CAPÍTULO 9

CONCLUSÃO

Referem-se os apontamentos finais, descrevendo globalmente as conclusões obtidas nos capítulos anteriores, e indicam-se algumas perspectivas de trabalho futuro no seguimento dos assuntos aqui discutidos e apresentados.

9.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação é o culminar do trabalho desenvolvido ao longo de cerca de quatro anos. Chegado ao fim, importa rever as principais conclusões do trabalho realizado face aos resultados obtidos, anotar os contributos considerados originais e definir objectivos futuros, numa perspectiva de continuidade da investigação aqui apresentada.

A fase de recolha bibliográfica permitiu uma actualização e um conhecimento mais completos sobre as matérias em foco nesta dissertação. A primeira parte do trabalho é essencialmente consagrada a uma síntese das pesquisas realizadas e apoia-se nos Capítulos 2 e 3 onde se percorrem os tópicos considerados mais relevantes para a caracterização térmica de vestuário e para o estudo de ambientes térmicos frios. Apesar da natural dificuldade em sintetizar as diversas componentes em análise, entende-se que o conteúdo de cada um dos temas é o indispensável para uma abordagem consolidada a desenvolvimentos posteriores. No Capítulo 4 descrevem-se os equipamentos principais usados ao longo do trabalho.

Na segunda parte estudam-se as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente. Nela se procede a um conjunto significativo de medições, que envolvem a determinação experimental de coeficientes de transmissão de calor por convecção e a avaliação do isolamento térmico de peças individuais e conjuntos de vestuário. O Capítulo 5 de *Determinação Experimental de Coeficientes de Transmissão de Calor por Convecção* divide-

se em duas grandes secções. A primeira engloba os ensaios realizados em câmara climática e centra-se nas medições, em condições de convecção natural e para as posturas estática e dinâmica, do isolamento térmico da camada superficial de ar (I_a) e dos coeficientes de transferência de calor por convecção entre o corpo humano e o ambiente (h_{conv}). Os resultados obtidos para I_a e h_{conv} vão de encontro aos sugeridos na literatura e demonstram uma influência sensível da velocidade de marcha. No caso de I_a o valor médio registado para a postura em pé foi de 0,81 *clo*, reduzindo-se para 0,73 *clo* no ensaio realizado com uma velocidade de passada de 45 passos/min. Este efeito é novamente posto em evidência nas medições de h_{conv}, com os valores superiores a serem obtidos nos testes com a velocidade de marcha mais elevada. Numa perspectiva complementar, a determinação de h_{conv} locais ilustra as diferenças entre as 16 partes do manequim térmico. Na zona central do corpo a influência da velocidade de passada pode ser desprezada, enquanto que nos membros esse efeito é acentuado, em particular nos inferiores. A segunda secção deste capítulo representa um trabalho de continuidade e diz respeito aos ensaios realizados em túnel aerodinâmico. Consideram-se condições de convecção natural e forçada, o manequim em repouso e em movimento, vestido e nu, e analisam-se as influências dos movimentos de marcha e do vestuário. A comparação entre as posturas estática e dinâmica com o manequim nu e escoamento frontal constitui a finalidade do primeiro conjunto de resultados. Em convecção natural, o coeficiente de transmissão de calor para o corpo todo foi de 3,5 W/m^2 ºC com o manequim em pé e de 4,5 W/m^2 ºC com uma velocidade de passada de 45 passos/min. Para convecção mista e forçada propõem-se equações para o corpo todo e para as 16 partes do manequim que representam a variação de h_{conv} em função da velocidade do escoamento sob a forma de uma lei de potência. No caso do corpo todo conclui-se que as diferenças entre os resultados obtidos com o manequim em repouso e em movimento são reduzidas. Efectuou-se assim uma análise complementar em que se reuniram os dados experimentais de ambos os testes, e propõe-se uma correlação conjunta entre os parâmetros adimensionais que regem os fenómenos convectivos. Para estudar a acção do vestuário considera-se o escoamento a incidir de frente e a postura estática e analisam-se as diferenças entre o manequim nu e vestido. Os coeficientes de transmissão de calor para o corpo todo em condições de convecção natural e com o manequim nu e vestido foram de 3,5 e 3,7 W/m^2 ºC, respectivamente, valores que corroboram os sugeridos na bibliografia e as indicações de um resultado mais elevado na condição vestida. Os resultados locais colocam em destaque a grande variedade de parâmetros com influência no valor de h_{conv}, entre os quais a permeabilidade ao ar, as infiltrações de ar, os movimentos do corpo, a ajustabilidade do vestuário, entre outros. A importância relativa de cada um não é ainda conhecida, constituindo a sua quantificação um desafio complexo. Com ar em movimento o ensaio com o manequim vestido evidencia dois tipos de comportamento,

o que sugere uma distinção entre condições de convecção mista e forçada, em que a transição ocorre para valores na ordem de 1 m/s.

