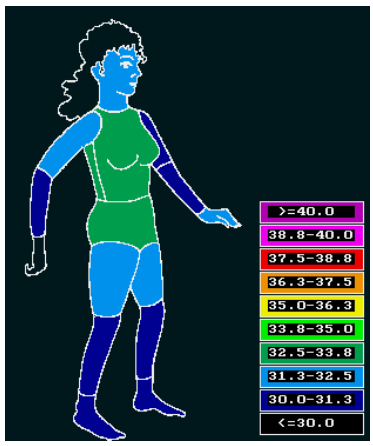


Figura 4.6 Imagem do software associado ao sistema de controlo, monitorização e aquisição do manequim térmico "*Maria*".

4.3.1.2. Equação de controlo

Madsen (1976) desenvolveu o primeiro manequim com o sistema de controlo baseado na equação de conforto térmico sugerida por Fanger (1970) para a relação entre a temperatura média da pele, $\bar{t}_{sk}$, e o fluxo de calor total, $\dot{Q}_T$

$$\bar{t}_{sk} = 35{,}7 - 0{,}028 \times \dot{Q}_T \,. \qquad (4.1)$$

Visto que este tipo de manequim não tem a capacidade de simular as perdas de calor latente, a equação proposta por Fanger foi adaptada por Matsunaga *et al.*, 1993 e Tanabe *et al.*, 1994 para considerar apenas as trocas de calor sensível, $\dot{Q}_S$. Assim, assumindo algumas simplificações, nomeadamente uma pressão parcial de vapor de 1,5 kPa equivalente a

condições típicas de ambientes interiores com uma temperatura de 24 ºC e uma humidade relativa de 50%, a equação (4.1) é reescrita na forma

$$\bar{t}_{sk} = 36{,}4 - 0{,}054 \times \dot{Q}_s \,. \qquad (4.2)$$

Com este procedimento de controlo pretende-se que o manequim simule a exposição de um indivíduo ao mesmo ambiente térmico e com um nível de metabolismo correspondente a uma condição de conforto térmico (Madsen, 1989, 1992). O efeito do ambiente circundante é avaliado a partir da medição da temperatura e do fluxo de calor em cada secção, mantendo-se a temperatura de cada parte uniforme e igual àquela a que uma pessoa estaria quando exposto às mesmas condições ambientais. No manequim térmico *"Maria"*, a expressão (4.2) é por defeito aplicável a todas as 16 partes. Tal significa que as partes do corpo desprotegidas e/ou expostas a correntes de ar apresentarão uma temperatura cutânea inferior e uma perda de calor superior. Tal assunção pode não traduzir correctamente a realidade, assim como esta expressão pode não ser aplicável em condições diferentes das de conforto térmico. Bischof e Madsen (1991) mediram as temperaturas cutâneas locais de indivíduos e compararam-nas com as de um manequim térmico com o sistema de controlo baseado na equação de conforto. Concluíram que, em relação aos pés, as temperaturas cutâneas não apresentavam uma boa correlação, ao contrário do verificado para outras partes do corpo. Assim, para ter em consideração as temperaturas cutâneas locais com maior precisão, a equação de controlo para as diferentes partes do corpo necessita, provavelmente, de ser ajustada (Matsunaga *et al.*, 1993).

4.3.2. DISPOSITIVO DE SIMULAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MARCHA

Sendo o âmbito do presente trabalho orientado para o estudo da exposição ao frio, a realização de ensaios de isolamento térmico afigura-se como uma abordagem essencial. Para este assunto, a metodologia de ensaio a seguir assenta nas normas NP ENV 342 (2001) e EN 342 (2004), referentes ao vestuário de protecção contra o frio que exigem que os manequins térmicos executem os movimentos de passada de um ser humano. Assim, uma vez que se dispunha do equipamento principal - o manequim térmico – a necessidade de efectuar avaliações de vestuário em condições dinâmicas impôs-se desde logo como um desafio e constituiu a principal motivação para o desenvolvimento de um mecanismo inovador capaz de simular num manequim térmico os movimentos de marcha.

Face à forma de suporte do manequim térmico e de todo o conjunto de acessórios necessários para o mecanismo, construiu-se uma estrutura com as dimensões de 2×1×1,5 m^3, em tubo de aço de secção quadrada (2×2 cm^2), dotada de rodízios com travão que permitem uma movimentação e transporte fáceis (*vd*. Figura 4.7). A fixação do manequim a esta estrutura é efectuada em dois pontos: pela cabeça, através de um cabo de ligação das duas partes do tronco do manequim térmico e ao nível da cintura através de um suporte amovível.

Figura 4.7 Manequim térmico "*Maria*" e mecanismo de simulação do movimento de passada.

Das várias alternativas admitidas na concepção do mecanismo de simulação dos movimentos de passada, incluindo sistemas de correntes ou correias, hidráulicos e pneumáticos, optou-se por um sistema electro-pneumático. No caso do presente dispositivo, o conjunto desenvolvido integra vários componentes, desde o cilindro a electro-válvulas, válvulas reguladoras de caudal e redutores de pressão, alguns dos quais se mostram na Figura 4.8.

