



LabEEE

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
NÚCLEO DE PESQUISA EM CONSTRUÇÃO
LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

DISCIPLINA: TÓPICOS AVANÇADOS EM CONFORTO TÉRMICO

Prof. Roberto Lamberts, PhD.

Versão Final

Doutorando: Wagner Augusto Andreasi
2003/2º.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO AO ESTUDO DE CONFORTO TÉRMICO.....	03
2.	O ESTUDO DE CONFORTO TÉRMICO NO BRASIL.....	05
2.1	O CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES INTERNOS.....	05
2.1.1	Modelos Adaptativos e Índices Térmicos para Conforto Térmico em Ambientes Internos no Brasil.....	14
3.	O ESTUDO DE CONFORTO TÉRMICO EM OUTROS PAÍSES.....	27
3.1	ESTUDOS RECENTES DE ÍNDICES TÉRMICOS E MODELOS ADAPTATIVOS DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES INTERNOS.....	41
3.2	ESTUDOS RECENTES DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES EXTERNOS.....	75
4.	ALGUMAS VARIÁVEIS FÍSICAS E HUMANAS EM DISCUSSÃO.....	88
5.	CONCLUSÕES.....	107
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110

1. INTRODUÇÃO AO ESTUDO DE CONFORTO TÉRMICO

O estudo de conforto térmico visa analisar e estabelecer as condições necessárias à *satisfação do homem* permitindo-o *sentir-se termicamente confortável* tanto no ambiente familiar, como no social e no de trabalho onde se supõem que sua *performance* ou *rendimento físico e/ou intelectual* é aumentada. Apesar deste trabalho não se propõem discutir de forma aprofundada à questão, devemos considerar a existência de fatores não menos importantes que são os relacionados à *conservação de energia*, em função de que os ambientes mais confortáveis são em sua quase totalidade condicionados artificialmente.

As pesquisas relacionadas ao tema *conforto térmico* são conduzidas por duas metodologias, as que se baseiam em resultados obtidos em pesquisas desenvolvidas em câmaras climatizadas onde as variáveis ambientais são gerenciadas pelo pesquisador e outra a partir de pesquisas de campo, sob influência da situação climática local. Em ambos casos as variáveis pessoais ou subjetivas são informadas por voluntários gozando de bom estado de saúde.

As pesquisas sobre *conforto térmico* atendem os dispostos nas normas internacionais **ISO 7730 (1994)**; **ISO 7933 (1989)**; **ISO 8996 (1989)** e **ISO 9920 (1993)**. Particularmente a **ISO 7730** utiliza o modelo desenvolvido por **Fanger (1982)** em câmara climática, onde se admitiu que o corpo humano em dado ambiente, em estado de equilíbrio térmico ou sem acumular calor em seu interior, está desta forma, muito próximo da condição de neutralidade térmica. Entretanto, a condição de neutralidade térmica ou de verificação do balanço térmico apresentado no trabalho é condição necessária mas não suficiente para que a pessoa encontre-se em conforto térmico, pois a mesma pode encontrar-se ao mesmo tempo em situação de neutralidade térmica e ainda assim estar sujeita a algum tipo de desconforto localizado como por exemplo radiação assimétrica.

Objetivando englobar a enorme variedade das sensações térmicas relatadas individualmente pelos voluntários após apreciarem questionário que indicava alternativas para seus votos de preferências térmicas, **Fanger** expandiu a *equação de conforto* apresentando os índices PMV - Predicted Mean Vote (voto médio estimado) e PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied (percentagem de pessoas

insatisfeitas). Entretanto o índice PMV, apesar de normalizado pela **ISO 7730 (1994)** e adotado pela **ASHRAE Standard 55 (1992)**, tem sua aplicabilidade discutida por vários pesquisadores, como será demonstrado, tudo por que se atualmente as *variáveis climáticas* são obtidas com auxílio de equipamentos cada vez mais precisos, a ainda aplicação de valores tabelados de *índices de isolamento de roupas* e *taxas metabólicas* continuam determinando imprecisões nos resultados finais das experiências. O mesmo pode-se afirmar sobre as sensações térmicas relatadas pelos voluntários, mercê de fatores físicos, psicológicos e fisiológicos ainda não tão bem compreendidos.

