

AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES CIRÚRGICOS UTILIZANDO MÉTODO DE FANGER E TEMPERATURAS EQUIVALENTES

Victor B. Felix (1); Danilo de Moura (1); Marcelo L. Pereira (2); Arlindo Tribess (3)

(1) Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, victor.felix@poli.usp.br,
danilo.moura2@poli.usp.br

(2) Dr., Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina – CEFETSC
marcelo@sj.cefetsc.edu.br

Rua José Lino Kretzer, 608 – Praia Comprida
CEP: 88103-902 – São José – SC

(3) Livre Docente, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, atribess@usp.br
Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Conforto Térmico e
Qualidade do Ar, Av. Prof. Mello Moraes, 2231 - Cidade Universitária – 05508-900 – São Paulo, Brasil.

RESUMO

Em ambientes cirúrgicos as condições de conforto térmico precisam ser as melhores possíveis para que o cirurgião e a equipe médica trabalhem em condições favoráveis para o sucesso do procedimento cirúrgico. Neste trabalho são avaliadas condições de conforto térmico em salas cirúrgicas utilizando método de Fanger e temperaturas equivalentes. Foram realizadas medições de variáveis ambientais e avaliações subjetivas (questionários). A aplicação do método de Fanger mostrou-se adequado na avaliação de condições de conforto térmico em salas cirúrgicas, embora seja necessário cuidado especial na sua utilização e na análise dos resultados. Paralelamente, resultados de estudo comparativo com trabalhos de outros autores mostraram valores praticamente iguais de temperaturas equivalentes de conforto térmico em torno de 22 °C para todos os membros da equipe cirúrgica. Esse resultado é particularmente útil para avaliar diferentes condições ambientais e pessoais em propiciar condições de conforto térmico aos diferentes membros da equipe cirúrgica.

Palavras-chave: Conforto térmico, método de Fanger, temperaturas equivalentes, ambientes cirúrgicos.

ABSTRACT

In surgical environments the thermal comfort conditions need to be the best as possible in order that surgeons and the medical team work in favorable conditions for the success of the surgical procedure. In this work thermal comfort conditions in surgical rooms were analyzed using Fanger method and equivalent temperatures. Measurements of environmental variables and subjective evaluations (questionnaires) were accomplished. The application of the Fanger method was shown appropriate in the evaluation of thermal comfort conditions in surgical rooms, although it is necessary special care in its use and in the analysis of the results. Parallel, results of comparative study with other authors' works showed practically equal values of thermal comfort equivalent temperatures around 22 °C for all of the members of the surgical team. That result is particularly useful to evaluate different environmental and personal conditions in propitiating conditions of thermal comfort to the different members of the surgical team.

Key-words: Thermal comfort, Fanger method, equivalent temperature, surgical environments.

1. INTRODUÇÃO

Em ambientes cirúrgicos, as intervenções cirúrgicas complexas e demoradas, que se fazem hoje, exigem atividades intensas, uma grande equipe de pessoas e o uso de muitos tipos de equipamentos. Esta situação torna importante o controle eficaz das variáveis que interferem na saúde, conforto e bem-estar do paciente e da equipe cirúrgica (Dhara e Pittet, 2002).

Assim, o principal objetivo dos sistemas de tratamento de ar e de ventilação em ambientes cirúrgicos é diminuir os riscos de infecções, do paciente e dos profissionais de saúde, que podem ser causadas por partículas transportadas pelo ar. Para que isso ocorra de forma adequada os sistemas de distribuição de ar devem trabalhar com uma ventilação especial baseada em taxas fixas de geração de contaminantes, diferenciais de pressão, umidade, entre outros parâmetros (Hermans, 2000).

Simultaneamente, os sistemas de ventilação e de distribuição de ar em salas cirúrgicas devem garantir o conforto térmico do paciente e da equipe cirúrgica durante a cirurgia; o que na maioria das vezes fica em segundo plano. Condições térmicas confortáveis ajudam a equipe cirúrgica a trabalhar melhor e previnem possíveis problemas ao paciente. Resultado do sistema de ventilação e tratamento de ar utilizado, as condições de conforto térmico e desconforto local em ambientes internos estão diretamente relacionadas com a forma como o ar se movimenta no interior do ambiente. A movimentação do ar no interior do ambiente terá um padrão característico do sistema de insuflamento utilizado, com perfis de temperatura e velocidade completamente diferentes daqueles verificados em outros ambientes com outros tipos de sistemas de ventilação (Pereira e Tribess, 2004).

