CAPÍTULO 6

MEDIÇÕES DE ISOLAMENTO TÉRMICO DO VESTUÁRIO

Descreve-se a metodologia experimental para avaliação do Isolamento Térmico do Vestuário com um manequim térmico e efectuam-se ensaios de isolamento térmico em condições estáticas de peças individuais de uso comum e de protecção contra o frio. Face aos resultados obtidos, tecem-se considerações relativas aos métodos de cálculo de isolamento térmico do vestuário e sublinham-se as suas especificidades. Consideram-se ainda conjuntos de vestuário de protecção contra o frio e realizam-se ensaios em condições estáticas e dinâmicas. Comparam-se os valores obtidos e discutem-se os efeitos dos movimentos de passada sobre o isolamento térmico.

6.1. INTRODUÇÃO

Ao pretender quantificar, de forma tão rigorosa quanto possível, a protecção térmica proporcionada pelo vestuário, o tamanho, a postura, o tipo e a intensidade dos movimentos do corpo, o grau de humedecimento do vestuário, as condições locais do escoamento, entre outros, representam aspectos que têm necessariamente de ser tidos em conta. O *estado-da-arte* neste domínio foi objecto de uma abordagem resumida no Capítulo 2 de revisão bibliográfica sobre o isolamento térmico do vestuário. Sendo o âmbito da presente contribuição dedicado à avaliação de ambientes de trabalho com exposição ao frio, considerou-se oportuno proceder a um estudo mais completo do isolamento térmico do vestuário, o qual constitui o conteúdo deste capítulo.

Nesta área, a publicação normativa de referência a nível europeu é a Norma ISO 9920 (1995). Nela se definem as especificações e os procedimentos de ensaio (*vd*. Anexo C, Tabela

C.9) e se encontram as tabelas onde estão coligidos valores de referência do isolamento térmico de peças individuais e conjuntos de vestuário. Nas aplicações práticas de engenharia e em estudos de investigação que envolvem campanhas de avaliação no terreno, o recurso a estas tabelas é uma prática comum para estimar o isolamento térmico do vestuário usado pelas pessoas alvo do estudo. No entanto, conforme já foi salientado no Capítulo 2, estas estimativas nem sempre são fáceis dado que, por vezes, não constam das tabelas apresentadas peças idênticas às usadas pelas pessoas. Frequentemente, também são sugeridos vários valores para peças semelhantes, tornando complexa a escolha do mais adequado. Nesta perspectiva, e uma vez que a análise de postos de trabalho com exposição ao frio efectuada no Capítulo 7 é apoiada em estimativas de isolamento térmico, considerou-se importante dispor de uma base de dados mais fidedigna que contemplasse peças características dos ambientes de trabalho em estudo.

Assim, recorrendo ao manequim térmico "*Maria*" descrito na secção (4.3.1), efectuou-se um conjunto significativo de medições com peças individuais e conjuntos de vestuário com o intuito de tornar as futuras estimativas mais realistas. Teve-se ainda como objectivo levar a cabo um estudo científico sobre o tema. Neste contexto, abordaram-se dois aspectos fundamentais, um relacionado com as metodologias de cálculo de isolamento térmico do vestuário (*global*, *série* e *paralelo*) e outro com os efeitos dos movimentos de passada na redução da protecção térmica proporcionada pelo vestuário.

6.2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

As avaliações de isolamento térmico do vestuário decorreram na câmara climática descrita na secção (4.2). Da experiência de ensaios anteriores com o pavimento da câmara climática totalmente tapado, em que se verificaram períodos longos de estabilização, decidiu-se proceder à sua substituição por grelhas de alumínio associadas a chapas de aço inox. Esta modificação estrutural permitiu uma redução efectiva do tempo de resposta de tal modo que, ao contrário do sucedido em testes anteriores, a câmara climática alcança os requisitos exigidos de estabilidade mais rapidamente que o manequim. Para as condições de ensaio usadas, a câmara climática atingiu as condições de estabilidade necessárias decorridos aproximadamente 60 minutos, enquanto que o manequim necessita de cerca do dobro. Contudo, na zona central da câmara, local de permanência do manequim térmico, teve-se o cuidado de deixar um quadrado tapado com 1,8 m de lado, garantindo-se assim em toda a zona circundante velocidades do ar tipicamente inferiores a 0,1 m/s.

Durante o período de estabilização a temperatura e o fluxo de calor médios do manequim eram monitorizados cuidadosamente no computador de controlo. Depois de garantidas condições de regime permanente em ambos os parâmetros, iniciavam-se os ensaios sendo a sua duração típica de 45 minutos. O período de registo estendia-se pelo menos durante 20 minutos, dos quais apenas os 10 finais são considerados para os cálculos do isolamento térmico.

Com o cuidado de reduzir o consumo de energia procurou-se maximizar o número de ensaios em cada dia. De facto, o período de estabilização da câmara climática requer uma parcela não desprezável da energia dispendida e neste sentido os testes iniciavam-se logo pela manhã, terminando normalmente ao final da tarde, com excepção de um dia em que foi necessário prolongar os ensaios até final da noite.

Tratando-se de um conjunto significativo de testes, alguns deles com peças de vestuário muito distintas, foram várias as temperaturas do ar de insuflação utilizadas, correspondendo as mais elevadas às peças individuais e as mais reduzidas aos conjuntos. Para cada *setpoint* foi medido o valor do isolamento térmico da camada de ar, I_a.

As temperaturas operativa (t_o) e média radiante ($\bar{t}_r$) foram, respectivamente, medidas e estimadas de acordo com as especificações referidas na secção (4.5.5.4) e a estratificação térmica verificada com o monitor de stresse térmico 1219 da Brüel & Kjær, constatando-se entre o nível da cabeça e dos tornozelos e para t_a uma diferença média inferior a 0,3 ºC.

Para o estudo do efeito dos movimentos de passada no isolamento térmico do vestuário desenvolveu-se o dispositivo descrito na secção (4.3.2). Este mecanismo possibilita ao manequim térmico *"Maria"* o acto de caminhar e reproduz o movimento natural de pernas e braços, movimentos do corpo que constituem a mais usual e importante fonte de "*ventilação*" da interface pele-vestuário.

6.3. ESTUDO EM CONDIÇÕES ESTÁTICAS

Nos parágrafos seguintes comentam-se os resultados das medições de isolamento térmico em condições estáticas. Consideram-se peças individuais e conjuntos de vestuário e comparam-se os resultados obtidos com as três metodologias de cálculo de isolamento térmico (*global, série e paralelo*).