Com recurso a um conjunto de alavancas concebeu-se um esquema de transmissão de movimentos para todos os membros através de um único cilindro, dotado de elementos de regulação de início e fim de curso e de válvulas de regulação de caudal. Cada membro dispõe de duas alavancas unidas através de rótulas que permitem pequenos ajustes e conferem ao sistema a flexibilidade necessária para absorver as oscilações verificadas durante o movimento, principalmente ao nível das pernas. Evitaram-se as uniões rígidas que mais

facilmente podem provocar danos e, para além deste aspecto, as rótulas permitiram ultrapassar o obstáculo colocado pela configuração dos cortes circulares do manequim ao nível das ancas. Não sendo verticais, o movimento pendular das pernas não se efectua em direcções paralelas, detalhe responsável pela maioria das dificuldades encontradas no desenvolvimento do mecanismo.

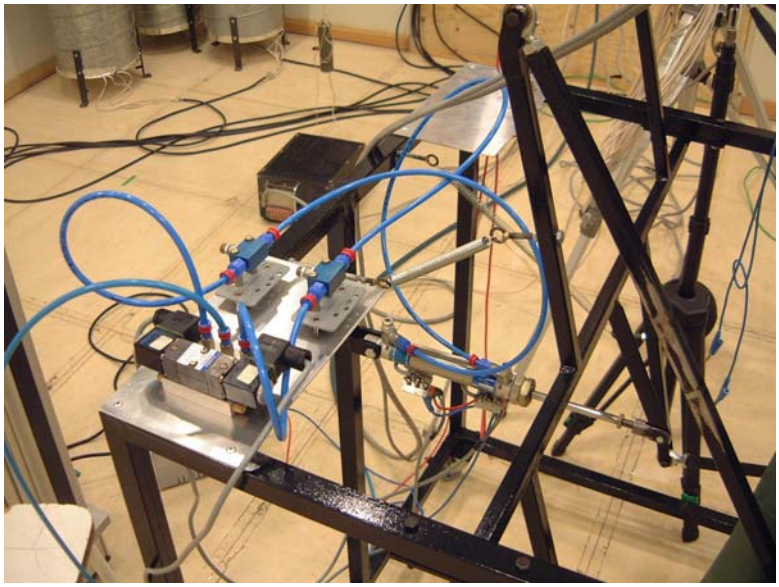


Figura 4.8 Pormenor do sistema electro – pneumático.

Como sistema de ligação do dispositivo aos membros superiores adoptou-se a solução de colocar os pontos de fixação nos punhos. Para tal recorreu-se a abraçadeiras revestidas com uma fita de borracha, característica que apresenta a dupla vantagem do aumento do atrito e de protecção do revestimento superficial do manequim. (*vd*. Figura 4.9). Esta alternativa não só é a mais comum, como também se revelou desde o início dos testes como a mais fiável.

No que diz respeito aos membros inferiores foram testadas várias hipóteses, começando por um esquema de ligação semelhante ao usado nos punhos, posicionando as abraçadeiras na parte inferior das coxas (*vd*. Figura 4.9). Contudo, esta solução foi rapidamente eliminada uma vez que se soltava facilmente com o manequim em movimento devido à configuração cónica das coxas, mesmo usando uma solução combinando a abraçadeira com uma fita adesiva de "*velcro*".

Como a "*Maria*" apresenta uma articulação ao nível do joelho, foi desenvolvida, com sucesso, uma solução em que a fixação das pernas ao mecanismo é feita ao nível da rótula de união da coxa à perna, recorrendo-se de novo a abraçadeiras revestidas com uma membrana de borracha. É esta rótula que permite ao manequim assumir diferentes posturas, encontrando-

se normalmente oculta através de um fole. A fixação neste ponto não apresenta nenhuma desvantagem do ponto de vista mecânico ou estrutural, saindo prejudicado apenas o aspecto estético do manequim (*vd*. Figura 4.10).

Todavia, por ser efectuado ao nível do joelho, este sistema de fixação implica que se faça um pequeno orifício na peça de vestuário de modo a permitir a passagem do veio de ligação da alavanca à rótula do manequim no caso de ensaios em condições dinâmicas. Apesar de apenas ser necessário um orifício de 1 cm de diâmetro, este aspecto representa um inconveniente importante.

Figura 4.9 Sistema de ligação aos membros superiores (esquerda) e sistema preliminar de ligação aos membros inferiores (direita).

Figura 4.10 Pormenor da fixação à rótula do manequim térmico (esquerda) e sistema de ligação aos membros inferiores (direita).

O sistema assim desenvolvido é simples de operar, fiável e de custos de manutenção e operação reduzidos. Em simultâneo, permite reproduzir de forma realista os movimentos de passada e possibilita uma ampla gama de ensaios através de diferentes combinações de velocidade de marcha e amplitude de movimentos. Apesar de ser o resultado de vários

compromissos, como o de limitar o número de componentes em virtude dos poucos recursos disponíveis, o de não introduzir modificações na estrutura original do manequim e o de ser dotado de elementos construtivos todos amovíveis (o que se traduz numa vantagem e também numa característica peculiar do mecanismo), foi possível conceber um dispositivo que tem permitido uma realização continuada de ensaios com o manequim térmico em condições dinâmicas.

4.4. TÚNEL AERODINÂMICO

Para a realização de uma parte dos ensaios apresentados e discutidos no Capítulo 5, recorreu-se ao Túnel Aerodinâmico (TA) existente no Laboratório de Aerodinâmica Industrial (LAI). Trata-se de um equipamento que dispõe de uma câmara de ensaios aberta com 5 m de comprimento e 2 m de largura, e apresenta uma secção de saída da zona da contracção de forma quadrada com 2 m de lado. A Figura 4.11 mostra uma representação esquemática do TA num desenho à escala com dimensões reais indicadas em milímetros.