No Brasil o estudo do *conforto térmico* não é recente.

2. O ESTUDO DE CONFORTO TÉRMICO NO BRASIL

2.1 O CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES INTERNOS

SÁ, P. *Estudos para o estabelecimento de uma escala de temperaturas efetiva no Brasil.* Revista Brasileira de Engenharia - Março de 1934. p. 67-69. 1934.

Objetivo: Comparar os valores de temperaturas efetivas obtidas nos Estados Unidos com as do Brasil.

Conclusões: As temperaturas efetivas equivalentes nos dois países divergem em até 3,6°C bem como a temperatura efetiva ótima para os americanos esteve próxima de 19,5°C, para os brasileiros alcançou 22,5°C.

Sá (1934) realizou pesquisa com grupo de 13 alunos com idade entre 13 e 17 anos onde em dias diferentes eram anotadas simultaneamente a temperatura, umidade e velocidade do ar bem como eram colhidas respostas de questionário que indicariam as sensações de maior ou menor calor experimentadas. Esse trabalho foi realizado entre as 11 e 12 hs., entre agosto e setembro de 1931. A escala das sensações relatada continha 7 indicações, onde 1 representava segundo sua terminologia *sensação muito fria*, 2 - *fria*, 3 - *fresca*, 4 - *agradável*, 5 - *pouco quente*, 6 - *quente* e 7 - *muito quente*. Segundo o autor, essa escala era mais detalhada que uma outra, então utilizada por Emma France Ward ao estudar “the mensurement of skin temperature in its relation to the sensation of comfort”, publicada no American Journal of Hygiene em julho de 1930, onde as sensações se classificam de 1 a 5.

Após obter aproximadamente 250 respostas individuais, o autor apresentou três tabelas, abaixo inseridas, com valores de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar para sensação de conforto ótima, sensação térmica que ele denominou “um pouco quente” e sensação “fresca”.

Tabela 1: Valores de TBS, UR e VA para sensação de conforto ótima

TBS (°C)	UR (%)	Vel. Ar (m/seg)
20,1	82	0,39
24,5	67	0,36
24,5	88	0,11
24,6	62	0,09
25,6	57	0,17
26,0	61	0,24

Tabela 2: Valores de TBS, UR e VA para sensação “um pouco quente”

TBS (°C)	UR (%)	Vel. Ar (m/seg)
24,0	78	0,46
24,1	73	0,08
26,8	63	0,50

Tabela 3: Valores de TBS, UR e VA para sensação “fresca”

TBS (°C)	UR (%)	Vel. Ar (m/seg)
20,5	71	0,47
23,0	84	0,64
23,7	87	2,03

RIBEIRO, B.A. *Contribuição ao estudo do conforto térmico*. Instituto de Higiene de São Paulo. Boletim n°. 86. 14p. 1945.

Objetivo: Conhecer os valores de conforto térmico em São Paulo, em 1939 em função dos índices catatermometria e das temperaturas efetivas.

Conclusões: A sensação média de conforto apresentou os seguintes coeficientes de correlação de Pearson: catatermometria úmido = -0,71; catatermometria seco = -0,94; temperatura efetiva (escala normal) = + 0,85; bulbo seco = + 0,92 e bulbo úmido = + 0,39

Ribeiro (1945) realizou pesquisa buscando verificar os valores de conforto em função de dois índices na época muito conhecidos, o da catatermometria (tempo decorrido para que a temperatura diminuísse de 37,8°C para 35°C) e o das temperaturas efetivas.

O método adotado para avaliação da sensação de conforto térmico foi o da votação individual de um grupo de 47 moças com idade entre 18 a 29 anos e alunas do curso de Educadores Sanitários do então Instituto de Higiene de São Paulo.

O local de desenvolvimento foi à sala de aula utilizada pelo grupo, que era provida de ventilação natural e iluminação natural abundante, onde nos poucos dias de sol claro e incidente nas janelas, as cortinas se conservavam desenroladas.

As observações foram realizadas durante a estação fria do ano, de agosto e setembro, no período entre as 9 e 10 horas da manhã, sendo que as estudantes adentravam a sala com trinta minutos de antecedência. Nesse período as janelas permaneciam abertas, para a partir do início do experimento, com exceção das bandeiras de 2 ou 3 janelas que permaneciam sempre abertas, as portas e demais janelas serem mantidas fechadas, buscando-se manter o ambiente com ar sempre parado.