6.3.1. PEÇAS INDIVIDUAIS

As peças de vestuário testadas foram reunidas em dois grupos distintos: peças de vestuário comum, vulgarmente utilizadas no dia-a-dia (calçado, roupa interior, calças, camisas, *t´shirts*, …), e peças de vestuário de protecção (casacos, calças, coletes). No total efectuaram-se 30 ensaios, sendo 22 relativos ao vestuário comum e 8 ao de protecção (6 casacos e 2 coletes). Enquanto que a selecção das primeiras resultou apenas da constatação do que normalmente é usado no quotidiano, o vestuário de protecção, na sua maioria, foi gentilmente cedido por empresas que acederam a colaborar neste estudo.

As condições térmicas destes ensaios resumem-se na Tabela C.1 e na Tabela C.2. Os ensaios relativos às peças individuais decorreram nos meses de Janeiro, Março e Abril, repartidos por seis dias, três para as peças de uso comum e três para o vestuário de protecção contra o frio. O isolamento térmico da camada superficial de ar (I_a) foi determinado com o manequim térmico nu para cada temperatura do ar de insuflação utilizada. Num número restrito de peças individuais de uso comum (casaco azul, cuecas senhora, sapatos de pele média e *t-shirt* manga curta) e de protecção (casaco nº 3) foram efectuadas duas réplicas em dias distintos para confirmação de resultados.

Na Tabela C.5 e na Tabela C.6 estão coligidos os resultados obtidos. Apresentam-se os valores do isolamento térmico básico (I_{cli}) e efectivo (I_{clu}) e, a título acessório, especificam-se os materiais constituintes das peças ensaiadas de acordo com a informação da etiqueta, indicando-se também os resultados da medição da massa numa balança digital da marca *AND*, modelo *HW-15 K*. A inexistência de etiqueta em 5 peças impossibilitou a especificação das suas características e uma avaria da balança digital impediu a medição da massa de dois casacos de protecção.

A Figura 6.1 ilustra, para as peças individuais de vestuário comum, os valores do isolamento térmico básico (I_{cli}) e efectivo (I_{clu}) obtidos com os métodos *série*, *global* e *paralelo*. Adoptando uma representação em função de I_{clu} crescente, observa-se que as peças idênticas apresentam valores de isolamento semelhantes pelo que é possível identificar mais facilmente os grupos de peças análogos.

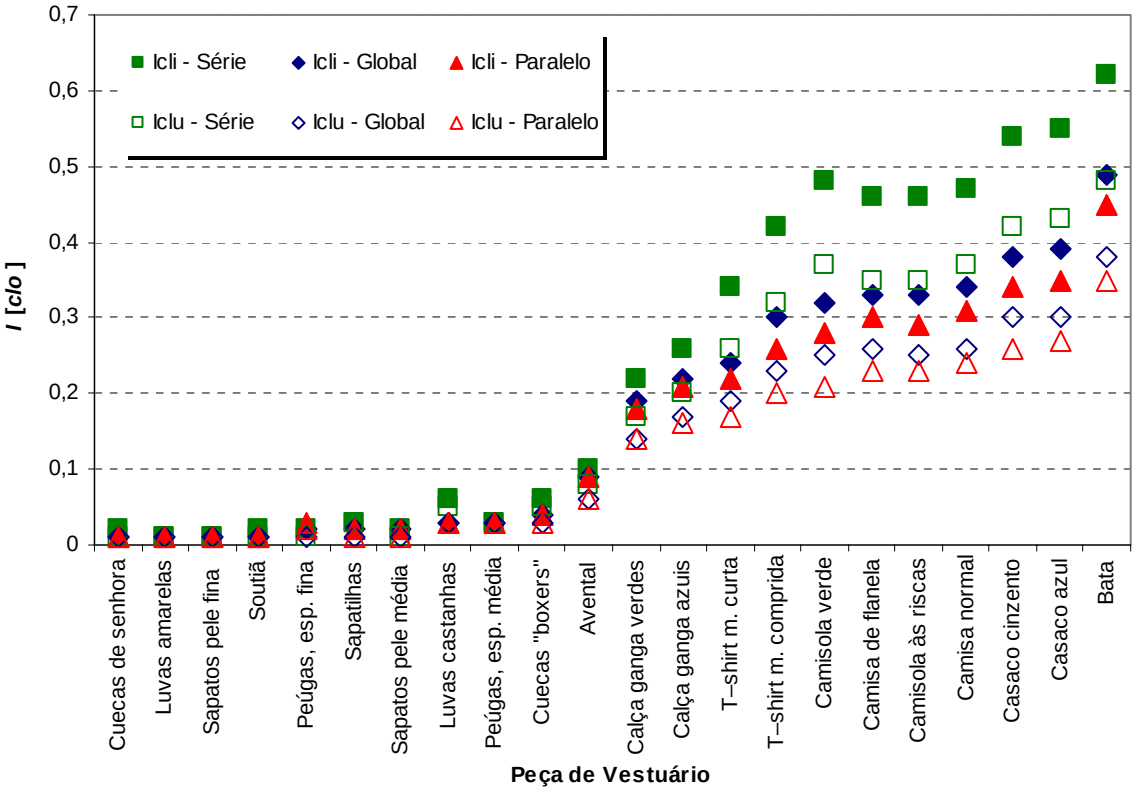

Figura 6.1 Peças individuais de vestuário comum: Valores de I_{cli} e I_{clu} obtidos com os métodos *série*, *global* e *paralelo*.

A Tabela C.5 e a Figura 6.1 mostram que os valores de isolamento térmico básico são superiores aos respectivos valores efectivos e evidenciam as diferenças existentes entre os métodos de cálculo de isolamento térmico, distinguindo-se claramente que o método *série* é o que apresenta os valores mais elevados, seguindo-se o *global*, e finalmente o método *paralelo* com os valores mais reduzidos. Tendo em conta os valores do isolamento térmico básico (I_{cli}) a diferença média relativa entre os métodos *global* e *série* é de 23,2% e de 20,7% em termos de isolamento térmico efectivo (I_{clu}). No que diz respeito aos métodos *paralelo* e *global*, as diferenças médias relativas são de 4,7 e 4,9%, respectivamente para I_{cli} e I_{clu}. O isolamento térmico básico (I_{cli}) variou entre 0,01 e 0,62 *clo* com o método *série*, entre 0,01 e 0,49 *clo* com o método *global*, e entre 0,01 e 0,45 *clo* com o método *paralelo*. Por sua vez, o isolamento térmico efectivo (I_{clu}) variou entre 0,01 e 0,48, entre 0,01 e 0,38 e entre 0,01 e 0,35 *clo*, respectivamente para os métodos *série*, *global* e *paralelo*.