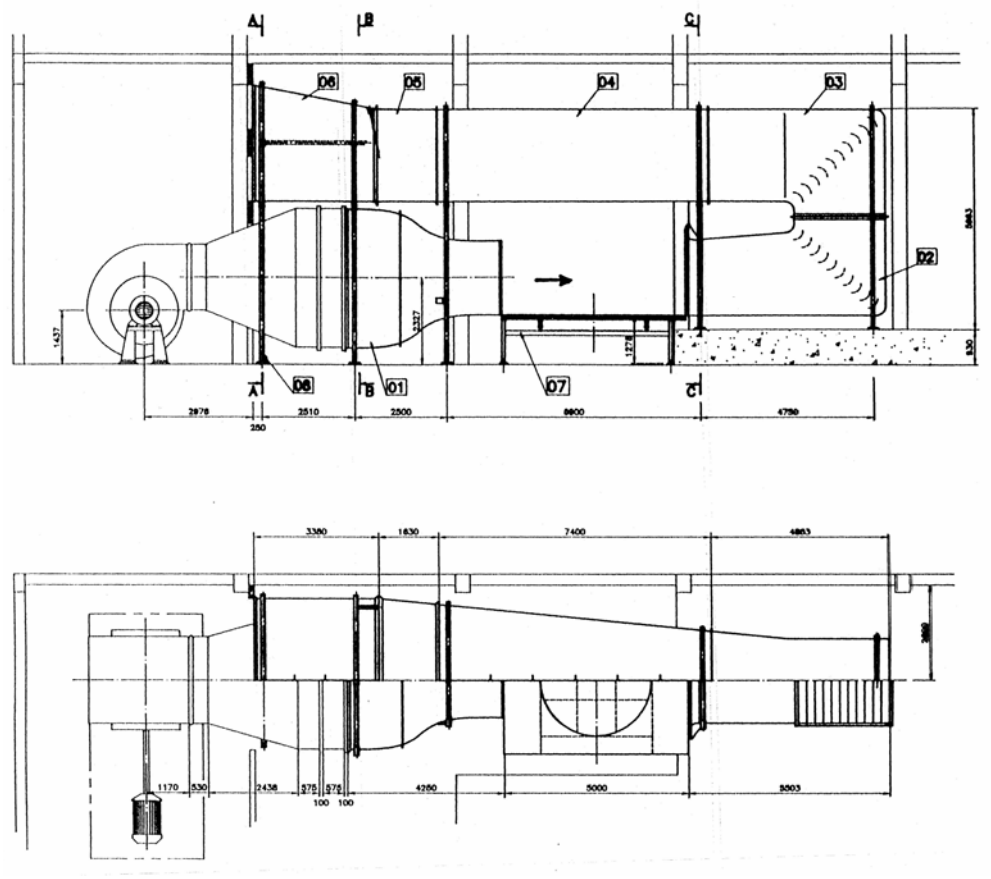


Figura 4.11 Desenho à escala do Túnel Aerodinâmico (adaptado de Ferreira, 1999).

O ventilador que lhe está acoplado é do tipo centrífugo, sendo accionado por um motor eléctrico com uma potência de 230 KVA que permite atingir uma velocidade máxima na câmara de ensaios de aproximadamente 26 m/s. No entanto, a generalidade dos ensaios foi realizada para velocidades de referência do escoamento inferiores a 10 m/s, medidas no plano coincidente com a secção de saída e fora da camada limite.

De acordo com a caracterização do escoamento na câmara de ensaios efectuada por Ferreira *et al.* (1997), para condições de vazio a velocidade do ar pode considerar-se transversalmente uniforme apenas na sua zona central, numa faixa com 1 m de largura. Ferreira (1999) indica que para uma velocidade de referência de 11 m/s, a camada limite se caracteriza por uma espessura (δ) de 0,4 m a 3 m de distância do início da câmara ensaios. Quanto à intensidade de turbulência na zona de testes, a distribuição segundo a vertical mostra que o seu valor se pode considerar aproximadamente constante em torno dos 15% (*vd.* Figura 4.12). Atendendo a estes aspectos, o manequim térmico foi colocado numa posição centrada da zona de ensaio sobre uma base rotativa existente, ficando disponível um comprimento de cerca de 2,5 m para a geração da camada limite. A Figura 4.13 ilustra uma perspectiva global desta instalação experimental e mostra o posicionamento do manequim térmico.

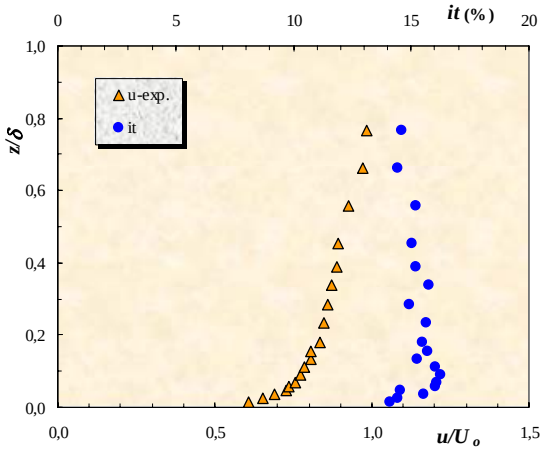


Figura 4.12 Perfis incidentes da componente média longitudinal da velocidade e da intensidade de turbulência (U0 = 11 m/s ; δ = 0,4 m) (adaptado de Ferreira, 1999).

