

INFLUÊNCIA DAS TAXAS METABÓLICAS NO CONFORTO TÉRMICO DA UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DE FLORIANÓPOLIS

Lizandra G. Lupi VERGARA, Roberto LAMBERTS

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
Universidade Federal de Santa Catarina

Caixa Postal 476 Florianópolis – SC Tel.: 48 331 7090

e-mail: lizpeliz@labeee.ufsc.br ; lamberts@ecv.ufsc.br

RESUMO

O Modelo do Voto Médio Estimado (PMV) proposto por Fanger consiste em um método de predição das sensações térmicas analíticas de conforto, baseado no modelo de balanço térmico, onde todo o calor produzido pelo organismo, através das atividades, deve ser dissipado ao ambiente. Através da aplicação do modelo do PMV, este trabalho visou estabelecer as condições de conforto térmico de trabalhadores da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Universitário de Florianópolis, a partir de 1495 horas de dados coletados entre os três turnos de trabalho, considerando a relação das imprecisões do modelo com a estimativa das taxas metabólicas, um dos parâmetros de influência sobre as discrepâncias encontradas entre as sensações térmicas relatadas pelos trabalhadores e as calculadas pela equação do PMV. A partir da verificação da precisão das taxas metabólicas estimadas e determinação dos limites de PMV e sensação, foram analisadas as diferenças entre as taxas metabólicas estimadas e calculadas através das sensações térmicas dos trabalhadores. Os resultados demonstraram que existem variações entre as taxas metabólicas para o mesmo tipo de atividades, o que sugere que ela não depende apenas da atividade desempenhada, mas de possíveis influências de características individuais dos trabalhadores sobre suas sensações térmicas de conforto.

ABSTRACT

The Model of the Predicted Mean Vote (PMV) proposed by Fanger is a method of predicting the analytical thermal sensations of comfort, based on the model of thermal balance, where all the heat produced by the body, through activities, is dissipated to the environment. Through the application of the model of PMV, this work sought to establish the conditions of workers' thermal comfort in the Intensive Care Unit at the University Hospital of Florianópolis, starting from 1495 hours of data collected among the three shifts work, considering the relationship of the imprecisions of the model with the estimate of the metabolic rates, one of the parameters influencing the discrepancies among the thermal sensations reported by the workers and those calculated by the equation of PMV. From the verification of the precision of metabolic rates and determination of the limits of PMV and sensation were analyzed the differences among the metabolic rates estimated and calculated from the workers' thermal sensations. The results demonstrated that there exist variations of the metabolic rates for same types of activities, what suggests that they don't just depend on the activity, but on possible influences of the workers' individual characteristics concerning their thermal sensations of comfort.

1. INTRODUÇÃO

A determinação de uma temperatura de conforto apresentada pelas Normas ISO 7730 (1994) e ASHRAE Fundamentals (1997) está baseada no balanço térmico entre o corpo humano e o ambiente,

através de mecanismos de trocas de calor ocorridas pela pele e pela respiração. O balanço térmico é obtido quando todo o calor produzido pelo corpo através do metabolismo, é dissipado no ambiente. Quando isto é alcançado sem reações fisiológicas significativas, é dito que o corpo está em neutralidade térmica, uma exigência para o conforto térmico.

Porém, é impossível especificar um ambiente térmico que satisfaça a todos. Para Fanger (1970), em uma análise das condições ambientais de um ambiente, há sempre uma porcentagem de ocupantes insatisfeitos, devido às diferenças individuais. De acordo com a norma ISO 7730 (1994), são necessárias condições ambientais de conforto que propiciem bem-estar ao maior número de pessoas, as quais podem ser obtidas através do Modelo de Conforto Térmico, o do Voto Médio Estimado (PMV) proposto por Fanger (1970), no qual foi baseado o presente estudo.