No que diz respeito às peças individuais de vestuário de protecção, reproduzem-se as considerações tecidas para as peças individuais de vestuário comum, com os valores de I_{cli} a serem superiores aos de I_{clu} e os resultados obtidos com o método *série* a serem mais elevados que os do método *global* e estes que os do método *paralelo*. Assim, a Figura 6.2 mostra que o

isolamento térmico básico (I_{cli}) variou entre 0,72 e 1,95 *clo* com o método *série*, entre 0,36 e 1,1 *clo* com o método *global* e entre 0,29 e 0,95 *clo* com o método *paralelo*, enquanto que o isolamento térmico efectivo (I_{clu}) variou entre 0,57 e 1,65, entre 0,28 e 0,90 e entre 0,22 e 0,77 *clo*, respectivamente para os métodos *global*, *série* e *paralelo*. Sublinhe-se que no caso de vestuário de protecção as desigualdades constatadas entre as metodologias de cálculo de isolamento são superiores. Da Tabela C.6 conclui-se que a diferença média relativa entre os métodos *global* e *série* é de 43,7% para I_{cli}, e de 45,2% para I_{clu}, sendo de 15,2 e 15,8% entre os métodos *paralelo* e *global*, respectivamente para I_{cli} e I_{clu}.

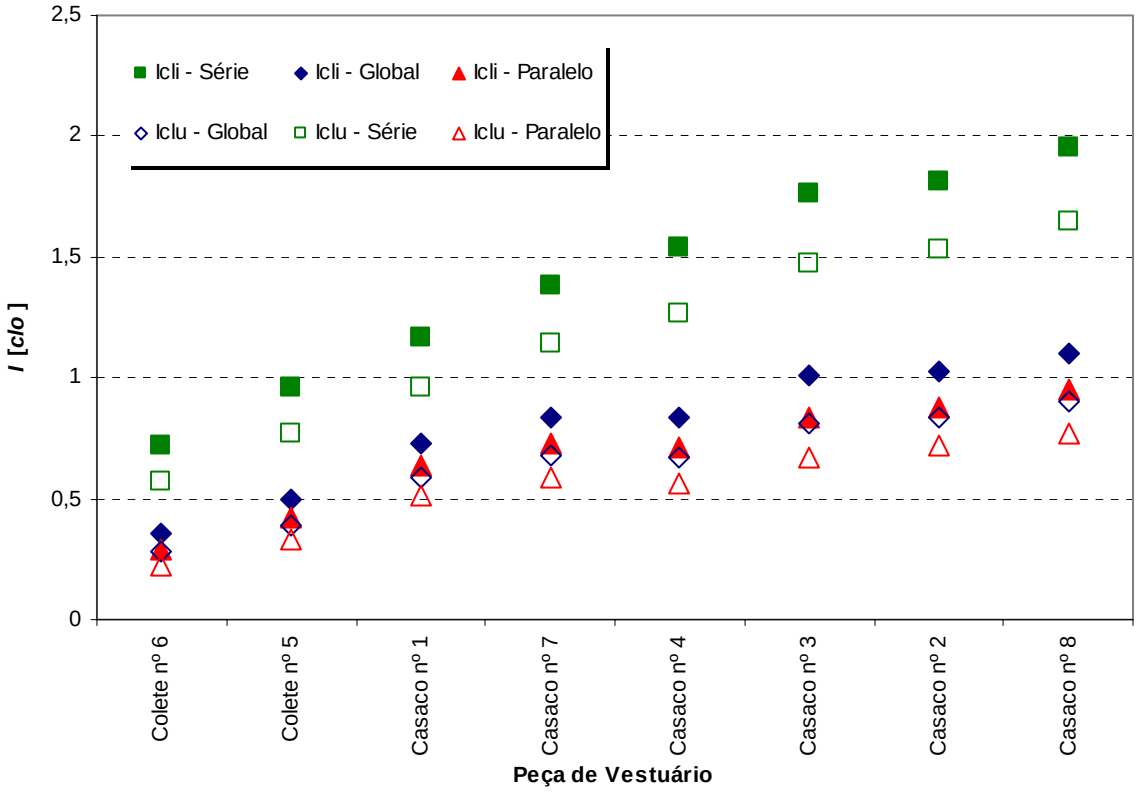

Figura 6.2 Peças individuais de vestuário de protecção: Valores de I_{cli} e I_{clu} obtidos com os métodos *série*, *global* e *paralelo*.

6.3.2. CONJUNTOS

As visitas efectuadas às empresas que colaboraram neste estudo (*vd.* Capítulo 7), revelaram que os trabalhadores que desenvolvem a sua actividade em ambientes térmicos frios envergam conjuntos típicos de indumentárias. O conjunto que pode ser considerado como padrão consiste em calçado (sapatos, botas…), roupa interior (cuecas, meias, *t-shirt*…),

calças, camisa de flanela de manga comprida e camisola. Deste modo, definiu-se um conjunto de base, que se denominou de *Conjunto 0*, sobre o qual se adicionaram os seis casacos e os dois coletes de protecção analisados na secção anterior, constituindo-se assim um total de 9 conjuntos de vestuário característicos de ambientes de trabalho no frio. A Tabela C.3 refere-se às condições térmicas dos ensaios e na Tabela C.7 coligem-se os resultados detalhados dos ensaios realizados, apresentando os valores do isolamento térmico básico (I_{cl}), efectivo (I_{cle}) e total (I_T). A Figura 6.3 ilustra, para cada um destes parâmetros, a comparação dos resultados obtidos com os três métodos de cálculo de isolamento térmico. Para cada temperatura do ar de insuflação utilizada foi determinado o valor do isolamento térmico da camada superficial de ar (I_a).