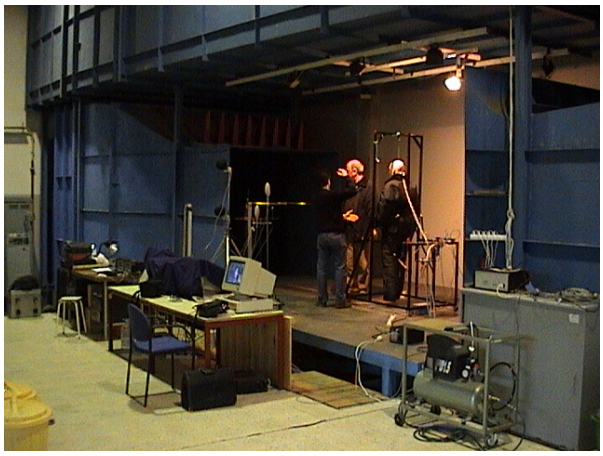


Figura 4.13 Vista do túnel aerodinâmico.

4.5. OUTROS EQUIPAMENTOS

Nas secções seguintes descrevem-se de forma mais sucinta um conjunto de equipamentos que, embora tivessem sido imprescindíveis para a prossecução de algumas das tarefas realizadas, a sua menor relevância impõe uma exposição menos pormenorizada.

4.5.1. MONITOR DE CONFORTO TÉRMICO

O monitor de conforto térmico da Brüel & Kjær (1986), Type 1212 (*vd*. Figura 4.14), consiste num equipamento portátil destinado à avaliação do efeito do ambiente térmico no conforto humano. Construído de acordo com os requisitos da norma ISO 7730 (1994), permite a ligação de um único sensor (ref. MM0023), cujo tamanho e forma elipsoidal são tais que a relação das perdas de calor por convecção e radiação é semelhante à que se verifica no corpo humano. Introduzindo os valores do isolamento térmico do vestuário, I_{cl}, da actividade, M, e da pressão parcial de vapor, p_a, o sensor integra a influência da temperatura do ar, t_a, da temperatura média radiante, $\bar{t}_r$, e da velocidade do ar, v_a, aquecendo a respectiva superfície até à temperatura da superfície do vestuário correspondente a um indivíduo vestido e em conforto. Além da determinação directa dos índices Voto Médio Previsto, *PMV*, e Percentagem Prevista de Insatisfeitos, *PPD*, o monitor de conforto térmico possibilita ainda a medição de outros parâmetros relacionados com o conforto.

4.5.2. ANALISADOR DE CLIMAS INTERIORES

O analisador de clima de interiores da Brüel & Kjær (1990), Type 1213 (*vd*. Figura 4.14), permite a ligação de 5 sensores de medição de parâmetros ambientais em conformidade com a norma ISO 7726 (1998). Actualmente, na ADAI dispõe-se de um sensor de temperatura do ar, t_a, (ref. MM0034), um de temperatura de superfície, t_s, (ref. MM0035), um de assimetria da temperatura radiante, $t_{rad,asm}$, (ref. MM0036), um de humidade do ar, rh, (ref. MM0037), um de velocidade do ar, v_a, (ref. MM0038) e um de temperatura operativa, t_o, (ref. MM0060).

Com os sensores adequadamente ligados, o analisador permite a monitorização dos parâmetros medidos, podendo ser programado para registar em memória até 60 registos. Para uma monitorização e aquisição mais completas e expeditas é ligado a um computador portátil, que comunica através da porta série RS-232. O *software* específico, denominado ET6028, permite uma monitorização gráfica dos valores medidos e também de parâmetros ambientais de conforto calculados, sendo possível registar em ficheiro a informação desejada em intervalos regulares a partir de 1 segundo.

4.5.3. MONITOR DE STRESSE TÉRMICO

O monitor de stresse térmico da Brüel & Kjær (1985), Type 1219, é um equipamento portátil composto por uma unidade de medida denominada "*Transdutor de WBGT*" (ref. MM0030) e por uma unidade de monitorização e registo denominada por "*WBGT-Monitor de Stresse Térmico*". O transdutor de *WBGT* inclui os sensores de medição das grandezas ambientais necessárias à determinação do Índice de Temperatura de Bolbo Húmido e de Globo, *WBGT*, nomeadamente o da temperatura do ar, t_a, da temperatura de bolbo húmido natural, t_{bhn}, e da temperatura de globo negro, t_g (*vd*. Figura 4.14). São construídos de acordo com as especificações da norma ISO 7243 (1989) e baseados em elementos sensores de temperatura do tipo Pt 100.

Figura 4.14 Monitor de conforto térmico, Type 1212 (esquerda), analisador de climas interiores, Type 1213 (centro) e monitor de stresse térmico, Type 1219 (direita) da Brüel & Kjær (http://www.innova.dk).

O monitor encontra-se pré-programado e permite períodos de registo de 1, 2, 3, 4 e 8 horas. Qualquer que seja o período escolhido, o monitor armazena um conjunto de 60 valores, ou seja, o intervalo de tempo entre dois registos consecutivos é igual a 1/60 do período total. Dispõe de três canais de medição usados para aquisição das várias grandezas a níveis diferentes, de acordo com as especificações das normas internacionais. Além de outras especificidades, refira-se ainda que o equipamento calcula automaticamente o índice *WBGT* nas duas situações consideradas na norma ISO 7243 (1989), nomeadamente ambientes interiores e ambientes expostos directamente à radiação solar.

