



CONFORTO TÉRMICO

**Módulo da Disciplina de Mestrado
Métodos Instrumentais em
Energia e Ambiente**

**Miguel P. N. Águas
2000/01**

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. POLÍTICA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS	3
2.1 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO CONSUMO.....	3
2.2 O SECTOR DE SERVIÇOS E O PLANO ENERGÉTICO NACIONAL	5
3. ISO 7730	10
3.1 PARÂMETROS DO CONFORTO.....	10
3.2 METODOLOGIA.....	11
3.3 ANÁLISE DOS PARÂMETROS.....	11
3.3.1 <i>Parâmetros Individuais</i>	11
3.3.2 <i>Parâmetros Ambientais</i>	14
3.4 EQUAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO	15
3.4.1 <i>Temperatura Exterior do Vestuário</i>	16
3.4.2 <i>Factor de Vestuário</i>	16
3.4.3 <i>Coefficiente de Convecção</i>	17
3.4.4 <i>Evaporação</i>	18
3.4.5 <i>Respiração</i>	18
3.4.6 <i>Radiação</i>	18
3.5 PMV.....	19
3.6 DESCONFORTO TÉRMICO	19
4. ISO 7243	21
4.1.1 <i>Taxa de metabolismo</i>	22
4.1.2 <i>O índice WBGT (Wet bulb globe temperature)</i>	23

1. INTRODUÇÃO

A missão dos sistemas de climatização é promover condições térmicas e de qualidade do ar aceitáveis para o ser humano.

Esta secção é destinada à análise do conforto e consiste, fundamentalmente, na discussão da norma ISO¹ - 7730 *“Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort”*.

Falar de uma norma pode parecer redundante (basta lê-la) mas não deixa de ser preocupante que esta norma, publicada originalmente em 1984, e já alvo de uma revisão em 1994, seja pouco utilizada pelos projectistas nacionais e, pior ainda, ignorada pelos regulamentos oficiais.

Trata-se de uma norma que segue de perto a investigação desenvolvida por P.O.Fanger no seu doutoramento, tendo os princípios gerais sido adaptados pela ASHRAE na norma 55-1981 *“Thermal environment conditions for human occupancy”*

A verificação da ISO-7730 obriga a medições de parâmetros térmicos. A definição das grandezas a medir e os instrumentos foram alvo da norma ISO-7726 *“Thermal environments - Specifications relating to instruments and methods for measuring physical characteristics of the environment”*, publicada em 1985.

Finalmente uma terceira norma, a ISO-7243 *“Hot environments - Estimation of the heat stress on working men based on the WBGT Index (wet bulb globe temperature)”*, 1982, define o nível de desconforto do ambiente e aplica-se em situações onde por razões técnico-económicas se torna impossível aplicar a norma ISO-7730.

Este texto está estruturado em 3 capítulos para além desta introdução. No capítulo seguinte é feita uma sintética análise do consumo energético em edifícios em Portugal, enquanto que os capítulos 3 e 4 reportam à apresentação das principais normas ISO relativas a conforto térmico.

¹ ISO - International Standards Organization

2. POLÍTICA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS

2.1 Análise da Evolução do Consumo

A evolução nas últimas 2 décadas dos consumos energéticos anuais dos vários sectores que constituem a estrutura energética nacional de consumo final é apresentada no gráfico da Fig.1-1.

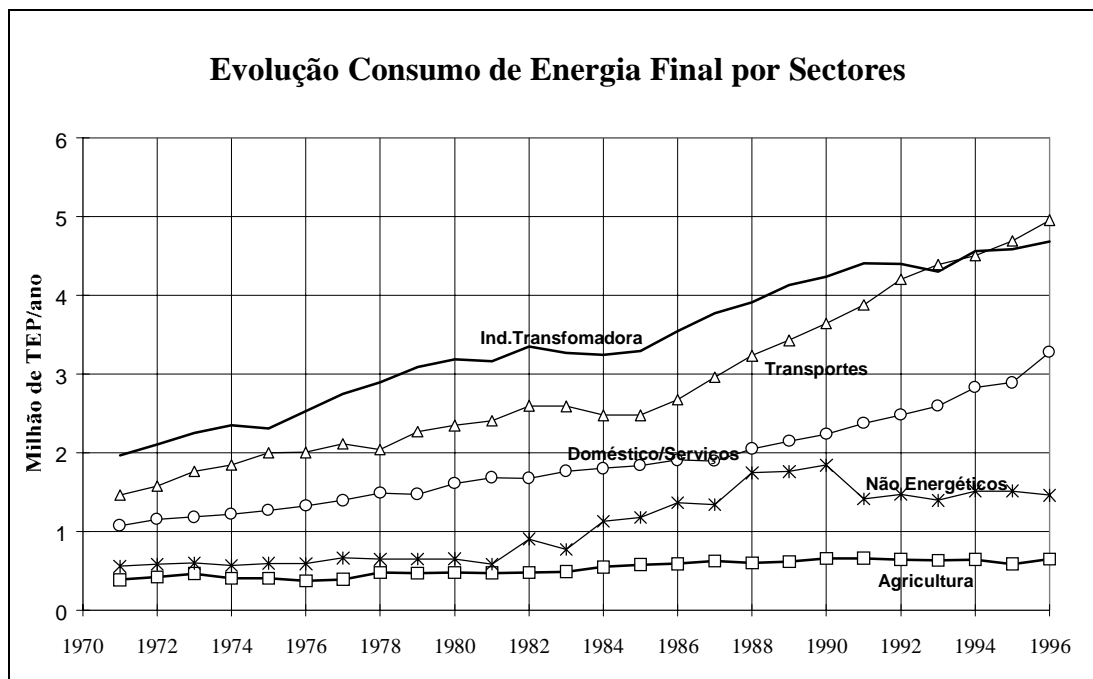


Fig. 2-1: Evolução do consumo anual de energia final.

Da análise deste gráfico identifica-se um forte crescimento dos consumos no sector dos transportes, sendo o consumo de energia no sector Doméstico e de Serviços de segundo nível de importância.

A evolução nas últimas 2 décadas dos consumos anuais de energia final nestes dois sectores é representada no gráfico da Fig.1-2.