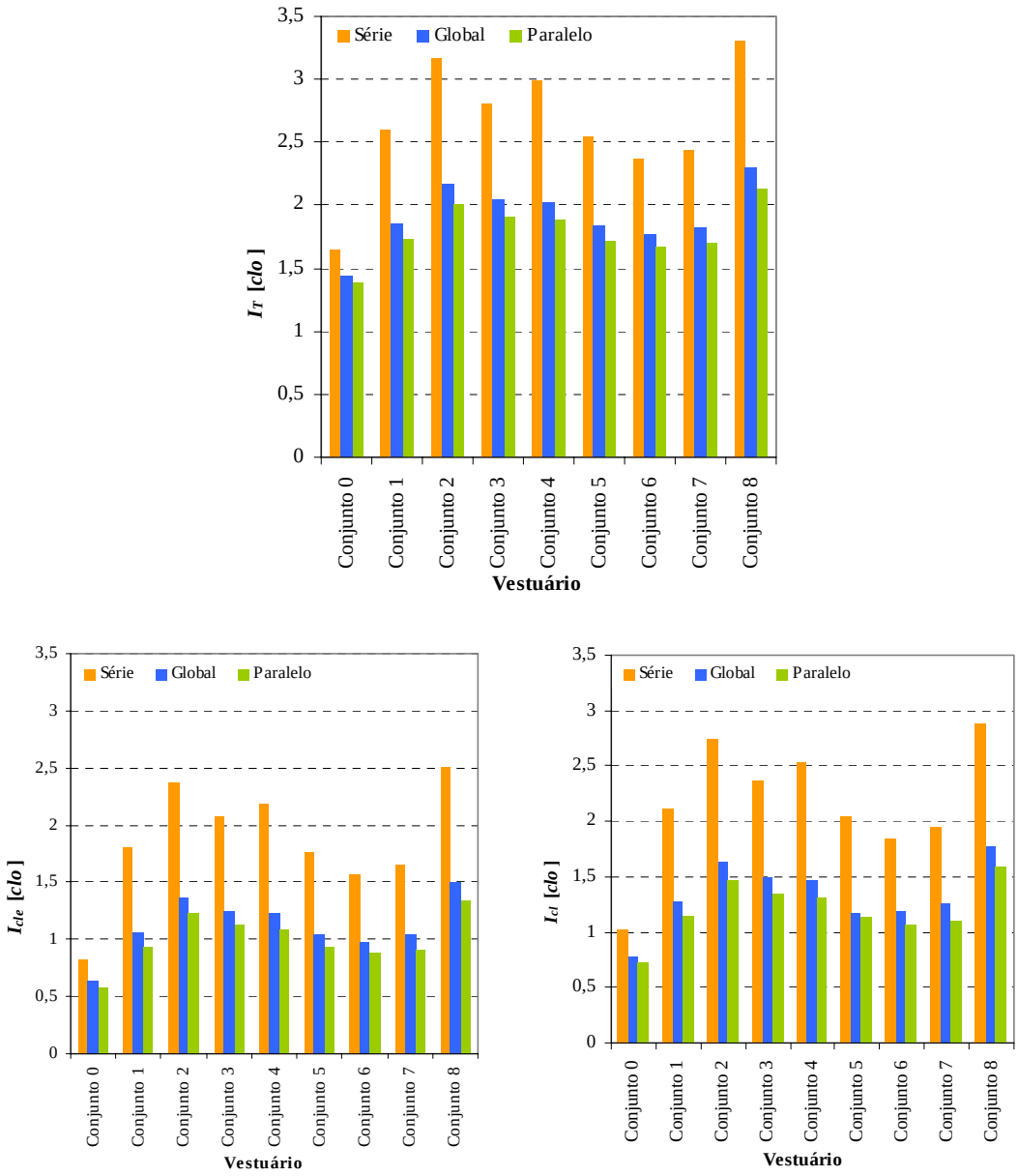

Figura 6.3 Valores de I_T , I_{cle}, e I_{cl} obtidos com os métodos *série*, *global* e *paralelo*.

A Figura 6.3 mostra que para os conjuntos, e à semelhança do verificado nas peças individuais, o método *série* regista sempre os valores mais elevados e o método *paralelo* os valores menores. Centrando-nos sobretudo no isolamento térmico total (I_T), verifica-se que os valores obtidos com os métodos *série*, *global* e *paralelo*, oscilaram entre 1,64 e 3,31 *clo*, entre 1,44 e 2,29 *clo* e entre 1,38 e 2,12 *clo*, respectivamente. Em termos de diferenças relativas entre os métodos de cálculo, obteve-se um valor de 26,7% entre os métodos *global* e *série*, e de 6,6% entre os métodos *paralelo* e *global*. Para I_{cle} o valor médio das diferenças relativas é de 38,5% para os métodos *global* e *série*, e 10,5% entre os métodos *paralelo* e *global*. Considerando I_{cl}, obtém-se 36,4% para a comparação entre os métodos *global* e *série*, e 10,1% entre os métodos *paralelo* e *global*. As diferenças mais acentuadas verificam-se assim em I_{cle} e I_{cl}, facto que está relacionado com o valor de I_a.

A Figura 6.3 mostra ainda que o *Conjunto 0* é o que apresenta as menores diferenças entre os métodos de cálculo. Trata-se, de facto, do traje de trabalho com o isolamento mais uniformemente distribuído pelos membros superiores e inferiores em virtude da inexistência de vestuário de protecção contra o frio. Já os *Conjuntos 1 a 8* revelam maiores diferenças, uma vez que ao incluírem um casaco ou um colete, apresentam um maior desequilíbrio do isolamento entre as várias partes do corpo, sobressaindo neste caso os membros superiores e o tronco. Para evidenciar o efeito da assimetria da distribuição do isolamento, mostra-se na Figura 6.4 os valores locais de I_T dos conjuntos 0 e 8 obtidos com o método *série*. Uma vez que estes conjuntos apresentam os valores mais baixo e mais elevado de I_T, a discrepância de isolamento existente entre as partes do corpo é mais facilmente ilustrada. Assim, embora seja nítido em ambos os casos que os maiores valores se encontram na parte superior do corpo, tendência aliás comum à generalidade dos conjuntos de vestuário, verifica-se que o *Conjunto 8* apresenta uma distribuição extrema do isolamento enquanto que o *Conjunto 0* é mais uniforme. Este efeito repercute-se nos valores obtidos com os métodos de cálculo, constatando-se que uma distribuição não equitativa do isolamento pelo corpo contribui para um aumento das diferenças entre os vários métodos, nomeadamente para um aumento mais significativo do resultado obtido com o método *série*.