4.5.4. TERMÓMETRO DE INFRAVERMELHOS

O termómetro de infravermelhos da marca Testo, modelo 860 – T2 (1999), foi utilizado com um fim muito particular que consistiu na medição da temperatura da superfície do vestuário, $\bar{t}_{cl}$. Perante a ausência de meios mais adequados para medir este parâmetro, estimou-se o seu valor médio a partir de medições em seis pontos da superfície do corpo, $t_{cl,i}$. A Figura 4.15 ilustra o equipamento e resume as características técnicas mais importantes.

Principais características

Marca: Testo

Modelo: 860-T2

Gama de utilização: -30 ºC a 900 ºC

Resolução óptica: 0.1 ºC

Precisão: ± 1% do valor medido ou % 1 ºC, a 23 ºC

Emissividade: 0.1 a 1.5

Figura 4.15 Termómetro de infravermelhos da marca Testo 860-T2 (1999) (http://www.testo.de).

4.5.5. INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA NAS AVALIAÇÕES DE CAMPO

Ao iniciar-se este trabalho verificou-se que não se dispunha no laboratório de equipamento adequado à avaliação de ambientes térmicos frios. Uma vez que a campanha de auditorias incluía medições em câmaras de congelação e de refrigeração, a instrumentação existente não permitia cumprir requisitos de operacionalidade nas condições previstas, nomeadamente a temperaturas negativas na ordem dos –20 ºC. A aquisição de dispositivos de medição para este fim constituiu então uma prioridade que as escassas verbas disponíveis tornaram num primeiro obstáculo a transpor. Teve-se como um critério importante a selecção de equipamento compatível com uma vasta gama de condições ambientais de modo a permitir a realização de estudos de avaliação de ambientes térmicos quentes e frios.

Após uma prospecção de mercado mais ou menos exaustiva, a escolha recaiu sobre os equipamentos da Testo, tidos de uma forma geral fiáveis. A gama de sensores e unidades de registo/controlo disponível e a compatibilidade do *software* de aquisição entre os diferentes dispositivos, com a possibilidade de ligação de vários tipos de sondas às unidades de registo, permite uma versatilidade que se traduz numa vantagem adicional.

Assim, adquiriram-se 3 *data loggers* Testo 175-T2 (2002), 1 *data logger* Testo 175-H2 (2002), 1 *data logger* Teste 445 (2002) e o respectivo *software* de aquisição (Testo *Software*, 2002). Apesar de terem sido usados em variadas situações, a aplicação mais importante no contexto deste estudo relaciona-se com as avaliações do ambiente térmico de locais de trabalho (*vd*. Capítulo 7). As características principais destes equipamentos resumem-se nos parágrafos seguintes.

4.5.5.1. Testo 445

O *data logger* Testo 445 (refª 0560 4450) mostrado na Figura 4.16, permite a medição simultânea de 6 parâmetros através de dois canais que possibilitam várias combinações de sensores. Neste estudo foram utilizadas a sonda combinada de temperatura do ar (-20 a +70ºC) e humidade relativa (0 a 100%) de elevada precisão Testo (refª 0636 9741) e a sonda de esfera aquecida, diâmetro 3 mm, com extensão telescópica integrada (max. 850 mm), para medição da velocidade e temperatura do ar (0 a 10 m/s; -20 a +70 ºC), Testo (refª 0635 1049).

Características técnicas

Memória	3000 leituras
PC	Interface RS 232
Temperatura de funcionamento	0 ºC a +50 ºC
Temperatura de armazenamento	-20 ºC a +70 ºC
Alimentação	Pilha alcalina não recarregável Bateria Ni-Cad recarregável Alimentador
Tipo de pilha	9 V
Vida da pilha	6 a 45 horas (função da sonda)
Dimensões	215 × 68 × 47 mm
Peso	255 g

Figura 4.16 *Data logger* Testo 445 (2002) (http://www.testo.de).

4.5.5.2. Testo 175 – T2 e Testo 175 – H2

Os *data loggers* Testo 175 – T2 (refª 0563 1755) (*vd*. Figura 4.17), foram usados para a medição da temperatura do ar, t_a, e da temperatura de globo, t_g. Enquanto que o canal interno registou t_a, ao canal externo foi ligada uma sonda de temperatura (refª 0613 1711) acoplada a um globo negro. As especificações mais importantes deste equipamento listam-se no Quadro 4.1. O *data logger* Testo 175 – H2 (refª 0563 1758), também mostrado na Figura 4.17, permite a medição da temperatura do ar e da humidade relativa. A utilização deste equipamento restringiu-se a situações muito particulares em que foi necessário proceder a avaliações complementares daqueles parâmetros.

Figura 4.17 *Data logger* Testo 175 – T2 (esquerda) e Testo 175 - H2 (direita) (2002) (http://www.testo.de).

Quadro 4.1 Características técnicas do *data logger* Testo 175 – T2.