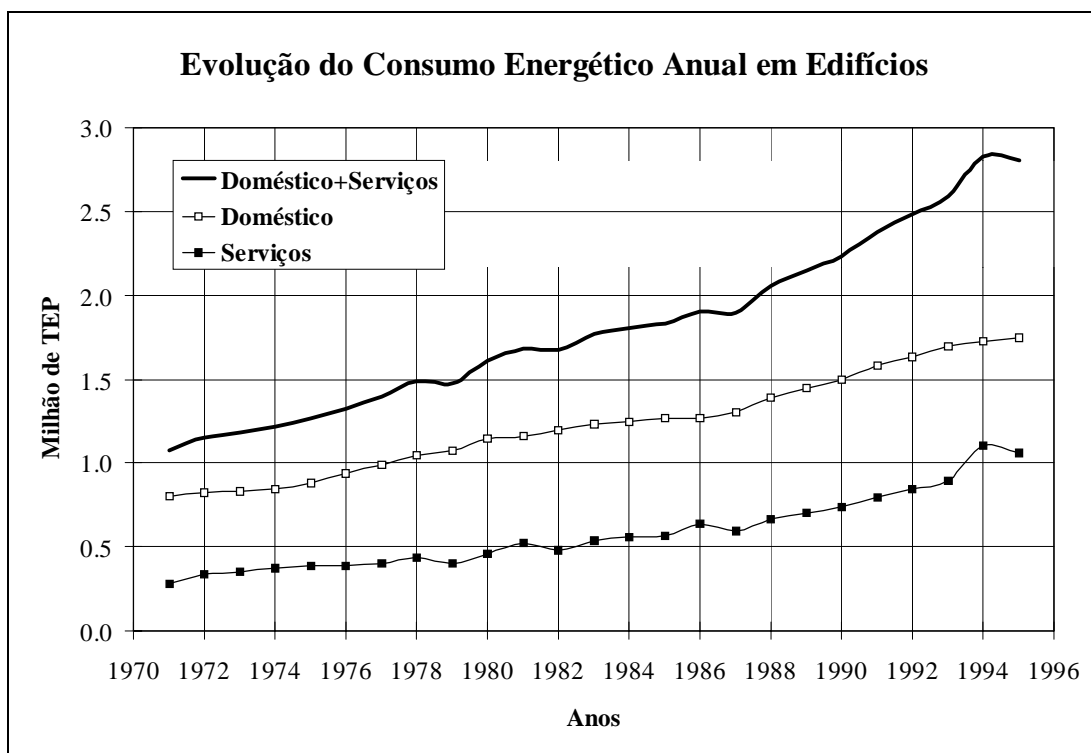


Fig.1-2: Evolução do consumo anual nos sectores Doméstico e Serviços

O consumo no sector Doméstico mostra-se superior ao consumo no sector dos Serviços, verificando-se, no entanto, um maior crescimento neste último. Efectivamente em 1971 os Serviços representavam 26% do consumo em edifícios (Doméstico + Serviços) enquanto que em 1995 representavam já cerca de 38%.

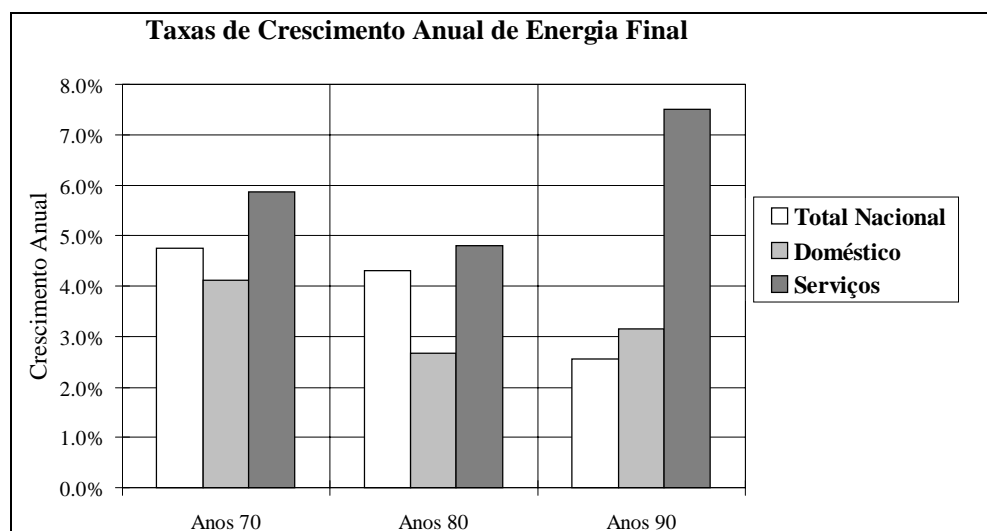


Fig.1-3: Comparação das taxas de crescimentos do consumo de energia

A Fig. 1-3 compara as taxas de crescimento anuais médias verificadas em 3 décadas nos dois sectores em análise com a taxa de crescimento média do consumo total de energia final em Portugal. Da análise da figura conclui-se que o crescimento anual dos consumos no sector dos Serviços tem sido sempre superior quer ao crescimento do sector Doméstico, quer ao crescimento do consumo Nacional. Tomando por referência o ano de 1971, verifica-se na Fig. 1-4 que o crescimento dos consumos de energia em edifícios desde esse ano apresentam dinâmicas diferentes conforme se trata do sector de Serviços (maior crescimento que o total nacional) ou do sector Doméstico (menor crescimento que o total nacional).

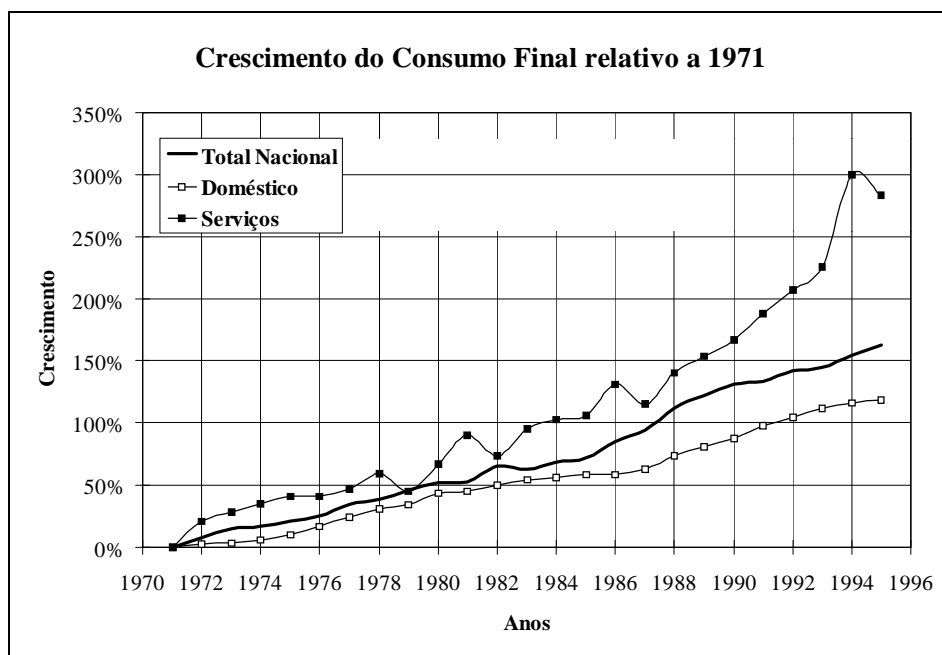


Fig. 1-4: Crescimento dos consumos em relação a 1971

2.2 O Sector de Serviços e o Plano Energético Nacional

A presente análise refere-se ao Plano Energético Nacional produzido em 1987, DGE (1987). Efectivamente, foi publicado em 1996 um novo documento estratégico na área energética, DGE (1996), com características diferentes do PEN elaborado em 1987, que, conforme os seus autores, se sintetizam da seguinte forma:

“Contrariamente à experiência anterior, que se concretizava na elaboração de um PEN - Plano Energético Nacional, baseado na intervenção, em todas as etapas de trabalho, de uma grande diversidade de entidades, privilegiou-se, na abordagem realizada, a análise e a reflexão estratégicas, suportadas embora, quer em informações prestadas pelas empresas energéticas quer, no que se refere à caracterização de cenários não energéticos, em trabalhos especializados efectuados por um conjunto restrito de organismos estatais.”

Verifica-se porém que o PEN elaborado em 1987 fazia uma abordagem bem mais rica, e pedagógica, das variáveis em jogo na estrutura energética dos sectores Doméstico e Serviços, razão pela qual continuará a servir de base ao presente capítulo. Em posterior edição do presente documento serão integradas as previsões de consumos apresentadas no PEN elaborado em 1996. Assim, sempre se referir PEN neste texto tal reporta ao PEN elaborado em 1987.