Ainda existem muito poucos estudos de avaliação de conforto térmico em salas cirúrgicas encontrados na literatura. Trabalho pioneiro foi realizado na década de 1960 na Inglaterra (Wyon et al., 1968). Os autores avaliaram as condições de conforto térmico da equipe médica (somente) para servirem de orientação no projeto e operação de salas cirúrgicas nas ilhas britânicas. Trata-se de um trabalho bastante extenso em que foram avaliadas condições de conforto térmico em 25 salas cirúrgicas ao longo das quatro estações do ano. Nas visitas às instalações foram respondidos questionários, anotados detalhes da vestimenta, sexo, idade, função exercida, tipo de cirurgia, duração, bem como realizadas medições de temperatura, velocidade e umidade do ar e de temperatura de globo. Não foram fornecidos detalhes do sistema de ventilação. Aparentemente, as avaliações foram feitas em condições de ventilação natural.

Wyon et al. (1968) verificaram que existe uma diferença significativa entre as condições ambientais para o conforto térmico dos cirurgiões, anestesiistas e outros membros da equipe cirúrgica. Ressaltaram, como igualmente importante, que os requisitos para a especificação de um ambiente térmico confortável em salas cirúrgicas diferem daqueles de ambientes de escritórios, ambientes fabris e outros ambientes estudados até então. Isto porque, enquanto os ambientes térmicos convencionais são ocupados por um grande número de pessoas e nos quais se procura obter condições de conforto ao maior número possível destes ocupantes, em salas cirúrgicas o conforto dos cirurgiões deve ser priorizado e o desconforto para os demais deve ser minimizado.

Wyon et al. (1968) definiram um “índice de temperatura” (similar ao da temperatura equivalente), como uma combinação da temperatura do ar, da temperatura radiante média em um ambiente com 50% de umidade relativa e velocidade do ar de 0,13 m/s (25 pés/min). Os autores encontraram que este índice de temperatura, no qual a maioria do pessoal da equipe cirúrgica estaria confortável, seria de 20,5 °C; sendo que para o maior conforto dos cirurgiões deveria ser de 18 °C e para os anestesiistas de 21,5 °C.

Mais recentemente Mora et al. (2001) realizaram estudo em duas salas cirúrgicas em um hospital no Canadá. As salas cirúrgicas eram providas de sistema convencional de HVAC (com 100% de ar de renovação, volume de ar constante (VAC), reaquecimento terminal e um *fan-coil* dedicado para cada sala cirúrgica) com sistema de distribuição de ar com fluxo unidirecional. Foram realizados oito testes em sala cirúrgica de fluxo unidirecional com painéis, que são proteções colocadas em torno da mesa cirúrgica com o objetivo de restringir a movimentação do ar para que este não se misture com o ar das demais partes da sala e três testes em sala de fluxo unidirecional com cortina de ar, envolvendo cirurgias ortopédicas. Os autores realizaram avaliação de conforto térmico nas três zonas apresentadas na Figura 1.1; assim divididas em função do grau de assepsia (Woods et al., 1986). A zona 1 é ocupada pelos cirurgiões, o paciente e o foco cirúrgico (precisa ser a zona mais limpa); a zona 2 é a zona estéril, e contém os instrumentos e equipamentos cirúrgicos (a enfermeira instrumentadora circula entre as duas áreas); e a zona 3 (a menos limpa), onde circulam as demais enfermeiras, os técnicos e os anestesiistas.

No trabalho de Mora et al. (2001) os testes foram realizados com temperatura média na sala cirúrgica em torno de 21,5 °C, com variações entre 19 °C e 25 °C, devido a problemas no controle do sistema de HVAC. Em adição aos questionários, o modelo de conforto de Fanger (Fanger, 1972; ISO 7730, 1994) foi

adotado para avaliar as condições de conforto térmico da equipe cirúrgica e do paciente com diferentes tipos de vestimentas (resistências de roupa, clo). Também foram verificadas condições de desconforto local não previstas no modelo de Fanger, tais como: assimetria de radiação, diferença de temperatura entre os pés e a cabeça e correntes de ar (*drafts*).

Mora et al. (2001) também verificaram que, em função das condições do ambiente e das condições das pessoas (vestimenta, atividade, posição no ambiente), não é possível prover condições de conforto térmico para todos os membros da equipe cirúrgica. Verificaram também que o desconforto dos cirurgiões (que muitas vezes suam) ocorre principalmente devido à assimetria de radiação causada pelo foco cirúrgico. Baseado no modelo de Fanger, os autores concluíram que a temperatura do ar deveria ficar em torno de 19 °C para prover condições de conforto para os cirurgiões. Contudo, nesta temperatura as enfermeiras e anestesistas deveriam estar com roupas com pelo menos 0,9 clo e o paciente coberto com pelo menos 1,6 clo.