Características técnicas	
Parâmetro / Sensor	Temperatura (ºC / ºF) / NTC
Número de canais	1 interno + 1 externo
Intervalo de medição	-35 ºC a +70 ºC (canal interno) -40 ºC a +120 ºC (canal externo)
Resolução	0,1 ºC de –20 a +70 ºC 0,3 ºC intervalo restante
Exactidão – sistema interna: ± 1 dígito	± 0,5 ºC (-20 a +70 ºC) ± 1,0 ºC (-35 a –20,1 ºC)
Exactidão – sistema externo: ± 1 dígito	± 0,3 ºC (-25 a +70 ºC) ± 0,5 intervalo restante
Memória	16 000 leituras
Intervalos de registo programáveis	10 seg a 24 h
Arranque do registo programável	Relógio, tecla “GO”, ou PC
Paragem do registo programável	Número de leituras, memória completa ou contínuo
Temperatura de funcionamento	-35 ºC a +70 ºC
Temperatura de armazenamento	-40 ºC a +85 ºC
Tipo / vida da pilha	Lítio (1AA) / > 2,5 anos
Tipo de protecção / Dimensões / Peso	IP 68 / 82 × 52 × 30 mm / 84 g

4.5.5.3. Monitor de ritmo cardíaco

O monitor de ritmo cardíaco PC 1600 da Sigma Sport (2002) permitiu a medição da frequência cardíaca dos trabalhadores. Consiste num dispositivo transmissor colocado num cinto e num elemento receptor integrado num vulgar relógio de pulso. O cinto, acoplado a uma banda elástica, deve ser ajustado ao peito confortavelmente de modo a não impedir ou dificultar a respiração do indivíduo. O facto de se tratar de um dispositivo portátil e de fácil aplicação nos utilizadores permitiu a sua utilização prática. Apresenta como limitação mais importante a ausência de *data logger*, possibilitando contudo o armazenamento do valor médio e máximo ao longo do período de registo. Apesar de a prospecção feita no mercado ter revelado a existência de alternativas mais adequadas, a já referida limitação financeira restringiu as opções de escolha. Na Figura 4.18 mostra-se o equipamento e listam-se algumas das suas especificações. No contexto deste trabalho e no âmbito das avaliações do ambiente térmico de locais de trabalho, o metabolismo foi estimado recorrendo ao método que se baseia na medição da frequência cardíaca proposto na Norma ISO 8996 (1990).

Principais características

Marca: Sigma Sport

Modelo: PC 1600, Pulse Computer

Funções relacionadas com a medição do ritmo cardíaco: - Ritmo cardíaco médio e máximo

- Especificação dos limites inferior e superior
- Indicação do período dispendido fora dos limites

Outras funções: Relógio, cronómetro, alarme, data, calorias consumidas, entre outras.

Figura 4.18 Monitor de ritmo cardíaco Sigma Sport (2002) (http://www.sigmasport.com).

4.5.5.4. Procedimentos de aquisição dos parâmetros físicos do ambiente

As especificações de medição dos parâmetros físicos basearam-se na Norma ISO 7726 (1998). Entre estas, é importante referir os procedimentos de aquisição face às características da actividade e do local, distinguindo a Norma ISO 7726 (1998) duas classes: classes *C* e *S* (*vd*. Tabela 4.3). A primeira diz respeito a medições em ambientes térmicos moderados,

próximos das condições de conforto, enquanto que a segunda se relaciona com situações características de stresse térmico.

Tabela 4.3 Coeficientes de ponderação e alturas recomendadas para colocação dos sensores de temperatura (adaptado de ISO 7726, 1998).

Localização dos sensores	Coeficientes de ponderação para o cálculo dos valores médios				Alturas recomendadas	
	Ambiente Homogéneo		Ambiente Heterogéneo		Pessoa em pé	Pessoa sentada
	Classe C	Classe S	Classe C	Classe S		
Canal A - Nível da cabeça			1	1	1,7 m	1,1 m
Canal B - Nível do abdómen	1	1	1	2	1,1 m	0,6 m
Canal C - Nível do tornozelo			1	1	0,1 m	0,1 m

A presente contribuição enquadra-se na classe S e considerou-se sempre o caso geral de não uniformidade do ambiente térmico, sendo os registos efectuados simultaneamente nos três níveis especificados. O valor médio ponderado dos diferentes parâmetros é obtido através da seguinte expressão (ISO 7726, 1998)

$$t_m = \frac{t_{cabeça} + (2 \times t_{abdómen}) + t_{tornozelo}}{4} . \qquad (4.3)$$

Nas avaliações realizadas, os registos de t_a e t_g foram efectuados aos três níveis especificados, enquanto que a aquisição de v_a e rh apenas se operou ao nível do abdómen. Por outro lado, uma vez que na generalidade dos postos de trabalho as diferentes tarefas são desenvolvidas em pé, admitiu-se também esta situação. As poucas excepções constatadas relacionam-se normalmente com a condução de empilhadores, sendo contudo uma tarefa executada durante breves períodos.

O procedimento de aquisição foi idêntico para todos os parâmetros físicos. Os diversos equipamentos foram programados para efectuar a gravação de cada grandeza minuto a minuto durante todo o período de registo (60 minutos). Como exemplo, a Figura 4.19 mostra o painel do instrumento e um programa de aquisição do *data logger* 175-T2, enquanto a Figura 4.20 ilustra o respectivo ficheiro de resultados.