Em 3 pontos previamente escolhidos foram registradas as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido bem como determinado o poder refrigerante do ar com *catatermômetros* do tipo padrão, seco e úmido, a uma altura de 1,2m do piso, nível médio da cabeça de um indivíduo sentado.

O autor definiu os questionários com 5 níveis de sensações térmicas assim identificadas: frio, desagradável; fresco, agradável; agradável; quente, agradável e quente, desagradável, 3 sobre o vestuário: deficiente; normal e demais e uma única "sente-se bem disposto?" foram propostos ao término da aula ou 60 minutos após a entrada das alunas no ambiente.

Das 20 observações realizadas resultaram 776 votos individuais perfeitamente aceitáveis para análise que após tratamento estatístico resultaram como graus de correlação +0,85 com a temperatura efetiva; +0,95 com a temperatura de bulbo seco e +0,39 com a temperatura de bulbo úmido. Já os valores de conforto foram de 19,5°C para temperatura efetiva e 21°C para temperatura de bulbo seco.

LANDI, F.R. *A adaptação térmica fisiológica do homem ao meio e a imprecisão das medidas das condições de conforto térmico.* São Paulo. Tese de Livre Docência da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP. 1976.

Objetivo: Análise das imprecisões das avaliações da sensibilidade humana às variáveis temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar, pressão parcial do vapor d'água, atividade física e roupa bem como da adaptação do homem frente às condições de conforto térmico.

Conclusões: O autor sugere a existência de dois mecanismos de natureza fisiológica, um denominado "estrutural", pelo qual o homem sofre uma adaptação gradativa ao meio ambiente (com baixo coeficiente de regressão) e outro de adaptação às rápidas variações de temperatura (com um coeficiente de regressão mais elevado).

Landi (1976) afirma que enquanto nas pesquisas em câmaras climáticas podem-se ter controle bastante preciso das condições ambientais, nas de campo estas não são alteradas e o comportamento humano é medido nas próprias condições de trabalho onde são cometidos certos erros particularmente com

respeito às roupas e a atividade física, resultando daí séria dificuldade na definição das condições de conforto.

Entendendo que a esses erros somam-se as diferenças de comportamento de pessoa para pessoa o que inviabiliza o fornecimento de condições de conforto a um grupo de pessoas e por conseqüência certa porcentagem em desconforto, afirma que a compreensão do fenômeno de adaptação térmica encontra sérias dificuldades para ser bem assimilada. Sugere a existência de dois mecanismos de natureza fisiológica, pelo qual o homem sofre uma adaptação gradativa ao meio ambiente. Exemplificando cita que uma “onda de calor” nos atingindo em pleno inverno ou uma “de frio” no verão são mais sentidas do que quando somos submetidos às mesmas temperaturas médias, de forma lenta e gradativa de qualquer uma delas.

Assim, inicia seu trabalho discorrendo sobre o que chamou de *grandezas relacionadas com pressão e temperatura* - temperatura do ar, temperatura média radiante, temperatura de bulbo úmido, pressão parcial, umidade absoluta, umidade relativa, temperatura de orvalho e velocidade do ar - e as *grandezas relacionadas com a energia* - calor sensível, calor latente e calor total.

A seguir se detém nos mecanismos de troca de calor (condução, convecção e radiação) cuja “soma do calor que se transfere por essas três formas é por sua vez englobada pela denominação geral de calor sensível” e pela evaporação também conhecida como calor latente.

Sobre a produção de calor pelo metabolismo humano, afirma que esta “... não varia linearmente com a atividade física, cresce mais depressa do que ela”. Recomenda o “cuidado necessário para se avaliar um determinado ritmo de atividade porquanto os níveis mais elevados não são mantidos permanentemente, mas por um certo tempo apenas”.

A partir da afirmação de que as roupas constituem o recurso mais econômico para as pessoas se adaptarem ao meio térmico ambiente e ser efetivamente o recurso mais utilizado pelo homem, descreve a transferência de calor do corpo para o meio ambiente em três etapas: do interior do corpo para a pele, da pele para a superfície externa da roupa e da superfície externa da roupa para o ambiente exterior.