Wyon et al. (1968) apresentaram valores de condições do ambiente que proporcionam conforto por meio de um “índice de temperatura”, que foi obtido por uma análise de regressão que relaciona todas as variáveis ambientais e pessoais com as respostas subjetivas dos membros da equipe cirúrgica com relação à sua sensação térmica. Os autores avaliaram a relação que cada variável analisada tem na influência da resposta das pessoas com relação à sua sensação térmica e definiram este índice como sendo a temperatura de um ambiente onde pessoas, sob condições específicas, tais como a temperatura do ar igual à temperatura radiante média, velocidade do ar em torno de 0,15 m/s e a umidade relativa do ar em torno de 50%, deverão manifestar, por meio de votos, a mesma resposta de sensação térmica que manifestarão no ambiente estudado.

Embora este índice englobe todas as variáveis ambientais relacionadas com o conforto térmico, a definição do “índice de temperatura” é particularizado para determinada condição de velocidade e de umidade relativa do ar.

Mora et al. (2001), por sua vez, utilizaram a temperatura do ar para referenciar condições ambientais de conforto de cada membro da equipe cirúrgica. Embora a temperatura do ar possa ser considerada como a variável mais importante na sensação térmica experimentada pelas pessoas (Rohles, 2007), não é possível utilizar um índice que não considere as demais variáveis ambientais na sua formulação.

Uma forma de se considerar todas as variáveis ambientais em um único índice é o da temperatura equivalente, que é definida como a temperatura de um ambiente imaginário, com temperatura radiante média igual à temperatura do ar e velocidade do ar igual a zero, onde uma pessoa troca a mesma quantidade de calor por convecção e radiação que trocaria em um ambiente real.

O conceito de temperatura equivalente é bastante utilizado em estudos das condições de conforto térmico em ambientes automotivo, por exemplo, Moura (2009) utilizou o conceito de temperatura equivalente em ambientes de aeronaves.

Segundo Nilsson (2004) a vantagem da temperatura equivalente é que ela expressa os efeitos das variáveis térmicas combinadas para uma única pessoa, de forma que a interpretação é simples, sendo particularmente útil para a avaliação de diferentes condições ambientais.

Bohm et al. (1990 apud Nilsson, 2004) e Schwab et al. (1999 apud Nilsson, 2004) verificaram que, para condições próximas da neutralidade térmica e com variações pequenas das variáveis ambientais, o valor da temperatura equivalente sempre representa a mesma resposta subjetiva independente do tipo de combinação das trocas de calor.

O conceito de temperatura equivalente foi introduzido inicialmente por Duffon (1932 apud Nilsson, 2004), que construiu um sensor especial constituído de um cilindro oco de cobre pintado de preto para medir a temperatura equivalente. Mais tarde Bedford (1936 apud Nilsson, 2004) propôs uma expressão para o cálculo da temperatura equivalente, apresentada na equação 1.

$$T_{eq} = 0,522.T_{ar} + 0,478.\overline{T_r} - 0,21\sqrt{V_{ar}}.(37,8 - T_{ar}) \quad \text{Equação 2}$$

onde:

T_{eq}	Temperatura equivalente	[°C]
V_{ar}	Velocidade média do ar	[m/s]
$\overline{T_r}$	Temperatura radiante média	[°C]
T_{ar}	Temperatura do ar	[°C]

Embora a equação 1 descreva os efeitos da velocidade do ar, ela não leva em consideração o tipo de vestimenta usada; o que foi feito por Madsen (1984), que desenvolveu a expressão apresentada na equação 2.

$$T_{eq} = 0,55.T_{ar} + 0,45.T_r + \frac{0,24 - 0,75.\sqrt{V_{ar}}}{1 + I_R} . (36,5 - T_{ar})$$

Equação 2

onde:

I_R Índice de isolamento total da roupa [clo]

2. OBJETIVO

No presente trabalho são avaliadas condições de conforto térmico em salas cirúrgicas utilizando método de Fanger e temperaturas equivalentes. Inicialmente, são apresentados resultados de adequação do método de Fanger, comparando resultados de avaliação das condições ambientais com as respostas a questionários. Posteriormente, são apresentados resultados de estudo comparativo com trabalhos de outros autores, utilizando temperaturas equivalentes.