A partir de um estudo de campo realizado em um ambiente hospitalar, a presente pesquisa visou identificar a relação entre as imprecisões de aplicação do modelo do PMV com a estimativa das Taxas Metabólicas de produção de calor, uma das variáveis pessoais consideradas pelo modelo. As sensações analíticas de conforto térmico (PMV) e as sensações térmicas subjetivas relatadas pelos trabalhadores foram comparadas, assim como foram analisadas a estimação das taxas metabólicas, obtidas em função da atividade desempenhada pelos trabalhadores, de acordo com as tabelas normalizadas da ISO 7730 (1994).

De acordo com Legg (1971), há quatro categorias de usuários de uma unidade hospitalar a serem consideradas. Primeiramente, há os pacientes que permanecem no leito, geralmente envolvidos em um mínimo de atividades. Em seguida, há a equipe médica e o pessoal da enfermagem que podem estar desempenhando atividades de grandes esforços físicos como arrumando camas, dando banho nos pacientes, ou realizando tarefas que envolvem pequenos esforços como inspeções médicas ou trabalho escriturário. Em terceiro lugar, há o pessoal responsável pela limpeza que realizam um trabalho físico pesado. E finalmente, há as visitas e os trabalhadores de outros departamentos do hospital, que só permanecem na unidade por curtos períodos.

Como definição das amostras da pesquisa, optou-se pelos trabalhadores envolvidos em atividades desde pequenos a grandes esforços físicos, para analisar os diferentes níveis de atividades desempenhadas no ambiente, e especificamente os que se mantiveram durante todo o período de medição dentro da unidade analisada, dentre eles: a equipe médica, enfermeiros, técnicos e auxiliares de enfermagem e a equipe de limpeza.

2. METODOLOGIA APLICADA

2.1 Ambiente Pesquisado

A pesquisa foi realizada na Unidade de Terapia Intensiva (UTI) do Hospital Universitário de Florianópolis, durante o período de verão, em 15 dias de medições, totalizando 1495 conjuntos de dados coletados, entre os três turnos de trabalho. A UTI consiste em um ambiente climatizado e controlado por um sistema geral de ar condicionado, com capacidade de acomodação para seis pacientes, cinco separados por divisores e um quarto de isolamento, desconsiderado da análise de dados.

As sensações analíticas de conforto térmico (PMV) dos trabalhadores participantes da pesquisa foram obtidas a partir de medições dos parâmetros ambientais (temperatura de ar, temperatura radiante média, umidade relativa e velocidade de ar) e de estimativas dos parâmetros pessoais, taxa metabólica de produção de calor e isolamento térmico das vestimentas. As variáveis subjetivas, sensações e preferências térmicas dos trabalhadores, foram levantadas através de questionários específicos.

2.2 Medições

OS índices de PMV do modelo de Fanger foram calculados de acordo com a ISO 7730 (1994). Cada período de medição corresponde a uma hora de trabalho e a média deste período foi registrada. As variáveis ambientais foram levantadas através do Medidor das Variáveis Ambientais – BABUC-A, LSI-LASTEM, Itália, para os 1495 conjuntos de dados coletados, de acordo para ISO-DIS 7726 (1996).

O isolamento térmico das vestimentas de cada trabalhador foi calculado de acordo com a ASHRAE Fundamentals (1997). As sensações e preferências térmicas dos trabalhadores foram obtidas através de questionários aplicados, segundo as escalas de sete pontos de percepção e preferência térmica da ISO 10551,1995.

Após a coleta de dados, foram excluídos das medições os dados considerados espúrios, de acordo com a seguinte classificação. Foram eliminados os valores espúrios em relação às sensações térmicas dos trabalhadores, verificados a partir de procedimentos estatísticos, e as medições que apresentaram sensações térmicas (sens) incoerentes com as preferências térmicas (pref). Por exemplo, de acordo com as escalas de percepção e preferência térmica, foram desconsiderados da análise de dados, medições cujo trabalhador sentia calor (sens = +3) e gostaria de ficar assim mesmo (pref = 0) ou o que sentia um pouco de frio (sens = -1) e gostaria de refrescar-se ainda mais (pref = -2).