Ainda sobre as roupas lembra que se a temperatura crescer lenta mas de forma contínua, gradativamente mais e mais pessoas irão eliminando parte de suas

vestimentas e, de forma inversa, se a temperatura decrescer as pessoas irão colocando mais e mais roupas. Assim, no seu entendimento, os dois comportamentos são semelhantes porém de sentidos inversos ao da reação humana que é de natureza psico-fisiológica e seus extremos função das condições sociais vigentes.

Discorrendo sobre o modelo psicológico de **Brundrett (1974)** afirma que este pesquisador procurou relacionar a capacidade eventual de um indivíduo com as condições de conforto térmico onde a máxima capacidade mental que o homem é capaz de produzir ocorre quando ele se encontra no estado neutro de conforto, isto é, quando todo o calor gerado pelo seu metabolismo, em atividade sedentária, se transfere para o exterior sem esforço do organismo, conseguindo desta maneira uma concentração maior na sua tarefa intelectual e por isso uma produção maior. Neste trabalho ficou também demonstrado que diversos fatores contribuem para o conforto total do homem, não apenas as trocas de calor. Cita as causas de natureza psicológicas, satisfação com o trabalho, motivação e a relação no trabalho que contribuem para o conforto mas de maneira de difícil ponderação.

Landi depois de afirmar textualmente haver *complementado* o modelo fisiológico de **Nicols-Humphrey (1972)**, afirma que este modelo se constitui fundamentalmente de uma ação conjunta de 3 naturezas de fenômenos: o fluxo de calor, o sistema de informações e a ação conseqüente, sendo esta última de duas ordens: as ações involuntárias ou as tomadas automaticamente pelo mecanismo de adaptação do sistema nervoso central como os tremores de frio, a vaso-dilatação, a alteração do ritmo cardíaco e a sudação, e as ações subjetivas, que são tomadas de forma consciente como mudança de atividade física, controle sobre o ambiente, mudanças de roupa e postura.

Afirmou também que em clima quente, o conjunto desses 3 últimos fenômenos age simultaneamente e não são independentes. Entretanto, as relações de dependências não estavam ainda esclarecidas, motivo pelo qual não seria possível montar um conjunto de equações capaz de quantificar o modelo.

Na seqüência apresenta o modelo fisiológico de **Davies (1972)** que representa um circuito elétrico com a sua analogia *tensão-temperatura e corrente-calor*, onde à medida que o calor passa pelas resistências ilustradas, a temperatura sofre uma redução.

Por último discorre sobre o modelo de **Fanger (1982)** que considera o mais adequado para a determinação das condições de conforto do homem, onde no seu entendimento, “as possibilidades quantitativas desta ferramenta, tem-se revelado de alta potencialidade”.

Depois de desenvolver isoladamente cada uma das grandezas da equação de conforto, indica pela complexidade de cálculo, um conjunto de diversos ábacos elaborados em função de seis variáveis físicas, sete valores de “clo”, nove velocidades do ar, uma umidade relativa e oito temperaturas, possibilitando cálculo expedito das condições de conforto.

Citando pesquisas desenvolvidas em laboratórios como em campo, cita em particular a equação de conforto de **Fanger (1982)** e considerando ser “constante entre os pesquisadores a procura de um índice PMV que permita prever a percentagem de pessoas descontentes com a temperatura ambiente”, passa a analisar a influência de cada uma das seis variáveis - temperatura de bulbo seco, temperatura média radiante, pressão parcial do vapor de água, velocidade do ar, roupas, atividade física - na determinação do PMV.

Apesar de afirmar a falta de evidência sobre a adaptação do homem às temperaturas médias do local onde ele vive, cita o trabalho elaborado por **Fanger (1982)** com dois grupos de pessoas expostas a atividades e ambientes diferentes sendo um deles de clima tropical, demonstrando que as preferências térmicas são praticamente as mesmas, apesar da ASHRAE continuar recomendando temperatura de conforto 1°C superior para as mulheres e pessoas idosas e temperaturas diferentes para o verão e inverno.