3. MÉTODO

Para a realização do trabalho primeiro foram levantadas as condições de conforto térmico baseado no modelo de Fanger (1972), a seguir foram levantados valores de temperatura equivalente que representem a sensação térmica de conforto tanto para este trabalho quanto para os trabalhos de Wyon et al. (1968) e Mora et al. (2001). A seguir serão apresentados de forma detalhada os procedimentos utilizados.

3.1. Avaliação de conforto térmico

Com o objetivo de se avaliar as condições de conforto térmico da equipe cirúrgica em função do tipo de sistema de ventilação, foram realizadas medições das variáveis ambientais e aplicado questionário. O questionário, baseado no trabalho de Mora et al. (2001), foi aplicado ao término de cada cirurgia. Neste questionário cada membro da equipe cirúrgica descreve sua sensação térmica, seguindo a escala de sensações térmicas apresentada na Tabela 1. Ao todo foram respondidos 120 questionários.

Tabela 1– Sensação térmica, PMV e PPD (FANGER, 1972).

Escala de sensações térmicas							
PMV	-3	-2	-1	0	1	2	3
Sensação térmica	muito frio	frio	leve sensação de frio	neutra	leve sensação de calor	quente	muito quente
PPD	100%	78%	26%	5%	26%	78%	100%

Para avaliação das condições de conforto térmico para cada membro da equipe cirúrgica foram analisados os valores de PMV obtidos dos questionários e comparados com os valores de PMV obtidos pelo método de Fanger, com a utilização de valores de medição das variáveis ambientais: temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura de globo (para determinação da temperatura radiante média) e umidade relativa do ar, e das variáveis pessoais: resistência da roupa e metabolismo.

3.2. Condições de ensaio

Foram estudadas quatro situações de movimentação do ar, função do sistema de ventilação, conforme apresentado na Tabela 2. O estudo de condições de conforto com o sistema de ventilação desligado foi possível de ser realizado em procedimentos cirúrgicos bastante simples, com risco de infecção extremamente baixo.

Tabela 2 Condições de ensaio.

Condições	Características do sistema de ventilação
Ensaio A	Sistema desligado.
Ensaio B	Sistema com insuflamento pela parede na parte superior e retorno pela mesma parede na parte inferior no lado oposto.
Ensaio C	Sistema com insuflamento pelo teto e retorno pelo teto.
Ensaio D	Sistema com fluxo laminar.

Foram avaliadas condições de conforto térmico considerando quatro membros da equipe cirúrgica: cirurgião, instrumentador, anestesista e enfermeiro; que apresentam diferenças quanto ao isolamento térmico das vestimentas, o tipo de atividade que cada um exerce e a posição em que se encontram na sala.

3.3. Variáveis ambientais

A medição das variáveis ambientais foi realizada segundo procedimentos e métodos de medição apresentados na norma ISO 7726:1998. Os sensores foram dispostos ao longo da sala e os dados foram coletados, em intervalos de um minuto, com sistema de aquisição de dados.

Para a realização das medições, a sala cirúrgica foi dividida em duas zonas. A zona 1, onde se encontram o paciente, o cirurgião e o instrumentador, e a zona 2 onde se encontram o anestesista e o enfermeiro (Fig. 1). Na região denominada de zona 1 foram feitas, inicialmente, medições sem a ocorrência de cirurgias, nas três condições estudadas. Foram medidas velocidades, temperaturas do ar em quatro alturas: 0,1 m; 0,6 m; 1,1 m e 1,7 m do nível do piso, previstas na norma ASHRAE 55:2004, e de temperatura de globo a 1 m do piso. Isto foi feito com o objetivo de se levantar dados da movimentação do ar nessa região, pois durante a cirurgia era possível a colocação de apenas um sensor, de temperatura e umidade do ar, acima da mesa cirúrgica.

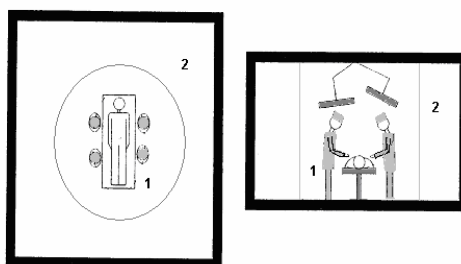


Figura 1 Vista em planta das regiões nas salas cirúrgicas.

Na região denominada de zona 2 foram realizadas medições, durante as cirurgias, de temperaturas e velocidades do ar, também em quatro alturas previstas na norma ASHRAE 55:2004, e em quatro pontos diferentes ao longo da sala, totalizando 16 pontos. Além disto, foram realizadas medições de umidade do ar e temperatura de globo em um ponto a 1 m do piso.