A estimativa das taxas metabólicas das medições foi estabelecida a partir dos valores de taxas metabólicas fixas por hora de medição, de acordo com a predominância das atividades observadas, de acordo com ISO 7730 (1994). Os valores de taxas metabólicas foram verificados a fim de identificar as possíveis imprecisões de estimação, através das seguintes etapas:

I. Análise dos limites de PMV e sensação, calculados através das taxas metabólicas mínima e máxima apresentadas

A análise dos limites de PMV e sensação foi realizada através da determinação de novos índices de PMV correspondentes a cada medição, a partir da aplicação do modelo de Fanger, considerando o valor mínimo (70 W/m^2) e máximo (116 W/m^2) de taxas metabólicas estimadas. Os valores calculados de PMV, mínimo e máximo, foram comparados às sensações térmicas relatadas pelos trabalhadores correspondentes, a fim de verificar a quantidade de sensações térmicas que se mantiveram dentro dos intervalos aceitáveis de PMV entre os turnos da manhã, tarde e noite.

II. Identificação das sensações térmicas que ultrapassaram os limites de PMV, por calor ou frio

As sensações térmicas que apresentaram valores fora dos intervalos mínimo e máximo de PMV foram analisadas com o intuito de verificar a quantidade de dados que ultrapassaram os limites de PMV por calor ou frio, e a tendência de imprecisão dos valores de taxas metabólicas calculados durante as medições, isto é, se os trabalhadores estariam realizando atividades correspondentes a taxas metabólicas superiores ou inferiores às calculadas.

III. Determinação de taxas metabólicas calculadas a partir das sensações térmicas dos trabalhadores

As novas taxas metabólicas foram calculadas a partir das sensações térmicas dos trabalhadores utilizando a equação de PMV, excluindo os valores que ultrapassaram os limites de PMV, considerando assim, só o intervalo de taxas metabólicas prefixados para as medições de 70 a 116 W/m^2 .

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Resultados obtidos nas medições

De acordo com a metodologia aplicada, de 1495 conjuntos de dados coletados durante as medições, 145 foram excluídos, sendo 87 considerados espúrios em relação à sensação térmica dos trabalhadores e 58 valores de sensações térmicas considerados incoerentes com as preferências térmicas, resultando em um total de 1350 conjuntos de dados válidos. A Tabela 1 apresenta o número de dados coletados durante os quinze (15) dias de medições para o três turnos de trabalho, já eliminados os valores considerados espúrios.

Através da aplicação do modelo de PMV no presente estudo, concluiu-se que praticamente não houve correlação entre os índices de PMV calculados e as sensações térmicas relatadas pelos trabalhadores, ou seja, só 3,54% ($R^2 = 0,0354$) das variações das sensações térmicas dos trabalhadores são explicadas pelo modelo de PMV, conforme demonstra a Figura 1.

Tabela 1 - Número de dados coletados em 15 dias de medições nos três turnos de trabalho

Data	Manhã	Tarde	Noite	Total
06/12/99	34	14	35	83
07/12/99	41	38	28	107
08/12/99	39	27	46	112
09/12/99	40	35	37	112
10/12/99	71	27	39	137
03/01/00	17	10	38	65
04/01/00	26	22	37	85
05/01/00	36	28	19	83
06/01/00	35	23	59	117
07/01/00	28	30	16	74
24/02/00	32	13	49	94
25/02/00	34	24	19	77
26/02/00	22	24	28	74
27/02/00	16	12	32	60
28/02/00	18	12	40	70
Total	513	360	535	1350