Afirma também que estudos de campo demonstram que o homem se adapta a determinadas circunstâncias desde que tenha uma certa liberdade de mudanças de atividade, troca de roupa, etc. e que o corpo humano é capaz de se adaptar quando solicitado a ritmos maiores de sudação, onde após algumas semanas de vida num lugar mais quente, o mecanismo de sudação passa a funcionar em outros níveis e permite ao homem suportar trabalhos que antes eram de difícil realização. Da mesma forma que se as variações de temperaturas forem repentinas, mas se acontecerem em torno dos valores de conforto, elas serão aceitáveis e não introduzirão graves inconvenientes. Cita vários trabalhos demonstram esses resultados pelo qual o corpo se adapta mais rapidamente num retorno ao conforto, do que numa saída dele.

Conclui seu trabalho afirmando que os maiores erros cometidos na avaliação do conforto térmico têm origem na dificuldade de uma perfeita avaliação das roupas que o indivíduo está usando, constituindo também imprecisão a dificuldade de se medir a atividade física das pessoas, que via de regra, está em constante modificação.

HACKENBERG, A.M. *Conforto e "Stress" Térmico em indústrias: pesquisas efetuadas nas regiões de Joinville, SC e Campinas, SP.* Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, SP. 2000.

Objetivo: Avaliar subjetivamente seis ambientes industriais com sistemas construtivos e controles térmicos diferentes, com aplicação de questionários aos trabalhadores, em dois climas distintos: no norte do Estado de Santa Catarina e no interior de São Paulo.

HACKENBERG (2000) desenvolveu pesquisa objetivando avaliar as condições térmicas em ambientes de trabalho industrial através de medições dos parâmetros ambientais e entrevistas com os funcionários, uma vez que as normas brasileiras NR-15 e NBR-6401 ao adotar os limites das normas internacionais de conforto e stress térmico da série ISO induze-nos a erro, pois estas partiram de resultados de pesquisas realizadas em regiões de climas frios do hemisfério norte.

Certa de que as referidas normas relacionadas ao ambiente térmico são muito abrangentes, optou por restringir seu trabalho à utilização das normas ISO 7726 no monitoramento das temperaturas de bulbo seco, de bulbo úmido, a temperatura de globo e a velocidade do ar; a ISO 8996 na avaliação da produção de calor metabólico; a ISO 9920 na avaliação da resistência térmica da vestimenta; a ISO 7730 na verificação dos índices de conforto térmico; a ISO 7243 na verificação dos índices de stress térmico; a ISO 10551 na avaliação das sensações térmicas dos trabalhadores e finalmente da ASHRAE 55.

Das 6 empresas analisadas, 2 localizavam-se no distrito industrial de Joinville/SC e as 4 restantes em cidades do interior do estado de São Paulo, assim sendo: uma em local alto e bem ventilado de Jundiaí; outra ao lado de um rio em área bem arborizada próxima a Paulínia e as duas últimas nos distritos industriais de Campinas e Hortolândia.

Para verificar a validade da metodologia a autora realizou pesquisa piloto entre 12 e 15 de janeiro de 1998 optando-se por selecionar a empresa de Joinville devido experiência adquirida em trabalhos anteriores. Já a pesquisa de campo foi realizada nos períodos de 13 a 24 de julho de 1998 e de 15 a 27 de janeiro de 1999 em Joinville e de 23 de fevereiro a 17 de março e de 24 de junho a 7 de julho de 1999 em Campinas.

A autora concluiu pela análise das covariáveis que diferentes ambientes, vestimentas e atividade influenciam a sensibilidade térmica do ser humano.

No verão e em ambientes ventilados naturalmente, a atividade dos trabalhadores e a velocidade do ar exerceram grande influência na insatisfação térmica. Nestes ambientes constatou-se também correspondência entre as indicações da arquitetura bioclimática para melhoria das condições de conforto e a influência das variáveis ambientais na satisfação ou insatisfação do usuário. No inverno, quando havia indicação de aquecimento para melhoria do conforto, a resistência térmica da vestimenta supria satisfatoriamente este fator.

Já em ambientes com ar condicionado central as influências da atividade e da resistência térmica da vestimenta foram mais significativas. No inverno, com temperaturas próximas da faixa de conforto, o grau de satisfação dos trabalhadores foi influenciado principalmente pela resistência térmica do uniforme, em todos os ambientes. Nos ambientes com ventilação forçada a velocidade também exerceu forte influência e em ambientes com ar condicionado central a maior influência foi à temperatura do ar.