A caracterização do consumo energético no sector dos serviços é tarefa difícil em Portugal. Observe-se a forma como o PEN classifica o trabalho de cenarização macro-económica para este sector:

«Apesar da relevância do sector Terciário na economia portuguesa (50% do produto e 40% do emprego em 1986), não se dispõe de estudos sistematizados e globais que possam servir de referência e de apoio ao trabalho de construção de cenários. Por esta razão, não se poderá ir além de um esboço dos elementos principais que poderão constituir uma metodologia de análise do sector, e que terá neste contexto a utilidade de identificar os factores de dinamização da oferta de serviços em Portugal.»²

O PEN desagregou a procura de energia nos seguintes módulos:

- Calor (água quente, aquecimento e cozinha)
- Refrigeração
- Iluminação pública
- Outra electricidade específica

Foi considerado que a evolução da procura de energia é função da evolução do emprego, da área de pavimento e da estrutura do sector. Os dados de base respeitantes ao aumento anual da superfície de pavimentos em edifícios novos e ampliações no sector de serviços é apresentada na Fig.1-5. O valor global da área de pavimento afecta a serviço em 1980 foi considerada de 26.165 Km².

² PEN - Cenários Macroeconómicos de Longo Prazo para a Economia Portuguesa. 1988 - 2010, Vol. II.2, 1989

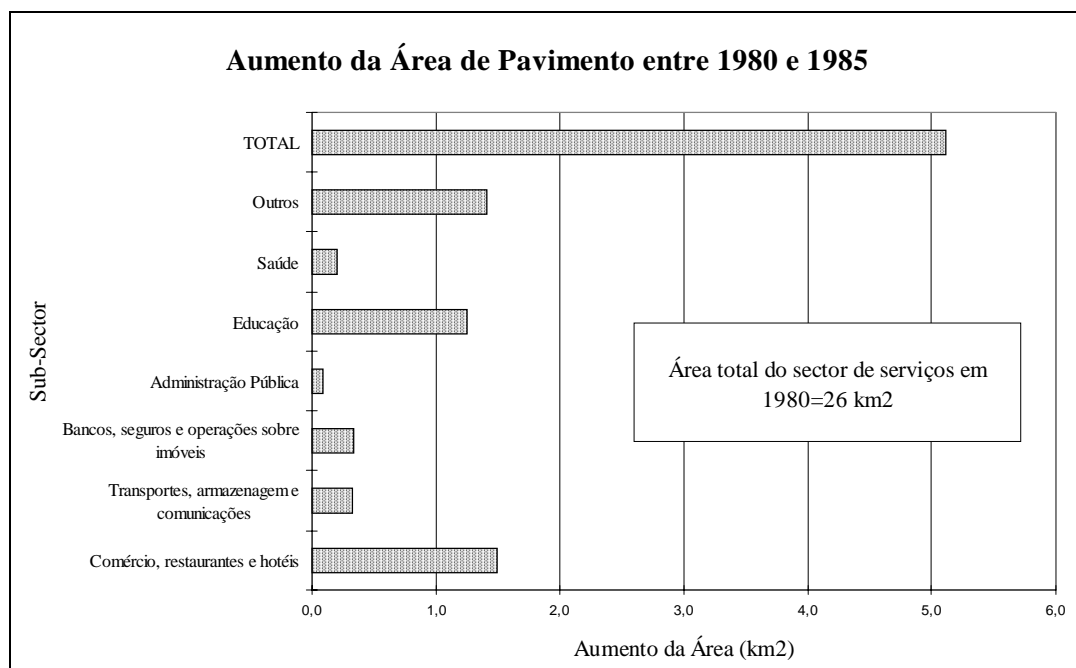


Fig.1-5 : Evolução da área de pavimento no sector dos Serviços

O PEN considera que cerca de 0,078 Km² foi desafectada (ou demolida) ao sector dos Serviços entre 1979 e 1985, sendo, no final de 1985, a área ocupada de 30.517 Km², o que representa um crescimento de 16,6% em 6 anos, ou seja, de 2,6% ao ano. Para o mesmo período a evolução do emprego foi de apenas 4,3% (1,475,000 em 1980 e 1,539,000 em 1985), ou seja, de 0.7% por ano.

A estrutura do consumo energético entre 1980 e 1985 é representada na Fig.1-6, concluindo-se que o consumo eléctrico aumentou o seu peso face às outras formas de energia.

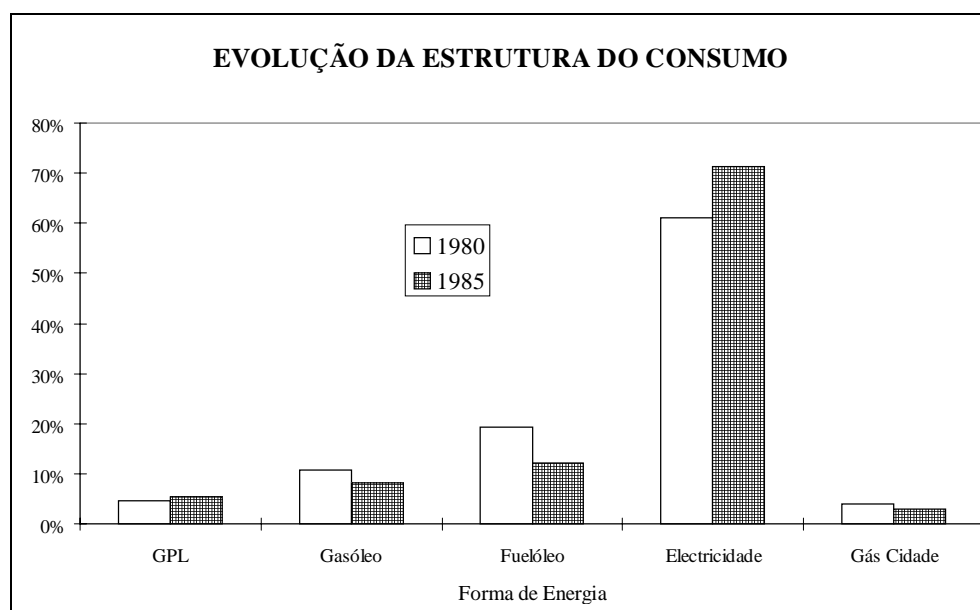


Fig.1-6: Estrutura de consumo do sector dos Serviços

Pela sua relevância, o PEN analisa o crescimento do consumo eléctrico desagregado por tipos de consumidores, conforme se apresenta na Fig.1-7. A desagregação aponta para um forte peso do consumo privado, sector onde se verificaram também os maiores aumentos do consumo de electricidade entre 1980 e 1986.