No Capítulo 6 apresentam-se os resultados das medições de isolamento térmico de peças individuais e conjuntos de vestuário. Estes ensaios decorreram em ambiente controlado proporcionado pela câmara climática e com o manequim térmico "*Maria*". Se as indumentárias têm um papel sempre importante na interacção das pessoas com o ambiente térmico, em sentido lato, em ambientes frios o vestuário de protecção assume nessa relação uma especial relevância, pelo que, naturalmente, se dedicou uma atenção particular ao estudo detalhado das suas características térmicas. As medições efectuadas foram assim enquadradas nos trabalhos do Capitulo 7, para averiguar da sua adequação a ambientes de trabalho com exposição ao frio, tendo sido avaliados exemplares de vestuário de uso comum e de protecção contra o frio em condições estáticas e dinâmicas. Com o estudo em condições estáticas pretendeu-se sublinhar as diferenças entre as metodologias de cálculo de isolamento térmico do vestuário (*série*, *paralelo* e *global*). Conclui-se que o método *série* apresenta sempre valores mais elevados, seguido do método *global* e *paralelo*. Tanto no caso de peças individuais como nos conjuntos, a repartição do isolamento entre partes do corpo de forma não equitativa contribui para um aumento da diferença entre os métodos de cálculo, nomeadamente através do aumento do resultado obtido com o método *série*. É importante referir que foi na sequência deste trabalho que surgiu, pela primeira vez, a denominação de *global* para o método de cálculo considerado como padrão pela ISO. Tratou-se, talvez, de um atrevimento, mas que mereceu a aprovação do Prof. George Havenith coordenador do processo de revisão da ISO 9920 e responsável pela sua edição. Foi ainda neste contexto que o Prof. George Havenith solicitou, a título informal, a apreciação pela equipa do Prof. Divo Quintela da versão preliminar da nova norma. O estudo em condições dinâmicas quantificou a influência que os movimentos de passada provocam na redução do isolamento térmico do vestuário. Face aos resultados obtidos propõem-se expressões para conversão dos valores estáticos em dinâmicos. Adicionalmente, confrontam-se os resultados presentes com os disponíveis na literatura verificando-se que, embora umas correlações os sobrestimem e outras os subestimem, em termos médios as diferenças não são muito significativas. Enquanto trabalho de investigação, enquadrado nos esforços da comunidade científica internacional que se dedica a este tema, entende-se que foi possível obter um conjunto de informações que pode contribuir para a redefinição dos procedimentos de normalização a adoptar em avaliações experimentais das características térmicas do vestuário.

No âmbito das contribuições experimentais exploradas nos Capítulos 5 e 6 é ainda justo realçar o desenvolvimento do mecanismo inovador que acrescenta ao manequim a capacidade de caminhar. A realização de ensaios em condições dinâmicas, agora possível,

permite medições de isolamento térmico de vestuário que melhor traduzem a sua performance efectiva. Este dispositivo, que admite ainda a simulação de velocidades de passada distintas, garante oportunidades para alargar o espectro da investigação neste domínio.