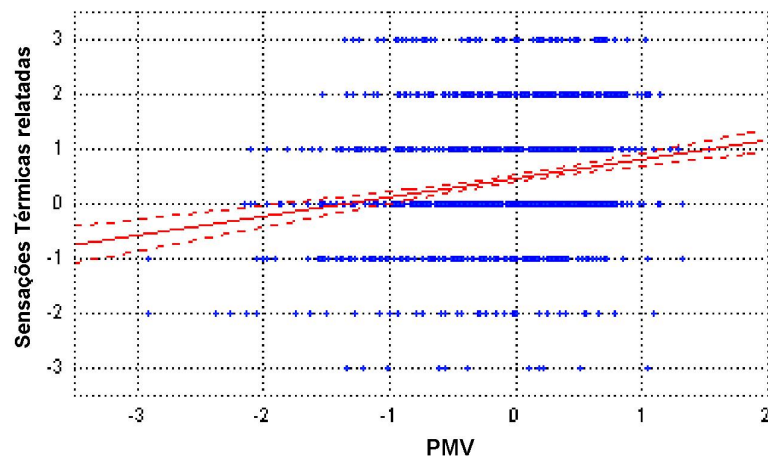


Figura 1: Correlação entre PMV e as Sensações Térmicas relatadas

3.2 Considerações

Os resultados apresentados, em concordância com experimentos de campo anteriores (XAVIER,2000; NICOL & KESSLER, 1998), demonstraram que as sensações térmicas de conforto descritas pelas pessoas são bem diferentes das calculadas através do modelo do PMV. É importante observar o que diz respeito às diferenças entre as reações das pessoas ao conforto térmico enquanto em câmaras climatizadas (modelo de Fanger) ou em suas rotinas de trabalho, experimentos realizados a partir de levantamentos de campo.

Tais diferenças, segundo pesquisadores, podem ser atribuídas devido a erros sistemáticos ou randômicos, mas ainda devem ser consideradas, as incertezas na estimativa das taxas metabólicas e do isolamento das vestimentas, e às possíveis influências psicológicas ou sociológicas no ambiente de trabalho, como por exemplo o trabalho em turnos, o estresse, a motivação e a expectativa dos trabalhadores, fatores que podem afetar suas respostas para o ambiente térmico.

O modelo do PMV é um método normalizado utilizado para prever o voto médio de uma escala de sensação térmica de uma população de pessoas expostas a um determinado ambiente, levando em consideração, além das variáveis ambientais de influência sobre o conforto térmico, as estimativas de

isolamento das vestimentas e a taxa metabólica de produção de calor das pessoas, as quais são obtidas através de informação tabulada. Na prática, quando a norma é aplicada, uma atividade particular é assumida, que implica em uma constante de taxa metabólica, enquanto diferentes níveis de isolamento das vestimentas são classificados. Portanto, as discrepâncias encontradas no presente estudo entre as sensações térmicas relatadas pelos trabalhadores e as calculadas pela equação de PMV de Fanger poderiam possivelmente, ser causadas por imprecisão dos valores das taxas metabólicas ou de isolamento térmico das vestimentas estimados.

Os valores de isolamento térmico das vestimentas (Icl) apresentados pelos trabalhadores da UTI mantiveram-se constantes durante as medições (média=0,56 clo). Considerando que as roupas utilizadas pelos trabalhadores são padronizadas (uniformes do tipo cirúrgico), e o ambiente pesquisado é climatizado, não havendo influência direta do clima externo, presume-se que o Icl não implica em uma variável de grandes imprecisões que influencie sobre as sensações de conforto térmico. Assim, a pesquisa concentrou-se na análise das possíveis imprecisões provenientes da utilização dos valores de taxas metabólicas estimados nas medições.

3.3 Análise das Taxas Metabólicas

Para a análise das taxas metabólicas estimadas durante as medições, o primeiro procedimento aplicado foi a determinação dos limites de PMV e sensações térmicas, cujos resultados demonstraram que 63,40% das sensações térmicas relatadas pelos trabalhadores, ou seja, 852 das 1350 medições estão dentro dos limites aceitáveis.