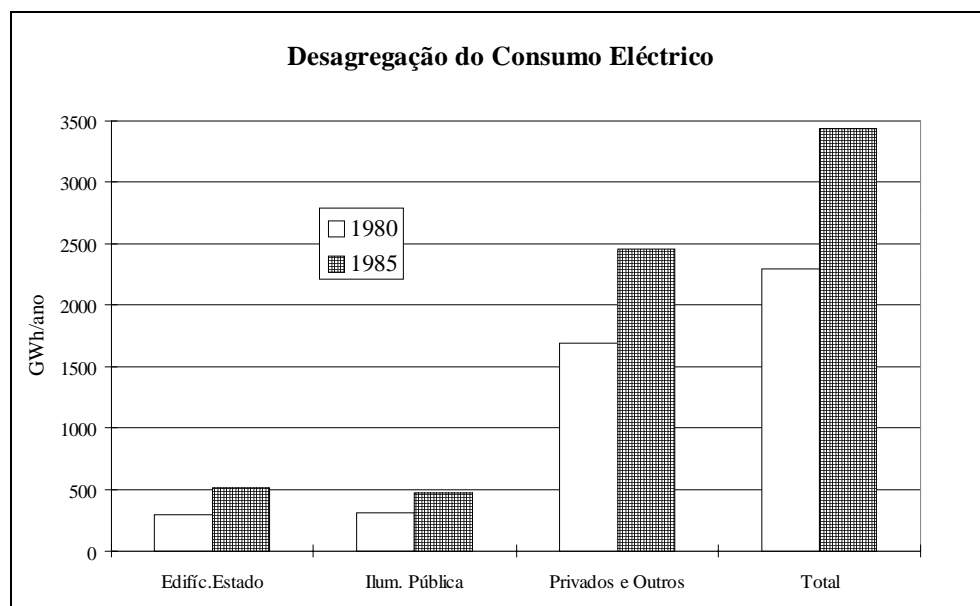


Fig.1-7: Consumo eléctrico do sector dos Serviços

No sector dos serviços o PEN compara o consumo específico em Portugal com o verificado em outros países europeus. Estes valores encontram-se representados na tabela seguinte.

Tab.1-3: Indicadores do sector dos serviços

	Portugal 1985	RFA 1982	Suécia 1982	R.Unido 1982	Itália 1986
Área/empregado (m ²)	20	88	49	46	28
Consumo Especifico (kgep/m ²)	14.0	20.3	27.0	25.2	24.8
(tep/empregado)	0.3	1.8	1.3	1.2	0.7

Conclui-se da tabela que Portugal apresenta um consumo específico cerca de metade dos outros países, em termos de área, tornando-se ainda mais baixo quando calculado por empregado. Estes baixos consumos específicos decorrem, naturalmente, da menor área de pavimento ocupada por empregado no sector dos serviços em Portugal, que era 20 m²/empregado, em 1985. Valores significativamente maiores são encontrados nos outros países europeus. Este indicador esteve na base de toda a previsão do PEN. A Fig.1-8 mostra a previsão deste plano (cenário de referência) para a área de pavimento ocupada pelos serviços discretizando em edifícios construídos antes de 1980 e após 1980.

Da análise da figura conclui-se que no dobrar do século os serviços ocuparão, maioritariamente, edifícios de construção recente, o que constitui uma forte motivação para a conservação de energia nas novas edificações, ou seja:

Só 29% dos escritórios que existirão no ano 2010 já se encontram construídos

O consumo energético nacional tem apresentado um crescimento significativo nos últimos anos conforme foi discutido anteriormente. Mais grave do que isso, é o facto de ter ultrapassado todos os cenários de previsão de médio prazo.

O Plano Energético Nacional, apresentado em 1987, e baseado em estatísticas energéticas nacionais até ao ano de 1987, previa o consumo energético entre 1990-2010 para os sectores Doméstico e Serviços segundo 3 cenários de desenvolvimento³. Um pessimista, outro moderadamente optimista (cenário de referência) e outro de tal forma optimista, que no próprio entender dos responsáveis constituía um majorante para o consumo energético.

A análise das Fig.1-14 e 1-15 mostra que enquanto que no sector doméstico as previsões se podem considerar aceitáveis, já no sector dos serviços falham de forma significativa por defeito, acentuando o já atrás citado crescimento impar deste sector.

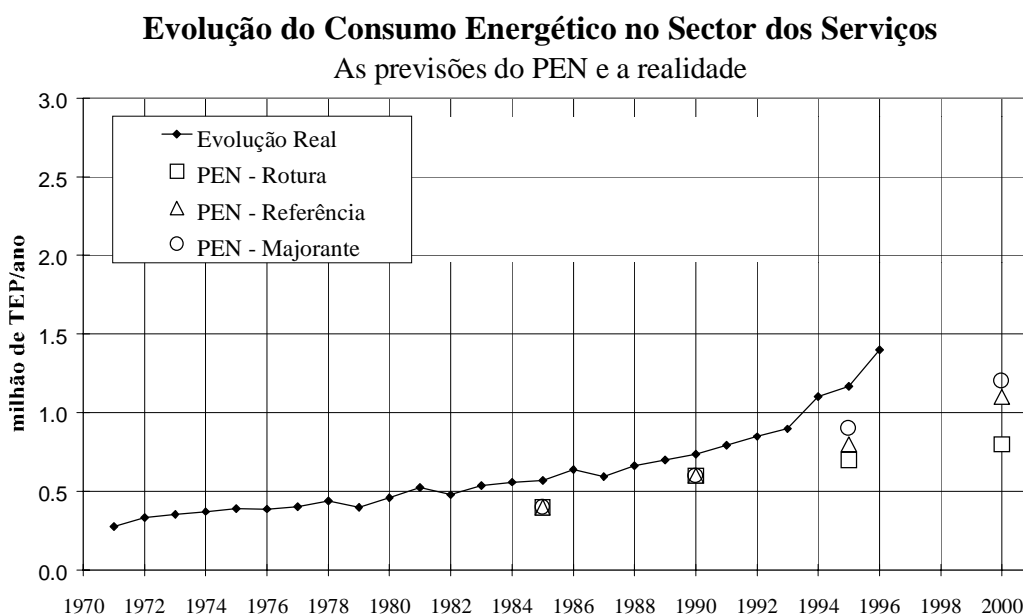


Fig.1-15: Consumo energético no sector dos Serviços

³ Cenário I- Absorção Difícil das Roturas Sectoriais

Cenário II - Adaptação Progressiva da Economia Portuguesa à Criação do Mercado Único Europeu

Cenário III - Maximização do Potencial de Crescimento

3. ISO 7730

3.1 PARÂMETROS DO CONFORTO

O calor produzido no corpo é determinado pelo nível de actividade da pessoa, sendo também variável com a idade e o sexo. Este calor é trocado com o ambiente exterior por condução, convecção, radiação e evaporação. A condução não assume geralmente grande relevância. A convecção depende da temperatura e velocidade do ar exterior. A radiação depende da temperatura média radiante e a evaporação depende da humidade do ar e da sua velocidade.

Os parâmetros mais importantes do conforto térmico subdividem-se em duas classes:

- Parâmetros individuais
 - Actividade
 - Vestuário
- Parâmetros ambientais
 - Temperatura do ar
 - Humidade do ar
 - Velocidade do ar
 - Temperatura média radiante

3.2 METODOLOGIA

A norma ISO 7730 considera que um espaço apresenta condições de conforto térmico quando não mais do que 10% dos seus ocupantes se sintam desconfortáveis.

A quantificação da percentagem de desconforto foi feita através de estudos que envolveram 1300 pessoas. Estes estudos permitiram estabelecer uma relação entre o resultado do balanço energético do corpo⁴ e a tendência de insatisfação, designada por PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).

A metodologia de cálculo consiste nos seguintes pontos:

- a) Parâmetros : quantificam-se os parâmetros individuais e ambientais das pessoas e do ambiente.
- b) Equação de Conforto: substituem-se estes valores na equação de conforto térmico para determinação do termo associado à acumulação energética no corpo, S.
- c) PMV : com base no valor da acumulação energética no corpo e no metabolismo determina-se o valor de PMV (Predicted Mean Vote) através de uma correlação. O PMV não é mais do que uma escala quantitativa da sensação de calor e de frio.
- d) Insatisfação : a percentagem de pessoas insatisfeitas termicamente, PPD, é determinada com base no valor de PMV através de uma correlação.