A terceira parte aborda a problemática dos ambientes de trabalho com exposição ao frio. Efectua-se uma caracterização do ambiente térmico de locais de trabalho e procede-se a uma avaliação subjectiva da exposição ao frio. No que diz respeito às avaliações de ambientes térmicos de locais de trabalho apresentadas no Capítulo 7, utilizaram-se meios técnicos e metodologias que se coadunam com o *estado-da-arte* nesta matéria. A presente compilação de resultados evidencia a importância do estudo de ambientes térmicos frios e constitui uma contribuição que se entende dever salientar face à inexistência de dados relativos à realidade portuguesa. A primeira nota é para a constatação da existência de postos de trabalho com exposição a ambientes térmicos adversos. Se este aspecto não representa propriamente uma novidade, uma vez que a exposição a ambientes frios era conhecida, já o número de trabalhadores envolvidos surpreende pela quantidade expressiva. De facto, e em particular na *Indústria Alimentar*, a exigência de ambientes de trabalho em câmaras frigoríficas e zonas de temperatura controlada impõe, necessariamente, exposições contínuas e intermitentes a situações de sobrecarga e stresse térmicos. Tendo em conta, por um lado, a amostra de resultados que foi possível reunir neste trabalho e, por outro, a metodologia proposta na ISO/TR 11079 (1993) baseada na determinação do índice *IREQ*, os sectores do *Comércio e Indústria de Peixe* podem considerar-se como os mais adversos uma vez que é nestes que se verifica a maior percentagem de situações correspondentes a $I_{clr} < IREQ_{mínimo}$ e em que se observam tempos de permanência em câmaras frigoríficas mais prolongados. As *Indústrias de Lacticínios* com períodos de exposição de longa duração e a *Distribuição Alimentar* em que as características da actividade desenvolvida exigem repetidas visitas às câmaras frigoríficas, surgem também como sectores problemáticos. Na *Distribuição e Investigação Farmacêuticas* os tempos de permanência em câmaras frigoríficas são curtos e não se observaram situações de exposição a temperaturas negativas, pelo que face aos restantes sectores se consideram como os mais favoráveis. No que diz respeito aos locais e temperaturas de trabalho, as câmaras de congelados com temperaturas ambientes padrão na ordem dos -20 ºC, consideram-se, à partida, como os alvos de maior atenção. Quando as avaliações mostram que todos os locais com estas características apresentam, na perspectiva do índice *IREQ*, valores resultantes de isolamento térmico do vestuário disponível inferiores ao requerido para o critério mínimo ($I_{clr}<IREQ_{mínimo}$), aqueles aspectos adquirem maior relevância. Os resultados obtidos em câmaras de refrigeração, caracterizadas por temperaturas positivas inferiores a 8ºC

mas onde se constatam rotinas de trabalho que exigem 8 horas de exposição, mostram que nestes locais a interpretação do índice *IREQ* se distribui pelas três hipóteses possíveis. Nos locais de trabalho à temperatura ambiente ou com temperatura controlada, constatou-se que o vestuário utilizado proporciona um nível de protecção suficiente. Por fim, deve referir-se que este estudo motivou o desenvolvimento de um sensor de globo negro com características distintas do globo padrão. Uma vez que se necessitava de um sensor com um tempo de resposta reduzido, concebeu-se um novo dispositivo com um diâmetro três vezes inferior ao globo padrão e estampado a partir de uma chapa de cobre de reduzidas dimensões. Tratou-se de mais uma iniciativa que foi possível concretizar, sendo por isso o sensor utilizado nas avaliações de campo, e que oferece a possibilidade continuar a ser usado em acções futuras e no âmbito mais amplo do estudo de ambientes térmicos.

A complexidade da campanha de medições dos parâmetros físicos mostrou a necessidade de uma melhor caracterização do trabalhador e do posto de trabalho, o que motivou a realização de avaliações complementares de índole subjectiva baseadas em inquéritos. Um importante grupo económico do sector da *Distribuição Alimentar* viria a possibilitar a concretização de um estudo com cobertura do território continental, abrangendo 17 distritos e um total de 1575 questionários recolhidos. O Capítulo 8 é consagrado à apresentação dos resultados obtidos. Em primeiro lugar refira-se que a grande maioria dos postos de trabalho no frio é ocupada por jovens e por elementos do género feminino. As mulheres desempenham mesmo as tarefas mais desfavoráveis em termos de exposição ao frio, pormenor que se revelou surpreendente face às expectativas iniciais. No que diz respeito aos aspectos relacionados com a saúde dos trabalhadores, sublinhe-se que as patologias mencionadas no questionário se referem às que podem surgir com a exposição ao frio ou ser agravadas por exposições prolongadas. Em virtude do número expressivo de respostas obtidas, considera-se essencial uma intervenção continuada dos Médicos do Trabalho, a necessidade de regularmente promover acções de supervisão médica e de efectuar exames de admissão aos trabalhadores destinados ao desempenho de funções em ambientes térmicos frios. Os resultados obtidos nas questões relacionadas com o ambiente térmico indicam que as condições de trabalho no sector da *Distribuição Alimentar* não são das mais adversas, verificando-se mesmo respostas positivas em termos de conforto. A tolerância evidenciada em relação às condições térmicas do local de trabalho revela, por um lado, que os tempos de exposição nas câmaras frigoríficas não são muito prolongados e, por outro, acentua a importância do vestuário de protecção que, no caso particular do grupo económico estudado, assegura a sua distribuição generalizada. O tema do vestuário de protecção é ainda explorado