VERGARA, L.G.L. *Análise das Condições de Conforto Térmico de Trabalhadores da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Universitário de Florianópolis*. Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 2001.

Objetivo: Análise de parâmetros ambientais e pessoais em pesquisa de campo a partir da comparação das atividades desempenhadas pelos funcionários da UTI do Hospital Universitário da UFSC com os valores propostos pela tabela ISO 7730 (1994).

Conclusões: Após o tratamento estatístico que excluíram valores espúrios restaram 852 medições, 25% delas apresentaram valores inferiores ao valor mínimo estimado de 70 W/m^2 e 22% valores superiores a valor máximo estimado de 116 W/m^2 para taxa metabólica, confirmam que 47% das medições apresentaram valores fora do intervalo estabelecido, não correspondendo as reais atividades desempenhadas pelos trabalhadores.

Vergara (2001) concentrou sua pesquisa em conjunto de dados obtidos durante 3 meses e nos 3 turnos de trabalho (7:00 às 13:00 hs.; 13:00 às 19:00 hs. e 19:00 às 7:00 hs.) da UTI do Hospital Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis, onde as taxas metabólicas foram adotadas a partir da ponderação das atividades desempenhadas pelos trabalhadores em suas rotinas diárias de trabalho em comparação aos valores propostos pela tabela da **ISO 7730 (1994)**, após serem desconsideradas a 1ª. hora da troca de turno visando eliminar taxas metabólicas transientes.

Sua pesquisa obteve 1495 dados sendo que desse total 145 foram excluídos como valores espúrios. Os índices PMV e PPD calculados pelo software BABUC (Microclima para Ambientes Moderados) em consonância com a citada

norma quando comparados às sensações de conforto relatadas pelos trabalhadores, demonstraram que apenas 3,6% das sensações manifestadas são explicadas pelo modelo **Fanger (1982)**.

A partir dos valores máximos e mínimos das taxas de metabolismo estimadas de 79 W/m^2 e 116 W/m^2 , foram calculados novos PMVs para os 3 períodos resultando que 63% dos valores de sensações térmicas apresentaram-se dentro do novo intervalo.

Analisando-se se os trabalhadores estariam exercendo atividades correspondentes a taxas metabólicas superiores ou inferiores às estimadas ou fora do intervalo mínimo e máximo de PMV verificou-se que 78% dos dados ultrapassaram o limite superior indicando situação de calor e 22% estiveram inferiores ao limite mínimo indicando situação de frio.

Na verificação da veracidade da estimação da atividade apresentada pelos trabalhadores durante as medições, as taxas metabólicas foram calculadas analiticamente a partir dos votos de sensações térmicas relatadas com aplicação da equação do modelo de PMV de **Fanger (1970)**, alterando-se os valores das taxas metabólicas estimadas até que os valores de PMV se igualassem às sensações térmicas, obtendo-se desta forma novos valores de taxa metabólica. Considerando que após o tratamento estatístico que excluíram valores espúrios restaram 852 medições - 25% delas apresentaram valores inferiores ao valor mínimo estimado de 70 W/m^2 e 22% valores superiores a valor máximo estimado de 116 W/m^2 para taxa metabólica - resultou que 47% das medições apresentaram valores fora do intervalo estabelecido, não correspondendo as reais atividades desempenhadas pelos trabalhadores.

2.1.1 Modelos Adaptativos e Índices Térmicos para Conforto Térmico em ambientes internos no Brasil

RORIZ, M. *Conforto Térmico em Edificações - Um modelo matemático e uma aplicação.* São Paulo. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura e urbanismo da Universidade de São Paulo. 1996.

Objetivo: Apresentar algoritmos e um exemplo de aplicação de um modelo teórico para simulação do comportamento higro-térmico de edificações tendo em vista avaliar os níveis de conforto proporcionados pelas mesmas.