3.3 ANÁLISE DOS PARÂMETROS

3.3.1 Parâmetros Individuais

3.3.1.1 *Metabolismo*

O metabolismo corresponde à taxa de utilização de energia pelo corpo. O metabolismo subdivide-se no metabolismo basal e de actividade. O metabolismo basal corresponde à taxa verificada durante o repouso absoluto, mas em vigília. O metabolismo de actividade está relacionado com o esforço físico, podendo ser 20 vezes superior ao metabolismo basal em atletas bem treinados.

⁴O resultado do balanço energético do corpo é a diferença entre o metabolismo e a transferência de calor do corpo para o ambiente (ver secção 2.4).

Para a mesma actividade, verificou-se que o metabolismo varia principalmente com a área corporal, pelo que é geralmente definido nas unidades W/m^2 , tomando-se o valor de $1.8 m^2$ como área corporal de um adulto.

Embora não referido no texto da norma, convém ter em conta que, de acordo com DuBois e DuBois (1916), a área corporal (em m^2) está correlacionada com a altura (em m) e com o peso (em kg) pela Eq.2-1, com representação gráfica na Fig.2-1.

$$\text{Area} = 0.202 \times \text{Altura}^{0.725} \times \text{Peso}^{0.425} \quad (2-1)$$

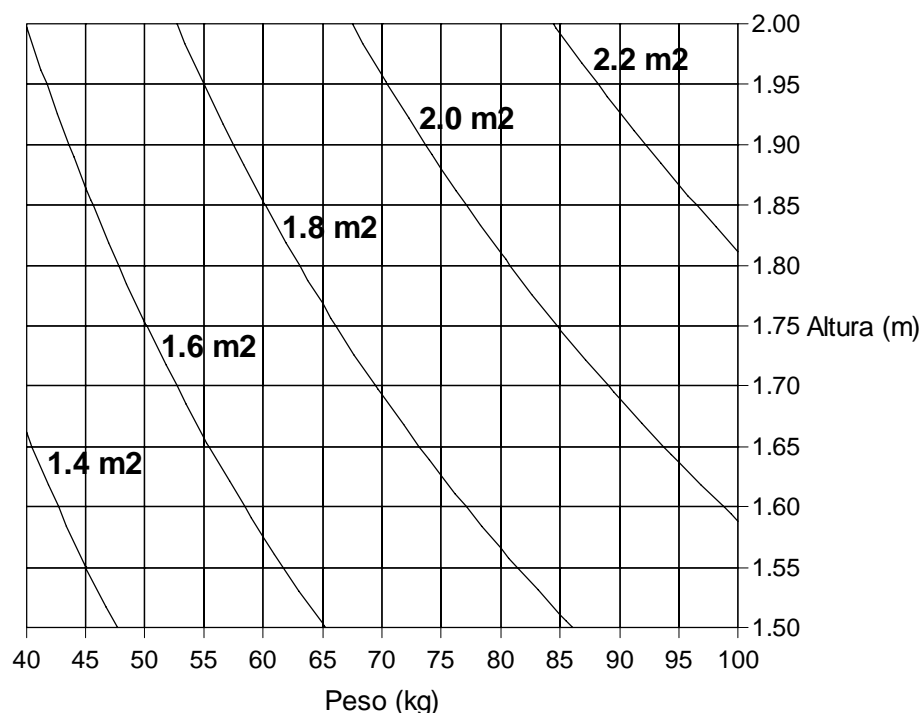


Fig.2-1: Área corporal em função da altura e do peso

A relação entre a actividade e o metabolismo (valor total, isto é, soma da parcela basal com a de actividade) apresenta-se na Tab.2-1.

Estes valores são expressos em W/m^2 . Uma forma de simplificar a análise do metabolismo, consistiu na definição da unidade met, onde 1 met corresponde ao metabolismo de uma pessoa sentada a descansar (1 met = 58.15 W/m^2).

Tab.2.1: Valores de metabolismo para várias actividades

TIPO DE ACTIVIDADE	Metabolismo (W/pessoa)	Metabolismo (met)	Metabolismo (W/m^2)
Deitado	85	0.8	47
Sentado a descansar	104	1.0	58
Actividade sedentária	126	1.2	70
De pé, actividade leve	167	1.6	93
De pé, actividade média	210	2.0	117
Grande actividade	315	3.0	175

3.3.1.2 Trabalho

Tipicamente a avaliação de conforto verifica-se em casos em que o trabalho realizado é nulo ou corresponde apenas a dissipações por atrito, tais como, pessoas sentadas ou em andamento contínuo.

A quantificação do trabalho realizado para o exterior, corresponde à variação da energia cinética e potencial (por exemplo, na subida de escadas).

3.3.1.3 Vestuário

O vestuário é caracterizado através da sua resistência térmica, I_{cl} , nas unidades m^2K/W . À semelhança do metabolismo, o vestuário apresenta uma unidade própria, o clo, que corresponde à resistência térmica de $0.155 m^2K/W$. A Tab.2-2 apresenta os valores de resistência térmica, I_{vest} , de diferentes tipos de vestuário.

Tab.2.2: Resistência térmica do vestuário

VESTUÁRIO	Resistência térmica (I_{vest}) (clo)	Resistência térmica (I_{vest}) (m^2K/W)
Nu	0	0
Calções	0.1	0.016
Vestuário tropical	0.3	0.047
Vestuário leve de verão	0.5	0.078
Vestuário de trabalho	0.7	0.124
Vestuário de inverno para ambiente interior	1.0	0.155
Fato completo	1.5	0.233

3.3.2 Parâmetros Ambientais

3.3.2.1 Temperatura do ar

Corresponde à temperatura seca do ar

3.3.2.2 Humidade do ar

As equações de balanço energético são deduzidas com base na pressão parcial do vapor de água no ar. Definido o estado higroscópico do ar é em termos da temperatura seca, T em $^{\circ}C$, e a humidade relativa, HR entre 0 e 1, a pressão parcial do vapor de água, p_{vap} em Pa, é obtida pela Eq.2-2.

$$p_{vap} = HR \times p_{sat}(T) \quad \text{com} \quad p_{sat}(T) = 1000 \times e^{\left(16.6536 - \frac{4030.183}{T+235}\right)} \quad (2-2)$$

3.3.2.3 Temperatura média radiante

Corresponde à temperatura média das superfícies opacas visíveis que participam no balanço radiativo com a superfície exterior do vestuário. Este termo é particularmente difícil de definir com exactidão quer pela dificuldade em correctamente avaliar os factores de forma, quer pela influência da componente reflectiva, conforme discutido em Águas e Domingos (1996).