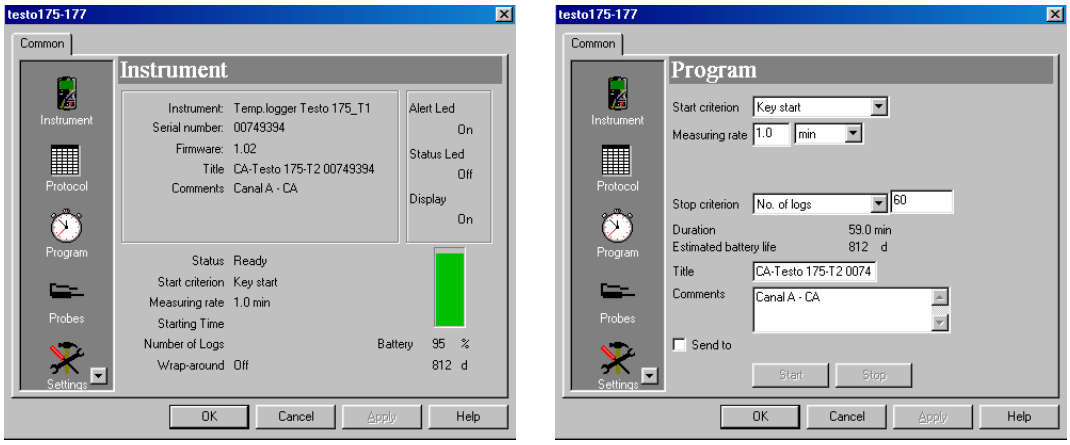


Figura 4.19 Painel do instrumento e programa de aquisição do *data logger* 175-T2 (adaptado de Testo Software, 2002).

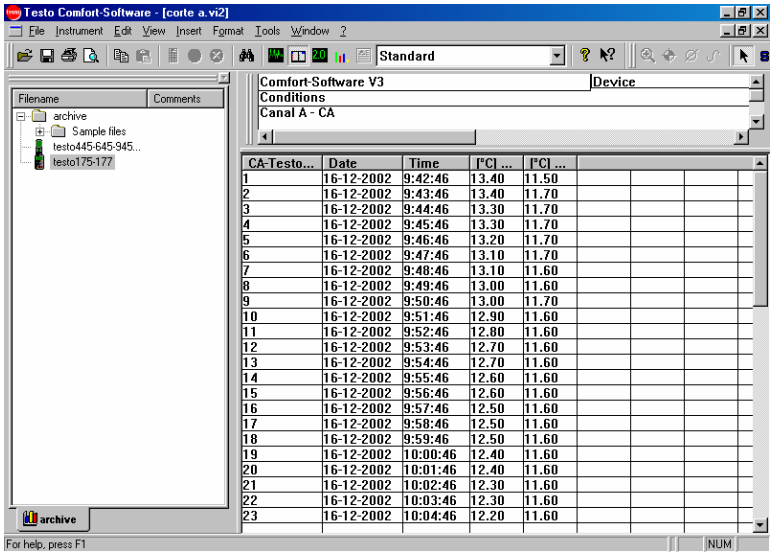


Figura 4.20 Ficheiro de resultados do *data logger* 175-T2 (adaptado de Testo Software, 2002).

No que diz respeito à temperatura média radiante ($\bar{t}_r$) é importante notar que a sua avaliação foi efectuada de forma indirecta recorrendo a sensores de globo negro. Preconiza-se geralmente um diâmetro de 150 mm denominado globo negro padrão (ISO 7726, 1998), mas o diâmetro da esfera pode teoricamente ser qualquer um. O globo negro padrão, em virtude da sua inércia considerável, não é apropriado para a avaliação de ambientes rapidamente variáveis, pelo que se torna evidente o interesse em dispor de um equipamento de medida com menor tempo de resposta e mais portátil.

Este facto motivou o desenvolvimento de sensores com 50 mm de diâmetro exterior construídos a partir de uma chapa de cobre de 0,3 mm de espessura, pintados interior e exteriormente de negro "*mate*" (*vd*. Figura 4.21). A embutidura foi a técnica de deformação utilizada para a obtenção das duas semi-esferas sendo posteriormente efectuada a soldadura a estanho. Dispondo dos meios e equipamentos necessários, todos os processos conducentes à

obtenção das esferas decorreram no Laboratório de Tecnologia Oficinal do Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Deste modo reduziram-se substancialmente os custos, sendo adquiridas apenas as sondas de temperatura.

Figura 4.21 Globos negros de 150 e 50 mm de diâmetro.

No caso de convecção forçada, a temperatura média radiante é calculada a partir da temperatura de globo, da temperatura e da velocidade do ar (ISO 7726, 1998) por

$$\bar{t}_r = \left[\left(t_g + 273\right)^4 + \frac{1{,}1 \times 10^8 \times v_a^{0{,}6}}{0{,}95 \times 0{,}05^{0{,}4}} \times \left(t_g - t_a\right) \right]^{1/4} - 273\,, \qquad (4.4)$$

enquanto que em convecção natural se recorre à expressão

$$\bar{t}_r = \left[\left(t_g + 273\right)^4 + \frac{0{,}25 \times 10^8}{0{,}95} \times \left(\frac{\left|t_g - t_a\right|}{0{,}05} \right)^{1/4} \times \left(t_g - t_a\right) \right]^{1/4} - 273\,. \qquad (4.5)$$

Antes de terminar, a Tabela 4.4 lista o equipamento usado nas avaliações e a Figura 4.22 ilustra a cadeia de medição dos parâmetros físicos. Todos os aparelhos de medição dos parâmetros físicos foram montados num dispositivo portátil dotado de rodízios com travão, concebido especificamente para as auditorias de avaliação de ambientes térmicos de locais de trabalho. A recolha e armazenamento dos dados para o computador nunca foi efectuada no próprio local de trabalho, tendo sido realizada num espaço ou sala disponibilizada pela empresa para esse efeito. As justificações para este procedimento são de natureza diversa, destacando-se a salvaguarda da integridade do computador portátil e das interfaces de ligação dos equipamentos de medida, a não perturbação da actividade dos operários e também como medida de prevenção, a minimização da nossa exposição ao frio. Neste sentido, após cada medição é necessário deslocar todo o equipamento, pelo que o sistema móvel utilizado se revelou particularmente adequado para as avaliações no terreno.