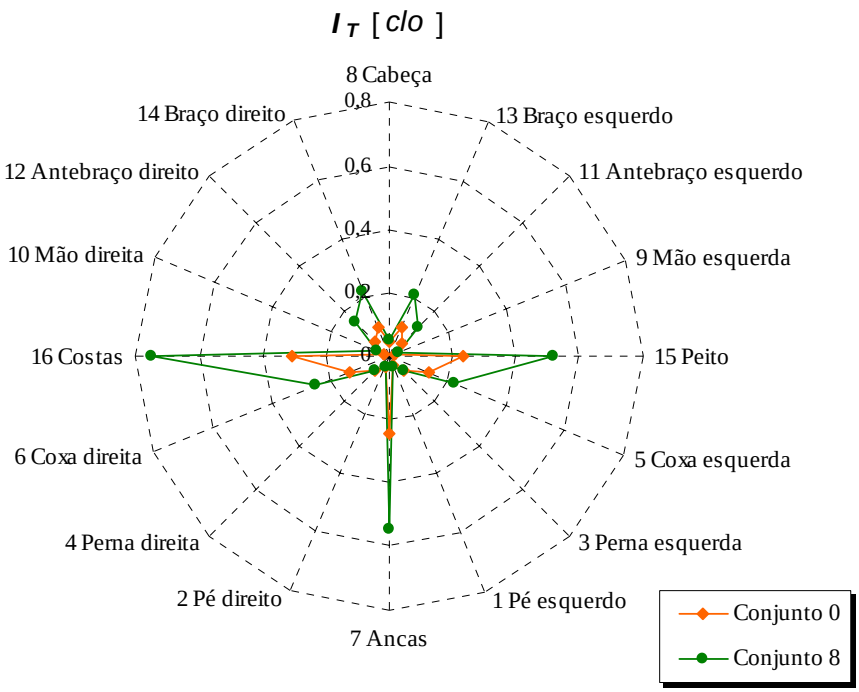

Figura 6.4 Isolamento térmico total obtido com o método *série* para os conjuntos 0 e 8.

6.4. ESTUDO EM CONDIÇÕES DINÂMICAS

Como complemento às avaliações em situação estática, apresentam-se agora os resultados dos ensaios realizados em condições dinâmicas, termo que aqui corresponde a uma velocidade de passada de 45 passos por minuto. A opção por esta velocidade de referência baseou-se na NP ENV 342 (2001), publicação normativa em vigor na altura da realização dos ensaios. Apesar de o manequim e o dispositivo de simulação da marcha permitirem reproduzir velocidades de passada superiores, limitou-se a velocidade àquele valor máximo por razões de segurança do manequim térmico. O protocolo dos testes dinâmicos é idêntico ao dos ensaios estáticos, acrescentando-se apenas os ensaios dos *Conjuntos 0* a *8* com o manequim em movimento.

Uma vez que os movimentos de passada, ao contrário de outros, são reprodutíveis em manequins térmicos, e têm uma importância especial na medida em que se traduzem na locomoção humana, a comunidade científica dedica-lhes um interesse particular. É neste contexto que se insere o objectivo desta secção ao considerar os valores dinâmicos como essenciais para aceder a valores de isolamento mais realistas.

6.4.1. CONJUNTOS

A análise a esta secção centra-se na comparação dos resultados obtidos em condições dinâmicas e estáticas. Na Tabela C.4 e na Tabela C.8 apresentam-se, respectivamente, as condições térmicas dos ensaios dinâmicos e os valores de I_{cle}, I_{cl} e I_T calculados com os métodos *global*, *série* e *paralelo* e a Figura 6.5 ilustra, para cada método de cálculo, a comparação dos resultados obtidos em condições estáticas e dinâmicas. Para cada temperatura do ar de insuflação utilizada foi determinado o valor de I_a com o manequim em movimento. A consideração exclusiva de vestuários de protecção contra o frio identifica-se com um dos objectivos dominantes da presente dissertação.

A análise da Tabela C.8 e da Figura 6.5 mostra uma efectiva redução do isolamento térmico em consequência dos movimentos de passada. Tendo presente que esta série de ensaios foi realizada à velocidade constante de 45 passos por minuto, observa-se, em termos médios, uma redução no valor de I_{cle} de 4,8% para o método *série*, de 7,9% para o *global* e 9,5% para o *paralelo*. Analogamente, para I_{cl} a redução é de 5,0, 9,7 e 11,2%, e para I_T de 5,5, 9,8 e 10,9%, igualmente para os métodos *série*, *global* e *paralelo*. Considerando apenas o método *global*, a análise dos valores máximos e mínimos mostra que para I_{cle} a redução máxima foi de 13,3% (*Conjunto 8*) e a mínima de 3,8% (*Conjunto 7*). Para I_{cl} verificou-se uma redução máxima de 14,6% (*Conjunto 2*) e uma mínima de 5,6% (*Conjunto 7*) e para I_T a redução devida aos movimentos de passada variou entre 13,4% (*Conjunto 2*) e 7,1% (*Conjunto 7*).

Salientando os resultados obtidos nos testes dinâmicos, uma vez que os valores referentes aos testes estáticos foram comentados na secção (6.3.2), e no que diz respeito ao isolamento térmico total, verifica-se na Figura 6.5 que o valor de I_T variou entre 1,56 e 3,04 *clo* com o método *série*, entre 1,32 e 1,99 *clo* com o método *global* e entre 1,25 e 1,83 *clo* com o método *paralelo*. A Tabela C.8 permite ainda quantificar as diferenças relativas, referindo-se, para o caso de I_T, o valor médio de 30,0% obtido entre os métodos *global* e *série* e de 7,7% entre os métodos *paralelo* e *global*. Já se considerarmos I_{cle}, a diferença média relativa é de 40,5% entre os métodos *global* e *série*, e 12% entre os métodos *paralelo* e *global*, sendo para I_{cl} de 39,5 e 11,6% respectivamente para os métodos *global - série* e *paralelo - global*.

Figura 6.5 Valores de I_{cle}, I_{cl} e I_T obtidos com os métodos *série*, *global* e *paralelo* em condições estáticas e dinâmicas.

A menor diferença foi obtida no ensaio do conjunto com o isolamento mais uniforme entre os membros superiores e inferiores (*Conjunto 0*). Considerando os valores de I_T, a diferença entre os métodos *global* e *série* é de 12,2% para os ensaios estáticos e de 15,4% para os testes dinâmicos. Já as maiores diferenças correspondem ao *Conjunto 4* (32,4%) para os testes estáticos, e ao *Conjunto 2* (36,3%) para os ensaios dinâmicos, precisamente dois dos

conjuntos que apresentam valores de isolamento térmico mais elevados. As diferenças entre os métodos *paralelo* e *global* são menores, mas ainda assim com a mesma tendência de variação. Por sua vez, se considerarmos os valores de I_{cl} e I_{cle}, verificam-se variações no mesmo sentido, todavia mais acentuadas.

Com base nestes dados experimentais e à semelhança do efectuado por outros autores, propõem-se expressões para conversão dos valores estáticos em dinâmicos. Assim, considerando os resultados de I_T, propõem-se as expressões (6.1), (6.2) e (6.3), respectivamente para os métodos *global*, *série* e *paralelo*, que se representam graficamente na Figura 6.6. Estas expressões são válidas para uma velocidade de passada de 45 passos por minuto, para uma velocidade do ar na câmara climática desprezável (< 0,15 m/s) e no intervalo considerado ($1{,}44 < I_T < 2{,}29$ com o método *global*, $1{,}64 < I_T < 3{,}31$ com o *série* e $1{,}38 < I_T < 2{,}12$ com o *paralelo*).