Os sensores utilizados para as medições de temperatura foram termômetros de resistência e para as medições de velocidades foram utilizados anemômetros omnidirecionais. A Tabela 3 apresenta as características dos instrumentos de medição utilizados.

Tabela 3 Características dos instrumentos utilizados.

Variáveis	Faixa de medição	Precisão
Temperatura do ar	0 a 50 °C	± 0,2 °C
Velocidade do ar	0 a 1 m/s	± (0,04 + 3%) m/s

3.4. Equipe cirúrgica

Para a avaliação das condições de conforto térmico utilizando o método de Fanger é necessário estabelecer o valor da resistência térmica da roupa e o metabolismo para cada membro da equipe cirúrgica.

Devido às vestimentas utilizadas em salas cirúrgicas serem relativamente padronizadas, foi possível utilizar valores de resistência térmica de roupa apresentados em Mora et al. (2001). Para os cirurgiões e

instrumentadores foram considerados valores de resistência de roupa de 0,86 clo e para enfermeiros e anestesistas valores de 0,42 clo. O nível de atividade para os membros da equipe cirúrgica foi obtido da norma ASHRAE 55:2004, considerando atividades similares. Para os cirurgiões foram considerados valores de 1,6 met e para o restante da equipe foram considerados valores de 1,4 met; valores também utilizados por Mora et al. (2001).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados valores de medição que caracterizam, respectivamente, o ambiente na zona 1 e na zona 2, para cada condição estudada. Os valores são uma média das medições realizadas ao longo do tempo. Foram verificados desvios padrão de $\pm 0,5$ °C para a temperatura, tanto do ar como a de globo, de $\pm 0,05$ m/s para a velocidade do ar e de $\pm 3\%$ para a umidade relativa do ar. Não houve variação significativa das medidas ao longo do tempo, pois os ambientes são bastante homogêneos.

Tabela 4 Valores obtidos nos ensaios na zona 1.

	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio C	Ensaio D
Temperatura do ar (°C)	26,0	24,2	27,1	27,3
Temperatura radiante média (°C)	29,0	28,6	29,5	29,4
Umidade relativa média do ar (%)	45	42	37	36,0
Velocidade do ar (m/s)	0,10	0,20	0,25	0,20

Tabela 5 Valores obtidos nos ensaios na zona 2.

	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio C	Ensaio D
Temperatura do ar (°C)	23,5	20,3	22,9	22,2
Temperatura radiante média (°C)	25,6	23,0	24,1	25,6
Umidade relativa do ar (%)	50	48	45	45
Velocidade do ar (m/s)	0,10	0,20	0,25	0,20
Temperatura do ar no insuflamento (°C)	--	15,6	20,3	21,7

A tabela 6 apresenta os valores das diferenças de temperaturas entre o insuflamento e as zonas 1 e 2, e a diferença de temperatura entre as zonas 1 e 2 para cada condição estudada. É possível verificar que o ensaio D foi o que apresentou as menores diferenças de temperaturas entre o insuflamento e as zonas 1 e 2 e as maiores diferenças de temperatura entre as zonas 1 e 2.

Tabela 6 Diferenças de temperaturas.

Diferenças de temperatura (°C)			
	Insuflamento / zona 1	Insuflamento / zona 2	Zona 1/ zona 2
Ensaio A	--	--	2,5
Ensaio B	8,6	4,7	3,9
Ensaio C	7,0	2,6	4,4
Ensaio D	5,6	0,5	5,1

4.1 Condições de conforto térmico

Nas figuras 2 e 3 são apresentados, respectivamente, os valores de PMV calculados para as quatro condições estudadas utilizando os dados experimentais e o método de Fanger e os valores de PMV obtidos a partir do questionário aplicado a cada membro da equipe cirúrgica após a cirurgia.

É possível verificar que os valores de PMV obtidos com o método de Fanger e aqueles com o voto da equipe cirúrgica apresentam uma mesma tendência; o que mostra a adequação da utilização do método de Fanger na avaliação de condições de conforto térmico também em salas cirúrgicas. As diferenças verificadas estão relacionadas, principalmente, com a dificuldade em se determinar os valores de resistência da roupa e do nível de atividade.