com questões complementares cujos resultados sugerem possibilidades de melhoria do seu desempenho.

Terminado este trabalho espera-se que ele possa de algum modo contribuir para alertar todos os intervenientes, nomeadamente os quadros superiores e os responsáveis pelos serviços da Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho das organizações, para a problemática do ambiente térmico. Interligando as várias componentes abordadas, pretende-se promover a melhoria das condições de trabalho e colaborar para a redução dos efeitos negativos e dos riscos associados ao desenvolvimento de tarefas em ambientes térmicos frios.

9.2. PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

Com esta dissertação fecha-se um ciclo. No entanto, não se trata de um trabalho final, uma vez que neste estudo foram definidas linhas de orientação para desenvolvimentos futuros. Assim, nesta secção, revêem-se as actividades científicas iniciadas e/ou desenvolvidas neste trabalho que representam pontos de partida para novos objectivos. Em termos gerais pretende-se acompanhar os diferentes tópicos abordados. O tema central orientado para o *Estudo de Ambientes Térmicos Frios* permanecerá, naturalmente, entre as prioridades. Mantendo a perspectiva ocupacional, a monitorização da realidade nacional continuará a merecer uma atenção especial, garantindo uma vigilância sobre os sectores de actividade industrial já abrangidos e alargando a novas áreas o espectro das avaliações. A exposição ao calor, tema da tese de mestrado do autor, será também objecto de um olhar atento, renovando assim o interesse pelo estudo de ambientes térmicos extremos. Estes dois temas antagónicos constituem domínios de investigação que carecem de respostas futuras para complementar os conhecimentos já adquiridos.

A tendência crescente para a consideração das avaliações subjectivas constatada na comunidade científica repercutiu-se também nesta dissertação. Os resultados alcançados motivam a prossecução deste tipo de iniciativas e alertam para a importância da informação que pode ser obtida, pelo que se julga interessante continuar a utilizar estas ferramentas. Os trabalhos desenvolvidos suscitam pelo menos duas intervenções em que se reconhece a necessidade e o interesse de efectuar mais trabalho. Os problemas de saúde apresentados pelos trabalhadores afectos a ambientes com exposição ao frio são, por si só, suficientes para despertar curiosidade por esta área. Urgem, assim, actuações mais profundas, que passam necessariamente pelo envolvimento de especialistas de Medicina Ocupacional. A elaboração de um estudo epidemiológico neste âmbito afigura-se como indispensável para acções correctivas fundamentadas. Na esfera do vestuário de protecção são várias as variáveis que

influenciam o conforto, entendido em sentido lato. O CITEVE possui, em muitas delas, uma experiência acumulada e de mérito, pelo que se entende ser o parceiro ideal para uma intervenção qualificada. Aliás, foi no contexto deste trabalho e dando cumprimento a um interesse comum, que o CITEVE e a ADAI celebraram um protocolo de colaboração em 16 de Julho de 2004, onde o projecto de desenvolvimento de vestuário de protecção contra o frio com características inovadoras constituiu uma primeira iniciativa. Neste sentido, a promoção de um questionário conjunto permitiria reunir valências, certamente com resultados interessantes. Estes dois estudos têm em comum a característica de fomentar parcerias, abrindo possibilidades de cooperação com outras entidades.