Global: $$I_{T_{Dinâmico}} = 0{,}760 \times I_T + 0{,}267 \qquad (r^2 = 0{,}97) \qquad (6.1)$$

Série: $$I_{T_{Dinâmico}} = 0{,}858 \times I_T + 0{,}225 \qquad (r^2 = 0{,}95) \qquad (6.2)$$

Paralelo: $$I_{T_{Dinâmico}} = 0{,}738 \times I_T + 0{,}270 \qquad (r^2 = 0{,}97) \qquad (6.3)$$

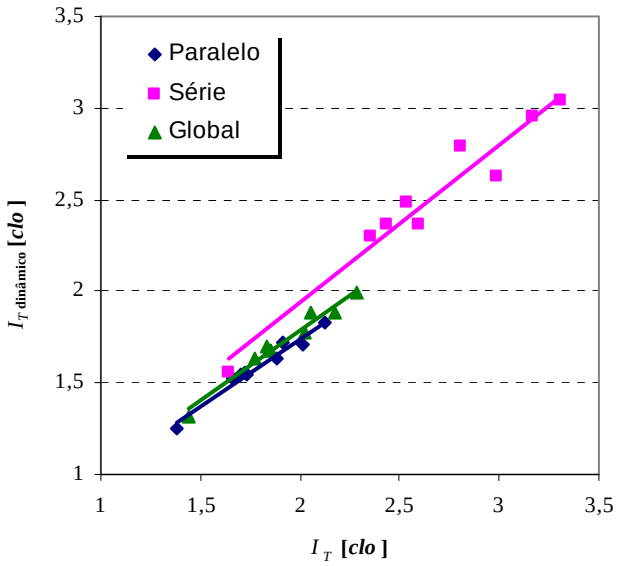

Figura 6.6 Relação entre I_T e $I_{T\,dinâmico}$.

No decurso da pesquisa bibliográfica que se desenvolveu, a cujos aspectos mais relevantes para o presente trabalho já se fez a devida referência no Capítulo 2, foi possível encontrar estudos semelhantes ao actual. Justifica-se assim o interesse de, por um lado, reunir

os resultados experimentais obtidos neste e noutros estudos e apresentar uma correlação baseada num conjunto mais alargado de dados e, por outro, comparar os resultados presentes com os obtidos a partir das equações de correcção de valores estáticos disponíveis na literatura.

Em relação ao primeiro aspecto realizou-se um exercício idêntico ao efectuado por Havenith e Nilsson (2003, 2004). Assim, confrontaram-se os procedimentos experimentais do estudo presente com os dos trabalhos de Havenith *et al.* (1990*a*) e de Kim e McCullough (2000) e, tendo-se concluído que eram semelhantes, procedeu-se em primeiro lugar à conjugação dos resultados presentes com os de Havenith *et al.* (1990*a*), considerando apenas os valores de I_{cl} obtidos com o método *global* por serem os únicos que são apresentados nas publicações referidas. A equação resultante é

$$I_{cl_{Dinâmico}} = 0{,}891 \times I_{cl} - 0{,}019 \,. \qquad (r^2 = 0{,}94). \qquad (6.4)$$

Adicionando agora os dados de Kim e McCullough (2000), chega-se à expressão (6.5) que traduz o conjunto dos resultados, graficamente representados na Figura 6.7.

$$I_{cl_{Dinâmico}} = 0{,}788 \times I_{cl} - 0{,}042 \qquad (r^2 = 0{,}90). \qquad (6.5)$$

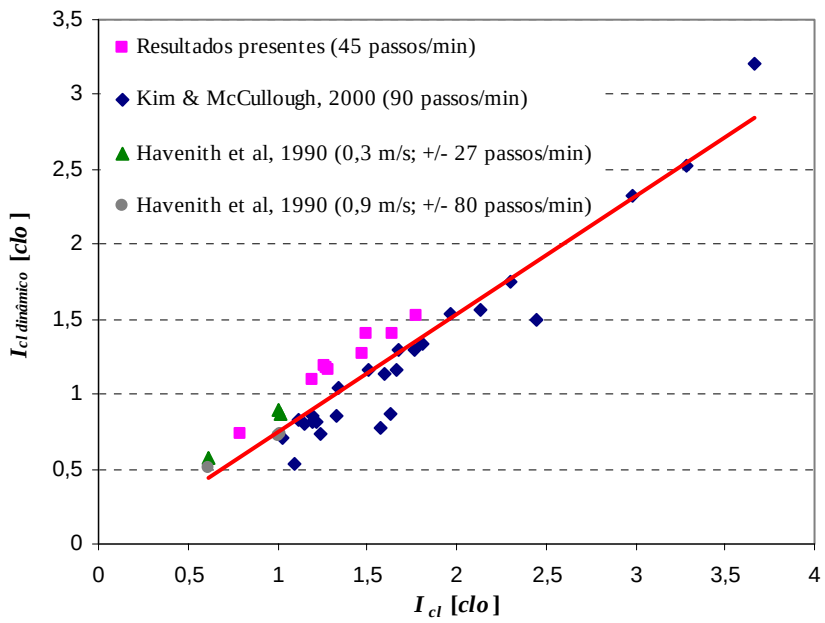

Figura 6.7 Relação entre I_{cl} e $I_{cl\ dinâmico}$.

A perspectiva complementar de análise consiste em comparar os actuais resultados experimentais com os valores obtidos a partir das equações de correcção de valores estáticos. Neste sentido, e tendo em conta os resultados de I_T estáticos obtidos com o método *global*,

consideraram-se as equações propostas por Nilsson e Holmér (1997) e Holmér *et al.* (1999), já apresentadas no Capítulo 2, e Nilsson *et al*. (2000), respectivamente equações (6.6) a (6.8).

$$\frac{I_{T_{dinâmico}}}{I_T} = e^{\left(-0{,}335\times v_a - 0{,}214\times w_s\right)} \tag{6.6}$$

$$\frac{I_{T_{dinâmico}}}{I_T} = e^{\left(0{,}043 - 0{,}398\times v_a + 0{,}066\times v_a^2 - 0{,}378\times w_s + 0{,}094\times w_s^2\right)} \tag{6.7}$$

$$\frac{I_{T_{dinâmico}}}{I_T} = e^{\left(-0{,}15\times v_a - 0{,}22\times w_s\right)} + 0{,}5 \tag{6.8}$$

Note-se que estas expressões incluem a influência de dois parâmetros, a velocidade do ar e a velocidade de passada, enquanto que no trabalho experimental desenvolvido apenas se considerou o efeito da passada. Assim, as representações das equações na Figura 6.8 correspondem a uma velocidade do ar (v_a) constante de 0,1 m/s (velocidade de referência) e a uma velocidade de passada também constante de 45 passos por minuto ($w_s \cong 0{,}51$ m/s).