As atividades desempenhadas pelos trabalhadores apresentaram taxas metabólicas diferenciadas das estimadas nas medições, visto que das 494 medições que se encontraram fora dos limites de PMV, a maioria dos valores de sensações térmicas ultrapassaram os limites por calor, o correspondente a 78,34% dos dados. Tais resultados demonstraram a predominância dos trabalhadores que estariam apresentando taxas metabólicas superiores às calculadas para as medições.

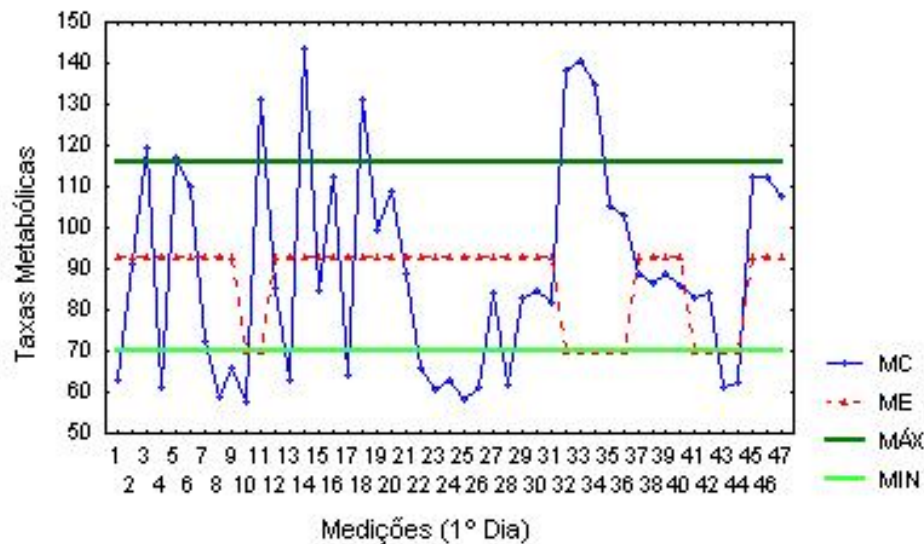


Figura 2: Dispersão das taxas metabólicas estimadas e calculadas, durante o 1º dia de medição

Assim, foram calculadas novas taxas metabólicas a partir dos votos de sensações térmicas dos trabalhadores, para as 856 medições que se encontraram dentro dos limites preestabelecidos. A comparação entre as taxas metabólicas estimadas e calculadas é apresentada pela Figura 2, através do gráfico de dispersão das taxas metabólicas estimadas (ME) e calculadas (MC), com limite mínimo de 70 W/m^2 (MIN) e máximo de 116 W/m^2 (MAX) de taxas metabólicas, correspondentes ao primeiro dia de medição.

Observa-se que as taxas metabólicas calculadas apresentaram valores diferenciados das estimadas e que, em praticamente metade das medições, ultrapassaram os limites mínimo e máximos considerados,

o que confirma que as atividades exercidas pelos trabalhadores da UTI não corresponderam às estimadas. Também verificou-se que não houve uma tendência de imprecisão de estimacão, porque as taxas metabólicas ME e MC apresentaram tanto valores superiores como inferiores em igual proporção, dependendo do tipo de atividades desempenhadas pelos trabalhadores.

De acordo com a Figura 3, as taxas metabólicas calculadas apresentaram média de 90,79, com valores entre 46 W/m² e 175 W/m², o correspondente segundo os preceitos da norma ISO 7730 (1994), a desde uma situação de descanso à uma percurso de 4,2 km/h.