3.4 EQUAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

A equação de conforto térmico permite calcular o termo de acumulação de energia no corpo, S , correspondente à diferença entre o metabolismo desenvolvido no corpo e a transferência de calor para o ambiente, sendo apresentada na Eq.2-3.

$$\begin{aligned}
 &M - W && \text{(Metabolismo e Trabalho)} \\
 &- 3.05 \times 10^{-3} (5733 - 6.99(M - W) - p_{\text{vap}}) && \text{(Difusão de vapor)} \\
 &- 0.42((M - W) - 58.15) && \text{(Transpiração)} \\
 &- 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - p_{\text{vap}}) && \text{(Respiração latente)} \\
 &- 0.0014 \times M(34 - T_{\text{ar}}) && \text{(Respiração sensível)} \\
 &- 3.96 \times 10^{-8} f_{\text{vest}} ((T_{\text{vest}} + 273)^4 - (T_{\text{rad}} + 273)^4) && \text{(Radiação)} \\
 &- f_{\text{vest}} \times h \times (T_{\text{vest}} - T_{\text{ar}}) = && \text{(Convecção)} \\
 &+ S && \text{(Acumulação de calor)}
 \end{aligned} \tag{2-3}$$

Nesta equação:

- M é o metabolismo, em W/m^2 (área corporal).
- W é o trabalho realizado para o exterior, em W/m^2 (área corporal)
- p_{vap} é a pressão parcial do valor de água do ar ambiente, em Pa.
- T_{ar} é a temperatura seca do ar ambiente, em $^{\circ}\text{C}$.
- f_{vest} é um factor de vestuário, adimensional (ver secção 2.4.2)
- T_{vest} é a temperatura exterior do vestuário, em $^{\circ}\text{C}$
- T_{rad} é a temperatura média radiante dos elementos opacos do espaço, em $^{\circ}\text{C}$.
- h é o coeficiente de convecção entre a superfície exterior do vestuário e o ar exterior, em $\text{W/m}^2\text{K}$ (área exterior do vestuário)
- S é o termo de acumulação de energia no corpo, em W/m^2 (área corporal)

3.4.1 Temperatura Exterior do Vestuário

A temperatura da superfície do vestuário é obtida por balanço energético igualando a transferência por condução da pele para o vestuário à transferência de calor por convecção e radiação, resultando na equação não linear que se apresenta na Eq.2-5. Nesta equação I_{vest} corresponde à resistência térmica do vestuário, em $\text{m}^2\text{K/W}$, e T_{pele} à temperatura da pele, em $^{\circ}\text{C}$, correlacionada na Eq.2-4 com o metabolismo e o trabalho realizado.

$$T_{\text{pele}} = 35.7 - 0.0275 \times (M - W) \quad (2-4)$$

$$T_{\text{vest}} = T_{\text{pele}} - I_{\text{vest}} \left\{ 3.96 \times 10^{-8} \times f_{\text{vest}} \times ((T_{\text{vest}} + 273)^4 - (T_{\text{rad}} + 273)^4) + f_{\text{vest}} h (T_{\text{vest}} - T_{\text{ar}}) \right\} \quad (2-5)$$

3.4.2 Factor de Vestuário

O factor de vestuário define-se pela razão entre a área exterior do vestuário e a área corporal, sendo, consequentemente, um valor adimensional e superior à unidade.

O factor de vestuário correlaciona-se com a resistência térmica do vestuário através das Eqs.2-6, com expressão gráfica na Fig.2-2.

- $f_{\text{vest}} = 1.00 + 1.290 \times I_{\text{vest}}$ para $I_{\text{vest}} < 0.078 \text{ m}^2\text{K/W}$
 - $f_{\text{vest}} = 1.05 + 0.645 \times I_{\text{vest}}$ para $I_{\text{vest}} > 0.078 \text{ m}^2\text{K/W}$
- (2-6)

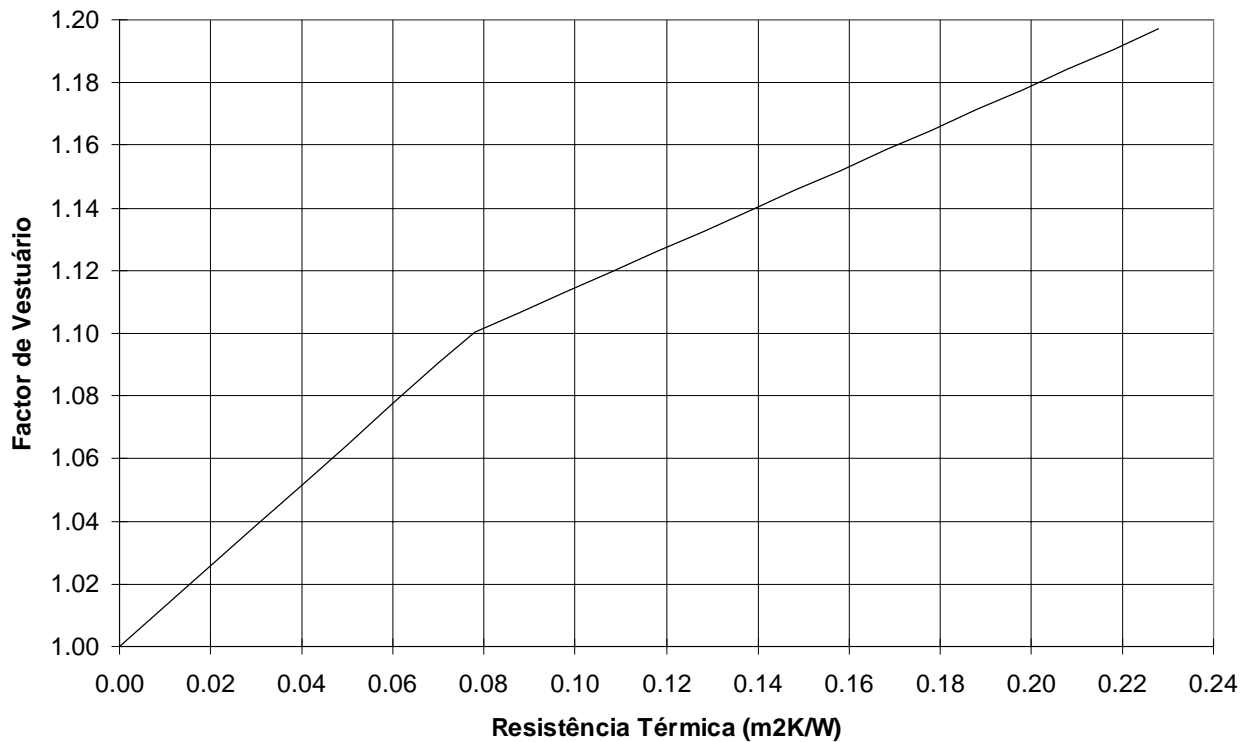


Fig.2-2: Factor de vestuário em função da resistência térmica do vestuário

3.4.3 Coeficiente de Convecção

A norma ISO 7730 define o cálculo do coeficiente de convecção natural e forçada pelas Eqs.2-7 e 2-8, respectivamente.

$$h = 2.38 \times (T_{\text{vest}} - T_{\text{ar}})^{0.25} \quad (2-7)$$

$$h = 12.1 \sqrt{v} \quad (v \text{ é a velocidade do ar em m/s}) \quad (2-8)$$

Estas correlações são representadas graficamente nas figuras seguintes.