Tabela 4.4 Equipamento usado nas avaliações.

- Três data loggers Testo 175 – T2 (refª 0563 1755) com dois canais de medição de temperatura (1 interno + 1 externo), interface (refª 0554 1770) e cabo de conexão ao PC (refª 0449 0051);

- Três sondas de temperatura externas Testo (refª 0613 1711), com cabo de 2,4 m, bainha em alumínio 40×6 mm (IP65);

- Equipamento Testo 445 (refª 0560 4450) com dois canais e data logger incorporado, fornecido com interface RS 232 para ligação ao computador (refª 0409 0178) e protecção mecânica (refª 0516 0440);

- Sonda combinada de temperatura (-20 a +70ºC) e humidade relativa (0 a 100% rh), de alta precisão Testo (refª 0636 9741) com cabo de ligação (refª 0430 0143);

- Sonda de esfera aquecida, diâmetro 3 mm, com extensão telescópica integrada (max. 850 mm), para medição da velocidade e temperatura do ar (0 a 10 m/s; -20 a +70 ºC), Testo (refª 0635 1049);

- Sonda de temperatura de superfície de paredes Testo (refª 0628 7507);

- Monitor de ritmo cardíaco Sigma Sport PC 1600;

- Três esferas em cobre com diâmetro exterior de 50 mm, espessura de 0,3 mm, pintadas interior e exteriormente de negro *mate* ($\varepsilon \cong 0{,}95$);

- Máquina fotográfica digital;

- Computador portátil

- Software ComSoft 3 Professional Testo (refª 0554 0830).

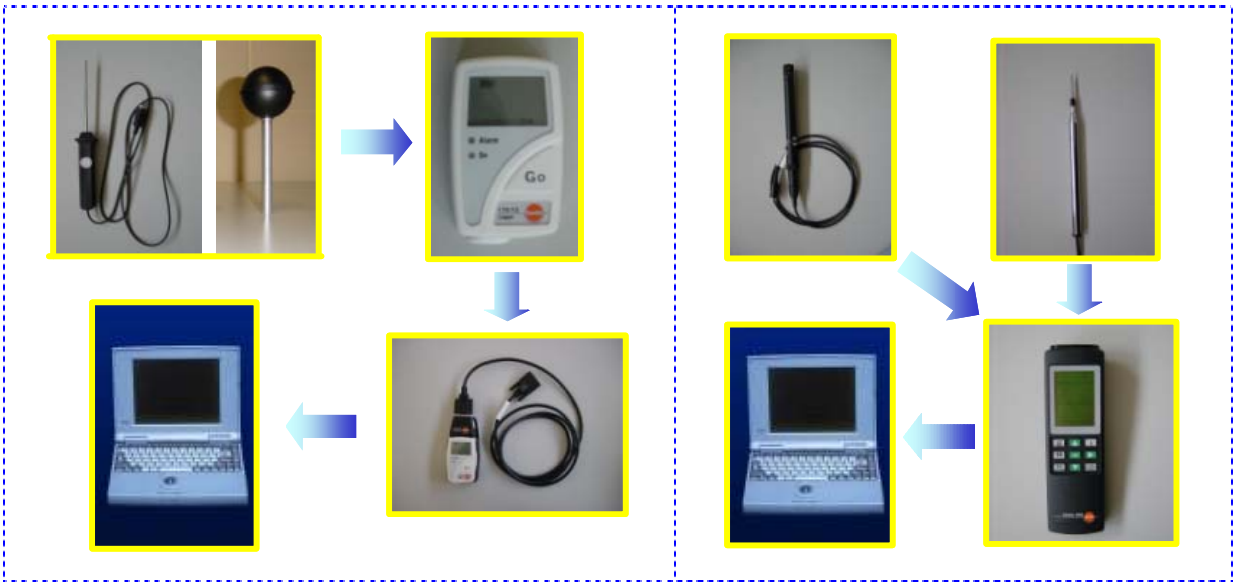


Figura 4.22 Representação esquemática dos sistemas de aquisição e medida.

4.6. NOTAS FINAIS

Neste capítulo foram descritos os dispositivos experimentais mais importantes para a realização dos trabalhos efectuados no âmbito desta dissertação. Recorreu-se a equipamento existente e adquirido especificamente para este fim e desenvolveu-se um mecanismo para simulação da marcha do manequim térmico.

Os dispositivos considerados mais relevantes, câmara climática e manequim térmico - com o seu mecanismo de movimentação -, foram utilizados nos Capítulos 5, subordinado ao tema dos coeficientes de transferência de calor, e 6 centrado na avaliação do isolamento térmico do vestuário. A estes equipamentos junta-se o túnel aerodinâmico, também usado no Capítulo 5 como suporte indispensável a parte das avaliações experimentais efectuadas.

Ainda que menos significativos, é importante reconhecer o contributo dos equipamentos utilizados nas avaliações de ambientes térmicos de postos de trabalho. O compromisso alcançado entre as naturais limitações financeiras e a necessidade de encontrar um conjunto de equipamentos adequados às medições a efectuar revelou-se apropriado, o que possibilitou a obtenção de uma amostra de resultados interessante.