Analisando as condições de conforto térmico, a partir dos valores de PMV calculados (figura 2), verifica-se que os cirurgiões e instrumentadores estariam desconfortáveis, com sensação de calor, em todas as situações analisadas. O nível de desconforto dos cirurgiões e instrumentadores seria praticamente o

mesmo. Para os outros membros da equipe cirúrgica, isto é, os anestesistas e enfermeiros, as melhores condições seriam as dos ensaios A e D, pois estão dentro do intervalo considerado confortável, sendo que as demais apresentaram condições levemente desconfortáveis.

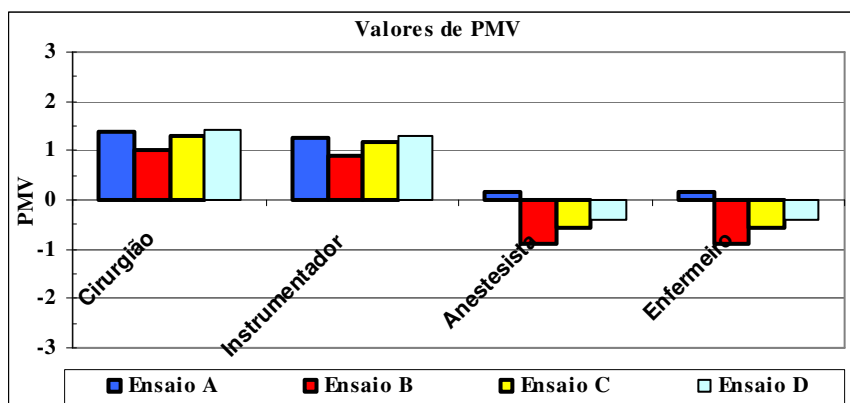


Figura 2 Valores de PMV calculados pelo método de Fanger (1972).

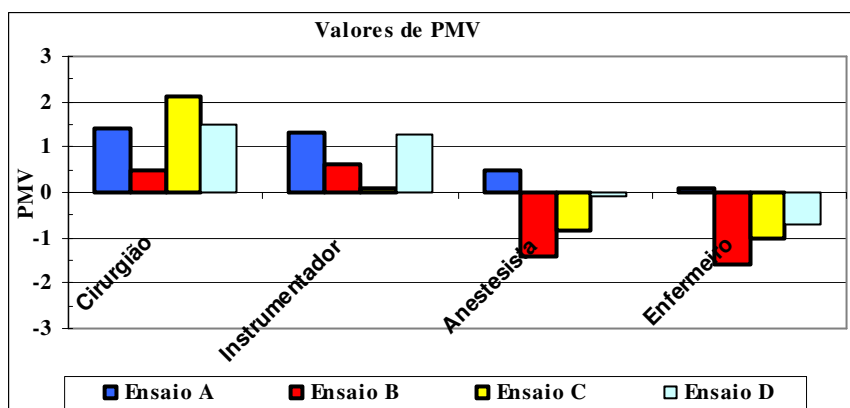


Figura 3 – Valores de PMV obtidos dos questionários aplicados após as cirurgias.

Utilizando o método de conforto de Fanger, na tabela 7 são apresentados os valores de temperatura de insuflamento do ar, de temperatura máxima do ar na zona 1 e de resistência mínima da roupa de anestesistas e enfermeiros para que toda a equipe cirúrgica trabalhe em condições de conforto térmico. Para a obtenção destes valores foram mantidas algumas características no ambiente, tais como velocidade do ar, umidade relativa do ar e temperatura radiante média, bem como a vestimenta de cirurgiões e instrumentadores.

Tabela 7 Valores de temperatura do ar e resistências da roupa ideais.

	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio C	Ensaio D
Temperatura do ar insuflado (°C)	-	11,0	11,5	13,0
Temperatura do ar na zona 1 (°C)	17,5	19,5	18,5	18,3
Resistência da roupa (Clo) (anestesistas e enfermeiros)	0,73	0,86	0,86	0,86

4.2. Estudo comparativo com resultados de outros trabalhos

Na tabela 8 são apresentados os valores utilizados para o cálculo de temperatura equivalente para cada membro da equipe cirúrgica, considerando os trabalhos de Wyon et al. (1968), de Mora et al. (2001) e aqueles do presente trabalho.