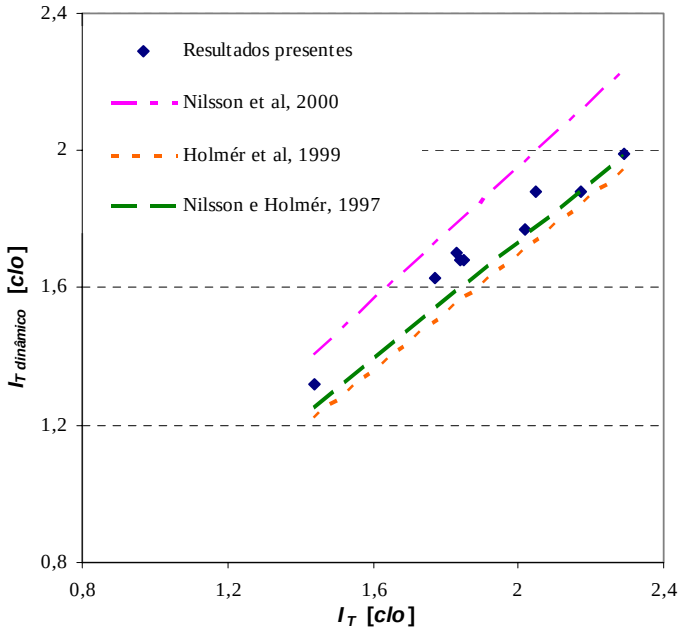

Figura 6.8 Isolamento térmico total (I_T) calculado com o método *global* dos 9 conjuntos de vestuário.

A análise da Figura 6.8 mostra que, face aos resultados experimentais obtidos, a equação proposta por Nilsson *et al*. (2000) sobrestima os resultados enquanto que as expressões sugeridas por Nilsson e Holmér (1997) e Holmér *et al.* (1999) os subestimam. Em termos médios, o erro relativo é de +8,2% no primeiro caso, e de -3,8 e -5,9%,

respectivamente para os segundos e terceiros. Assim, pode concluir-se que a relação que melhor se ajusta aos resultados experimentais é a proposta por Nilsson e Holmér (1997).

6.5. NOTAS FINAIS

Neste apontamento final indicam-se as conclusões relativas às medições de isolamento térmico, referem-se as principais características dos métodos de cálculo de isolamento térmico do vestuário e tecem-se considerações sobre os procedimentos experimentais de avaliação do isolamento térmico do vestuário.

Começa-se por salientar que a realização destes ensaios se veio a revelar importante e útil, na medida em que se constataram diferenças entre os valores agora medidos e os estimados nas avaliações de ambientes térmicos de postos de trabalho, tema que será apresentado no Capítulo 7. No vestuário de uso comum, a generalidade dos resultados aponta para uma sobrestimação dos valores face às medições. Pelo contrário, nas peças individuais de vestuário de protecção contra o frio, a grande maioria dos resultados indica que os valores medidos são superiores aos estimados.

Neste contexto, ainda que a Norma ISO 9920 (1995) inclua tabelas com valores de isolamento térmico de peças individuais e conjuntos de vestuário diversos, nela não se apresentam valores relativos ao vestuário de trabalho de protecção contra o frio. As pesquisas efectuadas na bibliografia também não revelaram a existência de publicações onde se encontrem coligidos valores de referência deste género de indumentárias. Por outro lado, os fabricantes de vestuário de protecção só pontualmente indicam os valores de isolamento das suas peças e, quando tal acontece, raramente fornecem indicações precisas sobre a forma como foram obtidos os valores. Assim, as estimativas efectuadas basearam-se no vestuário de protecção contra o frio mas de uso diário. Todos estes factores dificultam análises comparativas conclusivas e contribuem para que os erros cometidos neste tipo de estimativas se avolumem.

A relevância do estudo efectuado adquire então maior significado e traduz-se num incentivo para a prossecução desta acção com o objectivo de vir a dispor de uma base de dados com um número significativo de resultados. O conhecimento das características térmicas das peças ensaiadas permite dispor já de um conjunto indicativo de informações sobre as indumentárias típicas de ambientes de trabalho com exposição ao frio, que permitirá que as futuras estimativas sejam mais realistas na medida em que se podem comparar as peças em confronto. Esta base de dados apresenta ainda a vantagem de contemplar peças de

vestuário tradicionalmente usadas pela população portuguesa, tendo sido feito um esforço de triagem nesse sentido.

Em relação ao efeito dos movimentos do corpo no isolamento térmico, embora se tenha analisado os movimentos de passada a velocidade constante e sem movimentação sensível do ar, os resultados obtidos vão de encontro aos sugeridos na literatura e indicam uma diminuição efectiva no valor do isolamento.

A análise das diferenças entre os métodos de cálculo de isolamento térmico constituiu outro vector fundamental do estudo presente. Desenvolveu-se assim um trabalho que se considera inovador, visto que as publicações conhecidas focam apenas os métodos *série* e *global*, e que revela bem as diferenças existentes entre as metodologias. Desde logo registe-se que os valores mais elevados correspondem sempre ao método *série* e os mais reduzidos ao método *paralelo*, situando-se os resultados do método *global* numa posição intermédia. Conforme já evidenciado por outros autores (Nilsson, 1997*a* ; Anttonen, 2000 ; Holmér, 2001), os resultados presentes corroboram que a diferença entre os métodos de cálculo pode ser significativa e aumenta com a desigualdade de isolamento entre partes do corpo, tanto no caso de peças individuais como de conjuntos. No caso dos conjuntos e para casos semelhantes ao estudado em que a partir de um determinado conjunto base se acrescenta uma peça de vestuário, pode adiantar-se que quanto maior for a protecção por esta proporcionada, maior será a divergência entre os resultados.