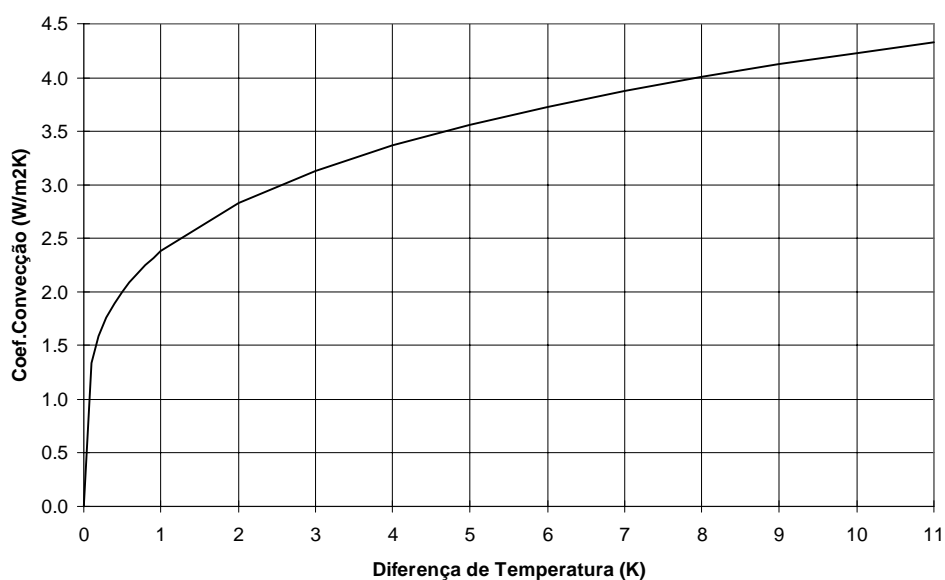


Fig.2-3: Coeficiente de convecção natural

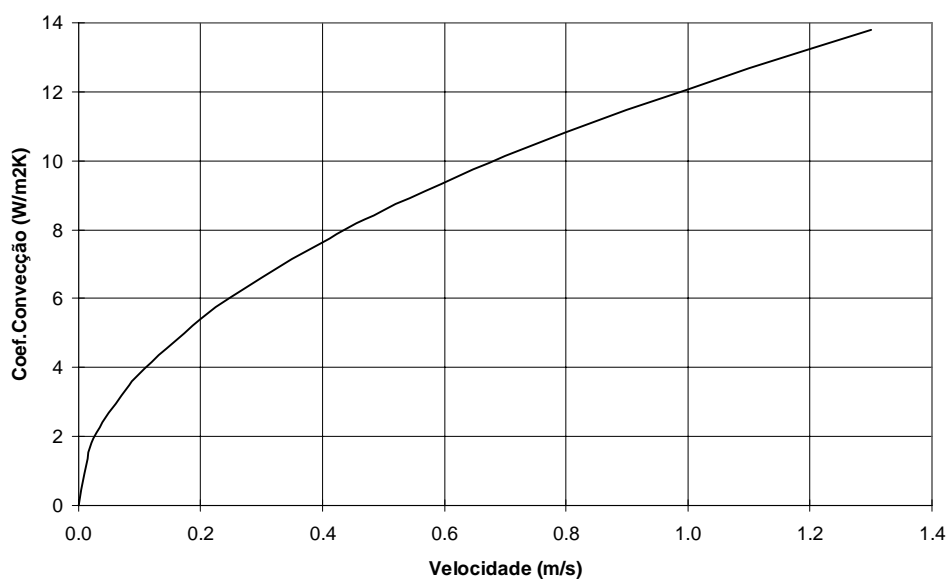


Fig.2-4: Coeficiente de convecção forçada

3.4.4 Evaporação

As perdas por evaporação de água na pele são devidas ao mecanismo permanente de difusão de vapor e às situações de transpiração, resultante da necessidade do corpo em manter uma temperatura constante.

A difusão de vapor depende da diferença de pressão de vapor entre a pele (p_{pele}) e a atmosfera (p_{vap}) sendo correlacionada por $3.05 \times 10^{-3} (p_{pele} - p_{vap})$, em W/m^2 .

Como a pressão de vapor é função da temperatura da pele, a anterior expressão poderá tomar a seguinte forma $3.05 \times 10^{-3} (256 \times T_{pele} - 3373 - p_{vap})$, conduzindo à expressão final do termo de evaporação substituindo T_{pele} pela correlação anteriormente apresentada, função do metabolismo e do trabalho.

3.4.5 Respiração

Trata-se de uma perda de calor de pouco significado. Compõe-se de uma carga sensível resultante do aquecimento do caudal de ar de respiração e de uma carga latente por humidificação do ar. Tipicamente a temperatura do ar expirado é de $34^{\circ}C$, tendo-se identificado uma relação linear entre o caudal e o metabolismo, pelo que este termo é dado por $0.0014 \times M(34 - T_{ar})$. Para condições normais ($T_{ar}=23^{\circ}C$ e metabolismo de $90 W/m^2$) esta carga é de $1.3 W/m^2$, ou seja, insignificante.

A carga latente está relacionada com a pressão de vapor do ambiente sendo calculada por: $1.7 \times 10^{-5} M(5867 - p_{vap})$. Para condições normais ($p_{vap}=1400 Pa$ e metabolismo de $90 W/m^2$) esta carga é de $7 W/m^2$, pelo que muitas vezes não é considerada.

3.4.6 Radiação

A constante 3.96×10^{-8} resulta do produto da constante de Boltzmann pelo factor de forma entre o vestuário e o exterior (toma-se 0.71) e pelo termo relacionado com as emissividades (considera-se uma emissividade da pele e do vestuário de 1 e 0.95, respectivamente).

3.5 PMV

O valor de PMV tem os seguintes significados:

- +3 Insuportavelmente quente
- +2 Quente
- +1 Ligeiramente quente
- 0 Neutro
- -1 Ligeiramente frio
- -2 Frio
- -3 Insuportavelmente frio

A sua determinação é feita pela aplicação de uma correlação envolvendo o termo de acumulação de energia no corpo e o metabolismo:

$$PMV = \left(0.303 \times e^{-0.036M} + 0.028 \right) \times S \quad (2-9)$$

3.6 DESCONFORTO TÉRMICO

Conhecido o valor de PMV, a percentagem de pessoas desconfortáveis termicamente, PPD, calcula-se de acordo com a correlação apresentada na Eq.2-10, representada graficamente na Fig.2.5

$$PPD = 100 - 95 \times e^{(-0.03353 \times PMV^4 - 0.2179 \times PMV^2)} \quad (2-10)$$

Uma conclusão interessante deste gráfico é que qualquer que sejam as condições ambientais, não se consegue menos do que 5% descontentes. Baseado nesta caracterização de conforto térmico, a ISO-7730 admite serem aceitáveis ambientes térmicos em que $-0.5 < PMV < 0.5$, ou seja, em que não mais de 10% dos ocupantes se mostrem descontentes.

A ISO 7730 impõe outras regras necessárias para conforto térmico, relacionadas com os parâmetros de conforto:

- A assimetria da temperatura radiante de janelas ou outra superfície vertical fria deve ser inferior a 10°C (em relação a um plano vertical 0.6 m acima do chão)
- A velocidade do ar tem de ser no Inverno inferior a 0.15 m/s, com temperaturas entre 20 e 24°C . No Verão inferior a 0.25 m/s, com temperaturas entre 23 e 26°C .
- A diferença de temperatura do ar a 1.1 m e a 0.1 m acima do chão não deve exceder 3°C .
- A temperatura do chão deve situar-se entre 19 e 26°C excepto em pavimentos radiantes podendo atingir neste caso os 29°C .