Tabela 8 – Valores utilizados para os cálculos da temperatura equivalente

	Cirurgião				Instrumentador			
	T _{ar} (°C)	V _{ar} (m/s)	I _R (clo)	\overline{T}_r (°C)	T _{ar} (°C)	V _{ar} (m/s)	I _R (clo)	\overline{T}_r (°C)
WYON	19,5	0,13	0,86	24,0	20,1	0,13	0,86	24,0
MORA	19,0	0,25	0,86	27,0	19,0	0,25	0,86	27,0
Ensaio B	19,5	0,20	0,86	28,6	19,0	0,20	0,86	28,6
Ensaio C	18,5	0,25	0,86	29,5	19,0	0,25	0,86	29,5
Ensaio D	18,3	0,20	0,86	29,4	19,0	0,20	0,86	29,4
	Anestesista				Enfermeiro			
	T _{ar} (°C)	V _{ar} (m/s)	I _R (clo)	\overline{T}_r (°C)	T _{ar} (°C)	V _{ar} (m/s)	I _R (clo)	\overline{T}_r (°C)
WYON	21,5	0,13	0,42	24,0	19,5	0,13	0,42	24,0
MORA	23,0	0,20	0,42	23,0	23,00	0,20	0,42	23,0
Ensaio B	22,0	0,25	0,42	23,0	22,00	0,25	0,42	23,0
Ensaio C	22,0	0,30	0,42	24,1	22,00	0,30	0,42	24,1
Ensaio D	22,0	0,20	0,42	25,6	22,00	0,20	0,42	25,6

Na tabela 8 todos os valores de variáveis ambientais são médias dos valores obtidos em cada trabalho. No trabalho de Wyon et al. (1968) os valores de resistência das roupas não foram apresentados, tendo sido adotados os mesmos valores do trabalho de Mora et al. (2001) e do presente trabalho.

Os valores de temperatura do ar de conforto para os instrumentadores, anestesista e enfermeiros foram obtidos da mesma maneira que os valores apresentados na tabela 7, ou seja, por meio das tabelas da norma ISO 7730 (1994) e das equações de PMV e PPD de Fanger. Foram mantidas as condições ambientais de velocidade do ar, umidade relativa do ar e temperatura radiante média, e as características pessoais como vestimenta e nível de atividade. Em seguida foram encontrados valores de temperatura do ar ideais para que os instrumentadores, anestesista e enfermeiros trabalhem sob condições de conforto térmico.

Utilizando a equação 2 foram obtidos os valores de temperaturas equivalentes apresentados na tabela 9. O ensaio A não foi considerado, pois foi realizado com o sistema ar condicionado desligado; o que não é recomendado na maioria dos procedimentos cirúrgicos.

Tabela 9 – Quadro comparativo de temperaturas equivalentes preferenciais (oC).

	Cirurgião	Instrumentador	Anestesista	Enfermeiros
Wyon et al. (1968)	21,3	21,6	22,4	21,2
Mora et al. (2001)	21,6	21,6	22,5	22,5
Ensaio B	22,7	22,3	21,0	21,0
Ensaio C	22,0	22,4	21,2	21,2
Ensaio D	22,3	22,7	22,5	22,5

Da análise da tabela 9 verifica-se que a temperatura equivalente média de todos os resultados apresentados é de 21,9 °C, com desvio padrão de $\pm 0,6$ °C – dentro da faixa de incertezas de medição.

O resultado da análise mostra que nos três trabalhos chegou-se a valores praticamente iguais de temperaturas equivalentes de conforto térmico em torno de 22 °C para todos os membros da equipe cirúrgica.

Esse resultado é particularmente útil, pois permite, juntamente com a utilização da equação 2, avaliar diferentes condições ambientais e pessoais em propiciar condições de conforto térmico aos diferentes membros da equipe cirúrgica.

5. CONCLUSÕES

Verificou-se que é difícil prover condições de conforto térmico para toda a equipe cirúrgica, principalmente devido a fatores pessoais, como o tipo de vestimenta e o nível de atividade, e de fatores locais, como o calor do foco cirúrgico.

Por se tratar do profissional mais importante da equipe cirúrgica, com maior grau de responsabilidade, é de fundamental importância prover melhores condições de conforto para o cirurgião.

Os resultados obtidos também permitiram verificar que o sistema de fluxo unidirecional (“laminar”) apresentou melhores condições de conforto térmico. Adicionalmente, este sistema também apresenta maior potencial de controle de contaminantes no campo cirúrgico (zona 1). Isto ocorre em função do tipo de

movimentação do ar, com insuflamento de ar diretamente no campo cirúrgico, com menores diferenças de temperaturas ao longo da sala e maior eficiência na remoção de material particulado.