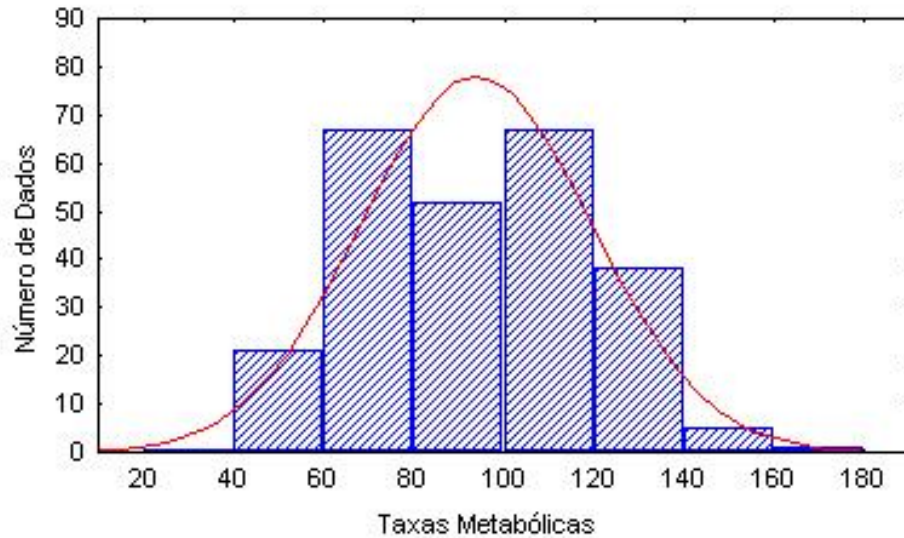


Figura 3: Distribuição das taxas metabólicas calculadas a partir das sensações térmicas

Considerando a diversidade de atividades desempenhadas na unidade da UTI, um ambiente hospitalar onde os trabalhadores apresentam várias especialidades, cujas atividades se distribuem desde repouso a elevadas cargas de trabalho, procurou-se comparar os níveis de taxas metabólicas calculados com alguns níveis de atividades correspondentes, classificados por Norma (ISO 8996, 1990):

- Repouso – 46 W/m²
- Descansando – 65 W/m²
- Atividades leves, sentada e em pé – 100 W/m²
- Lavando pratos, em pé – 145 W/m²
- Atividades utilizando os braços e as pernas – 165 W/m²
- Transportando um saco de 10 kg – 185 W/m²

Os valores de taxas metabólicas que se apresentaram abaixo do mínimo estimado (70 W/m²), eqüivalem aos momentos em que os trabalhadores do turno da noite descansavam ou até dormiam. Quanto as superiores à estimada (116 W/m²), correspondem às atividades tais como, transportar o paciente para o leito, movimentá-lo ao dar banho, aplicar os medicamentos, entre outras. Tais atividades, comparadas aos exemplos de níveis normalizados apresentados, indicaram que as taxas metabólicas calculadas, mesmo as que se encontraram fora dos limites preestabelecidos, se aplicam à atividade analisada.

Supõem-se que as taxas metabólicas calculadas entre as categorias, médicos, enfermeiros, técnicos e auxiliares de enfermagem e pessoal de limpeza, apresentaram valores diferenciados devido as diferenças relacionadas às características individuais dos trabalhadores. Isto significa que as taxas metabólicas dos trabalhadores podem diferir sensivelmente, desde uma atividade que envolve pequenos esforços físicos a grandes movimentações, o que torna difícil estimá-las, através de tabelas

normalizadas, para toda a equipe de trabalhadores. Portanto, pode-se dizer que a estimativa tabelada de taxas metabólicas consiste em um dos fatores de imprecisão de grande influência nas diferenças obtidas entre os valores de sensações térmicas analíticas (PMV) e subjetivas (Sensações) de conforto do presente estudo.

4. CONCLUSÕES

As conclusões deste estudo referem-se às diferenças entre as reações ao conforto térmico de pessoas em câmaras climatizadas, modelo de conforto térmico de Fanger, e em suas rotinas de trabalho, análises realizadas em pesquisas de campo. Na presente pesquisa, baseada em um ambiente hospitalar (UTI), foram determinadas as sensações térmicas de conforto em função de variáveis ambientais e pessoais. As variáveis ambientais normalmente são medidas com razoável precisão, enquanto que as variáveis pessoais, principalmente o que diz respeito às taxas metabólicas, estão sujeito a diferenças individuais.