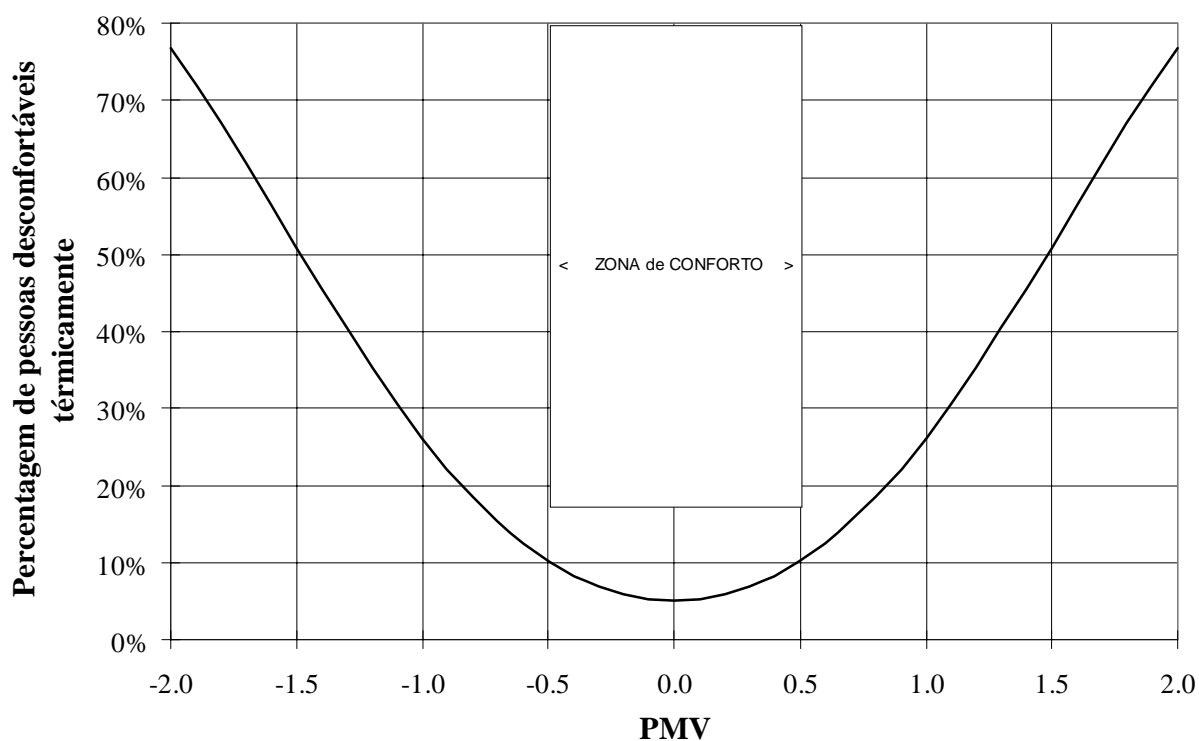


Fig.2-5: PMV-PPD

4. ISO 7243

A ISO-7243 "*Hot environments - Estimation of the heat stress on working men based on the WBGT Index (wet bulb globe temperature)*", 1982, define o nível de desconforto do ambiente e aplica-se em situações onde por razões técnico-económicas se torna impossível aplicar a norma ISO-7730.

Uma análise detalhada da influência do ambiente na carga térmica a que está sujeito o indivíduo, requer o conhecimento de quatro parâmetros ambientais básicos:

- temperatura do ar
- temperatura média radiante
- velocidade do ar
- humidade absoluta

Contudo, uma estimativa mais genérica da influência dos parâmetros ambientais pode ser feita através da medição de parâmetros, que derivam dos mencionados acima, que são funções das características físicas do espaço em estudo.

4.1.1 Taxa de metabolismo

A classificação dos níveis da taxa de metabolismo é efectuada de acordo com a seguinte tabela:

Níveis da taxa de metabolismo

Classe metabólica	Metabolismo (W/pessoa)	Exemplos
0 (repouso)	$M < 117$	Repouso
1 (baixa)	$117 < M < 234$	Sentado: trabalho manual leve (dactilografia, costura); trabalho de mão e braço (pequenas ferramentas, inspecções, montagem ou escolha de pequenas peças); trabalho de braços e pernas (condução normal, accionamento de pedal) De pé: furação (pequenos furos), operação de pequenas ferramentas eléctricas, caminhada a passo lento (abaixo dos 3.5 km/h).
2 (moderada)	$234 < M < 360$	Trabalho de mão e braço sustentados (martelar pregos, enchimentos); trabalho de braço e perna (operação de carrinhos de mão ou equipamento de construção); trabalho de tronco e braço (operação de martelo pneumático, manuseamento intermitente de material moderadamente pesado); caminhada a passo normal (entre 3.5 e 5.5 km/h).
3 (alta)	$360 < M < 468$	Trabalho intenso de tronco e braço; manuseamento de material pesado; serração de madeira pesada; caminhada a passo apressado (5.5 a 7 km/h); colocação de blocos de cimento.
4 (Muito alta)	$M > 468$	Actividade muito intensa a ritmo acelerado; trabalho com machado; trabalho de remoção de terras; subida de rampas, escadas, encostas; caminhada a passo pequeno e rápido, corrida, caminhada a passo largo (mais de 7 km/h).

4.1.2 O índice WBGT (Wet bulb globe temperature)

O índice WBGT combina a medição de dois parâmetros derivados, a temperatura de bolbo húmido, t_{bh} , e a temperatura de globo (média radiante), t_g , bem como a medição, em algumas situações, de um parâmetro básico, a temperatura seca do ar, t_s .

O cálculo do índice WBGT, recorrendo à medição destes parâmetros, resulta das seguintes expressões:

- Espaços interiores ou exteriores sem exposição solar:

$$WBGT = 0.7 t_{bh} + 0.3 t_g$$

- Espaços exteriores com exposição solar:

$$WBGT = 0.7 t_{bh} + 0.2 t_g + 0.1 t_s$$

Os valores máximos admissíveis para o índice WBGT, para que se possam considerar a área estudada na zona de conforto, são os seguintes:

Valores máximos para o índice WBGT

Classe metabólica	WBGT (°C) (aclimatizados)	WBGT (°C) (não aclimatizados)
0 (repouso)	33	32
1	30	29
2	28	26
	com/sem circ. ar	com/sem circ. ar
3	26 / 25	23 / 22
4	25 / 23	20 / 18

Por aclimatização entende-se um estado resultante de um processo de adaptação fisiológica que aumenta a tolerância do indivíduo quando é exposto a um dado ambiente por um período suficientemente longo. Em comparação com um indivíduo não aclimatizado, um indivíduo aclimatizado apresenta menores alterações fisiológicas sob a mesma carga térmica.

REFERÊNCIAS

Águas, M.P.N. (1997)

“Análise Energética de Sistemas”, AEIST.

DGE (1987)

“O Plano Energético Nacional - Previsão 1990 a 2010”. Dez publicações produzidas pelo Gabinete do Plano Energético Nacional. Ministério da Indústria e Energia. (Distribuição gratuita na Biblioteca do PEN)

DGE (1994)

“Sistema de Incentivos à Utilização Racional de Energia - SIURE-Edifícios” Brochura produzida pelo Gabinete do Programa Energia, Ministério da Indústria e Energia (Distribuição gratuita na Biblioteca da DGE- Av. 5 de Outubro, 87)

DGE (1996)

“ENERGIA 1995-2015, Estratégia para o Sector Energético” Secretaria de Estado da Energia. Ministério da Indústria e Energia. (Distribuição gratuita na Biblioteca da DGE)

DGE (1997)

“Balanço Energético Nacional”, Direcção-Geral de Energia (Distribuição gratuita na DGE)

Águas, M.P.N. e Domingos, J.J.D. (1996)

“A Investigação no IST no âmbito da norma ISO 7730” 1º Congresso Internacional de Refrigeração, Ar Condicionado, Ambiente e Energia. Lisboa

DuBois, D. e DuBois, E.F. (1916)

“A formula to estimate approximate surface area, if height and weight are known” Archives of Internal Medicine 17:863-71

Fanger, P.O. (1973)

“Thermal Comfort”, McGraw-Hill, New York