Enfim, os resultados mostraram que há necessidade de cuidados redobrados quando se está tratando de climatização em salas cirúrgicas. Se, por um lado, o bem estar da equipe cirúrgica é importante para o sucesso do procedimento cirúrgico, os riscos de contaminação aérea não podem ser negligenciados de forma alguma. Assim, a solução do problema deve considerar simultaneamente os efeitos da movimentação do ar na diminuição da possibilidade de contaminação aérea e na obtenção das melhores condições possíveis de conforto térmico.

Finalmente, resultados de estudo comparativo com trabalhos de outros autores mostraram que temperaturas equivalentes em torno de 22 °C correspondem a condições de conforto térmico para os diferentes membros da equipe cirúrgica.

6. REFERÊNCIAS

- ASHRAE Standard 55. Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2004.
- Bedford, T. The warmth factor in comfort at work. *Rep. Industry health Res. Bd.* 76. London, 1936.
- Bohm, M.; Browén, A.; Norén, O.; Holmér, I.; Nilsson, H.; Evaluation of the thermal environment in tractor cabs. *International Conference on Environmental Ergonomics IV*, Austin, USA, pp 144-146, 1990.
- Dhara, S.; Pittet, D. Environmental controls in operating theatres. *Journal Hosp. Infect.*, Jun., 2002.
- Dufton, A. F. The equivalent temperature of a room and its measurement. *Building Res. Technical Paper 13*. London, 1932.
- Fanger, P. O. . Thermal Comfort – Analysis and Applications in Environmental Engineering. McGraw-Hill Book Company. New York, 1972.
- Hermans, R.D. Health care facility design manual – Room design. *ASHRAE Transactions* 106: 162-167. Annual Meeting, Minneapolis, 2000.
- Holcátová, I.; Benesová, V.; Hartlová, D. Comparison of the environment in operating theatres in two hospitals, *Indoor Built Environ*, 12:121-124, 2003.
- Horan, T. C.; Culver, D. H.; Gaynes, R. P.; Jarvis, W. R.; Edwards, J. R.; Reid C. R. Nosocomial infections in surgical patients in the United States, January 1986 – June 1992. *National Nosocomial Infections Surveillance (NNIS) System. Infect Control Hosp Epidemiol.* 14:73-80, 1993.
- Howorth, F. Prevention of airborne infection during surgery. *ASHRAE Transactions*, 99(1), 1993.
- Hwang, L.R.; Lin, P.T.; Cheng, J.M.; Chien H.J. Patient comfort requirement for hospital environments in Taiwan. *Building and Environments*, 42:2980-87, 2006.
- ISO 7726 . Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities. International Organization for Standardization, Geneva. 1998.
- ISO 7730 . Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Organization for Standardization, Geneva. 1994.
- Madsen, T.L.; Olesen, B.W.; Kristensen, N.K. Comparison between operative and equivalent temperature and typical indoor conditions. *ASHRAE Transactions*, 90:1077-90, 1984.
- Mora R., English, M. J. M., Athienitis A. K. Assessment of thermal comfort during surgical operations. *ASHRAE Transactions*. 107 (1): pp 52-62, 2001.
- Moura, D. *Condições do escoamento e de conforto térmico em cabine de aeronave*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- Nilsson, H. O. *Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Modes*. Tese (Doutorado) – Department of Technology and Built Environment – University of Gävle, Sweden. Stockholm, 2004.
- Pereira, M.L.; Graudenz, G. S.; Oliveira, C. H.; Tribess, A. A qualidade do ar em ambientes hospitalares e os riscos aos profissionais da saúde. *Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais e Saúde. Anais do CBPAS 2004 (CD ROM)*, 2004.
- Rohles, F. H. Jr. Temperature & Temperament – A Psychologist Looks at Comfort. *ASHRAE Journal*, 14-22, Feb 2007.
- Schwab, R.; Conrad, W.; Mayer, E. *Correlation Between Objective and Subjective Measurements of Thermal Comfort*. EQUIV Report No 4, Holtzkirchen, Germany, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 1999.
- Wyon, D.P., Lidwell, O.M., Willians, R.E.O. Thermal comfort during surgical operations. *Journal of Hygiene* 66: 229-248, 1968.
- Woods, J. E., Braymen, D. T., Rasmussen, R. W., Reynolds, P. E., Montag, G. M. Ventilation requirements in hospital operating rooms. Part I: Control of airborne particles. *ASHRAE Transactions*, 92 (2), 1986.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores Victor Barbosa Felix, Marcelo Luiz Pereira e Arlindo Tribess gostariam de agradecer ao CNPq pela concessão de bolsa de mestrado, doutorado e de pesquisa, respectivamente. Danilo de Moura gostaria de agradecer à FAPESP pela concessão de bolsa de mestrado.