Sendo as indumentárias mais comuns compostas por conjuntos e sabendo-se que a desigualdade de isolamento entre partes do corpo constitui mais a regra do que a excepção, as conclusões deste estudo fornecem indicações que podem ser úteis. De facto, e como já foi esclarecido no Capítulo 2, embora o método *série* não represente devidamente o sistema *corpo-vestuário*, ele pode contribuir para a concepção de vestuário optimizado, nomeadamente no que diz respeito a uma repartição mais equitativa do isolamento, situação sem dúvida benéfica para o utilizador. Assim, ao verificar-se uma distribuição não uniforme de vestuário, o valor do isolamento térmico obtido com o método *série* é sobrestimado e, dado que este valor não traduz de forma realista a protecção proporcionada, uma vez identificada esta situação e conhecidas as zonas deficitárias, é possível corrigir as assimetrias existentes.

Em virtude das suas especificidades, o método *série* é utilizado por poucos investigadores, encontrando-se os seus grandes defensores no Instituto Hohenstein, na Alemanha. Esta metodologia de cálculo virá assim muito provavelmente a cair em desuso, mas ainda é incluída nos *software* associados aos manequins térmicos, como provam as últimas versões dos manequins desenvolvidos pelas empresas *P.T.-Teknik*, na Dinamarca, e *Measurement Technology Northwest*, nos Estados Unidos. Também a recente Norma EN 342

(2004), considera o método *série* como opção de cálculo. No entanto, num contacto informal mantido com um dos elementos encarregue da sua redacção, este referiu que a equipa responsável pela elaboração da norma pretende que, durante o processo de revisão, se estipule um período de consulta a investigadores dedicados a esta área no sentido de os questionar sobre aspectos gerais e específicos da norma, em particular sobre este tema dos métodos de cálculo de isolamento. Outro aspecto importante relaciona-se com os diferentes conceitos de isolamento térmico (total, básico e efectivo), uma vez que, como já foi visto, actualmente ainda não existe uma indicação precisa sobre qual o valor de isolamento que melhor traduz a performance do vestuário (Holmér, 2001).

Nesta perspectiva, entende-se que a cooperação da comunidade científica neste domínio é essencial para ultrapassar as indefinições e esclarecer as dúvidas actuais. Com a partilha dos resultados obtidos em diferentes estudos, das opiniões dos investigadores e das experiências adquiridas, procurar-se-á progredir no sentido da definição do conceito e da metodologia mais adequados. Para já, face às distintas definições de isolamento térmico (I_T, I_{cle}, I_{cl}), às diferentes metodologias de cálculo (*série, global, paralelo*) e aos vários modos de funcionamento dos manequins térmicos, torna-se fundamental especificar claramente o modo como são obtidos os valores. Este cuidado nem sempre se tem verificado, pelo que frequentemente surgem dúvidas na interpretação dos valores. Urge, então, que se alcance um consenso sobre esta temática. Neste âmbito, resumem-se nos parágrafos seguintes algumas recomendações do autor e de outros investigadores, estas devidamente assinaladas:

- *Os ensaios de isolamento térmico devem realizar-se operando os manequins com temperatura constante nos vários segmentos. Com este método de controlo, as condições de estabilidade em termos de temperatura e fluxo de calor nas diversas partes do corpo alcançam-se mais rapidamente, o que se traduz em ensaios mais céleres e menos dispendiosos. Para além deste aspecto, a temperatura de cada parte do corpo é independente da indumentária, sendo por isso os resultados adequados para comparações, em particular quando se procedem a análises locais. Se o controlo respeitar a equação de conforto, opção actualmente disponível no manequim térmico "Maria", a temperatura de cada segmento do manequim depende do vestuário que o envolve, o que significa que o confronto de resultados de isolamento térmico é menos credível, se bem que interessante noutras perspectivas.*

- *Usar os três métodos de cálculo. Recorrendo a uma simples folha de cálculo, o esforço requerido para o emprego das três metodologias é insignificante quando comparado com as vantagens que daí podem advir. Designadamente na fase de concepção e testes preliminares do vestuário, as informações fornecidas pelo método série podem ser preciosas na medida em que permitem detectar não só se o conjunto apresenta grandes assimetrias de isolamento entre partes do corpo, mas também identificar quais as zonas críticas.*

- Adoptar como referência o método global uma vez que este é mais lógico (Holmér, 2001) e mais estável (Nilsson, 1997a), isto é, é menos sensível a variações significativas no valor de isolamento com a assimetria da protecção proporcionada. Evita-se assim que a classificação do vestuário, nomeadamente o de protecção, esteja dependente de variações no valor do isolamento atribuíveis à metodologia de cálculo. O método global é também o mais conhecido e amplamente utilizado, não só pela comunidade científica, mas também ao nível industrial, baseando-se, aliás, a grande maioria da informação disponível actualmente neste método.

- Usar os valores de I_T. Além de se tratar da grandeza medida no manequim térmico, evita-se a avaliação de I_a e a medição de f_{cl} que, como se sabe, é complexa, ou a sua estimativa normalmente efectuada a partir de I_{cl} e baseada numa correlação fraca. Tem ainda a vantagem de dificultar a manipulação dos resultados de isolamento térmico por forma a obter valores superiores (Nilsson, 1997a), dado que as diferenças entre os métodos de cálculo são menos acentuadas com I_T, como aliás comprovam os resultados obtidos no presente trabalho.

- Finalmente, deve definir-se uma etiqueta padrão para todo o tipo de vestuário, e em particular do vestuário de protecção contra o frio. Recomenda-se que se adopte o método global e que se indique o valor de I_T.

A adopção destas recomendações tem certamente implicações que não devem ser ignoradas. No Capítulo 2 demonstrou-se que operando o manequim térmico com temperatura constante em todos os segmentos, a expressão do método *global* se transforma na do método *paralelo*, pelo que o processo de controlo dos segmentos representa um aspecto importante. Outro pormenor relaciona-se com a adopção do valor de I_T, alertando-se para o facto de que se o objectivo for comparar valores de isolamento térmico de peças individuais ou conjuntos de vestuário, por si só, o recurso a I_{cl} será sempre necessário.

Antes de terminar salienta-se que esta temática está de novo em discussão no seio da comunidade científica. Além de novas equipas de investigação que se dedicam a esta área, e entre as quais se inclui a liderada pelo Prof. Divo Quintela, alguns dos mais importantes investigadores neste domínio estão de regresso, motivados, talvez, pela nova geração de manequins, actualmente já disponíveis e aptos para a realização de testes dinâmicos e de resistência à transferência de vapor de água. Prova disso são os trabalhos recentes de revisão da Norma ISO 9920 (1995), cerca de 10 anos após a sua primeira edição. Esta nova versão está a ser alvo de uma reformulação profunda e irá certamente representar um importante passo, não só porque trata de forma mais alongada e pormenorizada alguns dos temas deficitários na actual versão, mas também porque deverá contribuir para esclarecer dúvidas até agora recorrentes.