Os resultados obtidos demonstraram que as sensações térmicas de conforto relatadas pelos trabalhadores da UTI diferem significamente das calculadas pelo Modelo de PMV, quando são estimadas taxas metabólicas fixas por atividade (ISO 7730, 1994).

De acordo com alguns pesquisadores (XAVIER, 2000 e outros), este estudo demonstrou que existe grande variação de taxas metabólicas entre pessoas que executam o mesmo tipo de atividades, sendo que elas não dependem apenas da atividade desempenhada, mas também das possíveis influências das características individuais dos trabalhadores, as especialidades e funções desenvolvidas, as cargas físicas e mentais, os diferentes turnos de trabalho, entre outros fatores, sobre suas sensações térmicas de conforto.

As taxas metabólicas calculadas entre as categorias analisadas apresentaram valores diferenciados, o que sugere que deveriam ser consideradas as diferenças entre as taxas metabólicas calculadas para as medições, levando em conta que o trabalho em uma UTI abrange várias especialidades atuando simultaneamente e a atividade metabólica de cada trabalhador pode diferir de pequenos esforços a elevadas cargas de trabalho.

Portanto, não foram estabelecidas condições de conforto térmico no ambiente analisado, devido à impossibilidade de determinar uma temperatura de conforto satisfatória à maioria dos trabalhadores. Para obter-se índices de conforto térmico satisfatórios, a variabilidade das taxas metabólicas deveriam ser analisadas, considerando os diferentes tipos de atividades desempenhadas pelos trabalhadores além de todos os fatores de influência sobre sua determinação. O isolamento térmico das vestimentas, apesar de não apresentar grande variabilidade entre os trabalhadores, também deve ser considerado como um parâmetro de possível imprecisão do modelo, no que diz respeito às influências dos tipos de tecidos utilizados, sua impermeabilidade, resistência térmica, entre outras. Uma forma de melhorar as condições de conforto térmico apresentada, seria dividir o ambiente da UTI em setores com diferentes controles de temperatura, de acordo com as sensações térmicas relatadas pelos trabalhadores, correspondentes a cada nível de atividades.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE FUNDAMENTALS (1997). *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, INC – Cap.8: Thermal Comfort*. Atlanta - USA.
- FANGER, P.O. (1970) *Thermal comfort* – Hill Book Company, ed. Mc Graw, Nova York.
- ISO/DIS 7726 (1996) *International Organization for Standardization*. Ergonomics of the thermal environments - Instruments for measuring physical quantities.
- ISO 10551 (1995) *International Organization for Standardization*. Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales.
- ISO 7730 (1994) *International Organization for Standardization*. Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort.

- ISO 8996 (1990) *International Organization for Standardization*. Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic heat production.
- LEGG, R. C. (1971) Thermal environment in hospital wards – *Hospital Engineering*, May 1971, 87-93; June, 106-9.
- MALAMA, A., SHARPLES, S., PITTS, A. C., JITKHAJORNWANICH, K. (1998) An investigation of the thermal comfort adaptive model in a tropical upland climate. *ASHRAE Transactions: Symposia*. SF, v. 11, n. 5, p. 1194-1203.
- NICOL, J. F., KESSLER, M. R. B. (1998) Perception of comfort in relation to weather and indoor adaptive opportunities. *ASHRAE Transactions: Symposia*. SF, v. 7, n. 2, p. 1005-1017.
- VERGARA, L.G.L. (2001) Análise das condições de conforto térmico de trabalhadores da unidade de terapia intensiva do hospital universitário de Florianópolis. Florianópolis, 202p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Depto de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.
- XAVIER, A. A. P. (2000) Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias, baseada nos mecanismos físicos de troca de calor e em medições efetuadas em campo. Florianópolis. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.