Enquadrada no estudo de ambientes térmico frios, admitiu-se ainda a possibilidade de alargar este trabalho científico envolvendo ensaios laboratoriais com trabalhadores que desenvolvem a sua actividade em ambientes frios. Não foi possível concretizar esta componente pelo que agora representa um desafio para o futuro. O objectivo é reproduzir em laboratório as tarefas normalmente efectuadas numa câmara frigorífica e realizar uma investigação mais detalhada, recorrendo-se para o efeito ao ambiente controlado proporcionada pela câmara climática, palco considerado propício para uma investigação desta natureza. A monitorização de funções fisiológicas, das condições ambientais e a elaboração de questionários específicos, constituem algumas das finalidades do estudo. Aqui também se pretende contar com a colaboração de Médicos do Trabalho, nomeadamente através da realização de exames prévios de admissão e acompanhamento dos procedimentos experimentais. Os resultados então obtidos servirão de comparação às avaliações no terreno.

Outro vector aponta para a continuidade das avaliações de isolamento térmico. Quando se necessita de valores de isolamento do vestuário, na grande maioria das vezes procede-se a estimativas baseadas em tabelas existentes na literatura. A adequação destas colectâneas de valores à nossa realidade, contemplando peças tradicionalmente usadas pela população portuguesa, é um processo que justifica uma intervenção continuada com campanhas de medições de isolamento de peças e conjuntos de vestuário de uso comum e de protecção. O alargamento da base de dados já existente contribuirá assim para o seu enriquecimento, tornando-se num instrumento dotado das informações necessárias para estimativas fundamentadas, cada vez mais valioso e útil à comunidade académica e industrial.

É neste sentido que se julga interessante estabelecer protocolos de cooperação com empresas e instituições nacionais ligadas aos sectores do têxtil e do vestuário. No nosso país, estas actividades industriais têm, além de uma enorme tradição, um impacto económico e social significativo de que são prova inequívoca o número de empresas e de trabalhadores envolvidos. Justifica-se por isso, que os ensaios de avaliação de isolamento térmico do

vestuário possam ser realizados de uma forma sistemática também em Portugal e por instituições como a ADAI, que neste contexto já estabeleceu os primeiros contactos e realizou testes preliminares que visaram demonstrar as capacidades técnicas dos meios disponíveis.

A avaliação dinâmica de isolamento térmico afigura-se como outra área de investigação com possibilidades de desenvolvimentos futuros. Tendo-se iniciado neste trabalho este tipo de avaliações experimentais, importa agora dar-lhe continuidade considerando a influência de outros factores, como a velocidade do vento e o seu ângulo de incidência, bem como velocidades de marcha distintas das estudadas.

É ainda importante salientar que as avaliações experimentais efectuadas neste trabalho foram realizadas com o método de controlo dos segmentos de acordo com a equação de conforto. Constituindo a medição do isolamento térmico uma das áreas em que vislumbram oportunidades de trabalho, irão ser desenvolvidos esforços no sentido de vir a dispor dos métodos de controlo alternativos, sobretudo o de temperatura constante. A concretização deste objectivo permitirá, juntamente com a câmara climática, o cumprimento dos requisitos exigidos pelas diferentes normas internacionais, e abrirá perspectivas para novos desafios.

No âmbito das actividades de investigação sobre este tema, é também fundamental acompanhar a definição das especificações relativas às metodologias de cálculo do isolamento. Trata-se de uma área em foco na comunidade científica e sobre a qual a equipa da ADAI se tem debruçado, traduzindo-se as intervenções de âmbito internacional já realizadas numa motivação para prosseguir actividades neste domínio. Por último, a avaliação da resistência evaporativa e da permeabilidade ao vapor de água é, neste quadro, a área em que se adivinham maiores desenvolvimentos, aguardando-se o aparecimento de equipamentos cada vez mais sofisticados para o estudo de amostras têxteis e de peças acabadas. O seguimento destas inovações, em especial os manequins com a capacidade de transpirar, integra o lote das maiores expectativas.

A determinação experimental de coeficientes de transmissão de calor por convecção é outra linha de investigação que tem norteado as actividades científicas da ADAI. A partir de ensaios realizados em câmara climática e em túnel aerodinâmico, em condições de convecção natural e forçada, com o manequim térmico nu e vestido, em pé, sentado e deitado, numa postura estática e dinâmica e submetido a escoamentos de ar provenientes de várias direcções, dispõe-se já de um conjunto de resultados significativo, alguns dos quais obtidos numa gama alargada de condições ambientais. Todavia, reconhecem-se ainda caminhos por percorrer que, se complementados com um ou outro equipamento, poderão melhorar os estudos que têm vindo a ser desenvolvidos e dar origem a contribuições inovadoras.