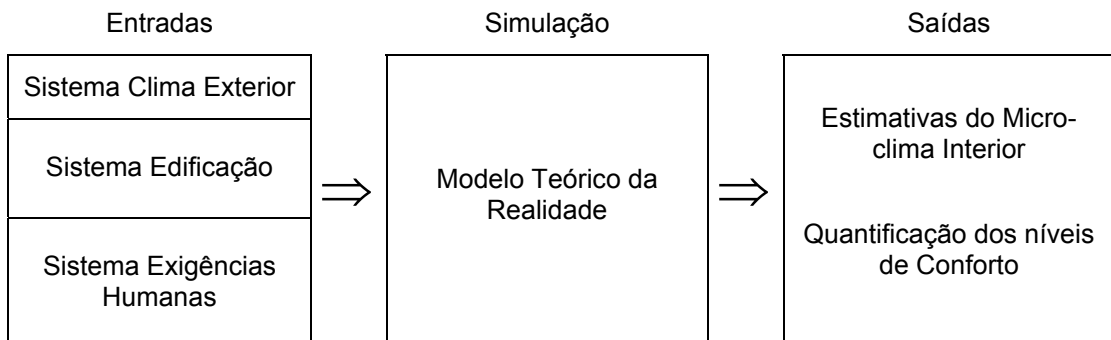
Conclusões: A sensibilidade e a precisão do modelo proposto apresentou no Teste Qui-Quadrado Níveis de Significância superior a 99%, reproduzindo com satisfatória fidelidade o fenômeno real dos processos de troca de calor em edificações. O equacionamento matemático da ventilação nos ambientes internos demonstrou-se insatisfatório da mesma forma que cabe também aperfeiçoar o processo de cálculo das temperaturas das superfícies externas das coberturas.

Pretendendo verificar duas hipóteses, a primeira relacionada especificamente à simulação do clima exterior considerando que pelo conhecimento do padrão das variações horárias de temperatura e umidade do ar típicas de cada clima nos é permitido estimar, com razoável aproximação a partir dos dados disponíveis nas Tabelas de Normais Climatológicas, as suas possíveis variações, e, a segunda supondo que um modelo completo de simulação poderia reproduzir os fenômenos reais com fidelidade suficiente para torná-lo um instrumento de apoio efetivo aos projetistas de edificações, o autor apresenta *"os algoritmos e um exemplo de aplicação de um modelo teórico para simulação do comportamento higro-térmico de edificações tendo em vista avaliar os níveis de conforto proporcionados pelas mesmas"*.

Para isso, reconhece que o estudo do desempenho térmico do ambiente construído deve ainda percorrer longo caminho até que venha ser totalmente conhecido e matematicamente formulado e afirma que o equacionamento principal já foi estabelecido, as ordens de grandezas dos fluxos de calor e das temperaturas já são determináveis com razoável precisão e com isso os principais erros perfeitamente evitados.

Cita vários programas computacionais dedicados a simulação térmica e à avaliação do desempenho térmico de edificações, onde, em seu entendimento, a maioria deles adota como método de cálculo o Fator de Resposta Térmica ou o Procedimento da Admitância, sendo que ambos constituem-se meios alternativos para o equacionamento dos fluxos de calor em regime térmico variável.

Apresenta o quadro esquemático abaixo como estrutura de seu trabalho que diz ser conhecido como sistema de “entradas” e “saídas”.



Mesmo considerando que para estimar as temperaturas do ambiente as simulações partiram de temperaturas conhecidas do ar exterior, fato esse que se contrapõem à realidade dos projetistas uma vez que na simulação do desempenho térmico de uma edificação as próprias condições climáticas são estimadas, o modelo adotado reproduziu com satisfatória fidelidade o fenômeno real dos processos de troca de calor estudados, o que foi comprovado estatisticamente pelo teste *qui-quadrado* que resultaram Níveis de Significância superiores a 99%.

Com respeito ao equacionamento matemático da ventilação nos ambientes internos conclui ser ainda insatisfatório seus resultados da mesma forma que cabe também aperfeiçoar o processo de cálculo das temperaturas das superfícies externas das coberturas e que “o aperfeiçoamento do modelo deveria incorporar variáveis referentes às conseqüências provocadas por diferentes velocidades do ar e pelas trocas térmicas por radiação de ondas longas, possíveis causas das discrepâncias encontradas”.

XAVIER, A.A.P. *Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias - Teoria física aliada a estudos de campo*. Florianópolis. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 2000.

Objetivo: Apresentar metodologia de predição das sensações térmicas de pessoas desempenhando atividades sedentárias, oriunda de estudos de campo.

Conclusões: Os resultados obtidos pelo algoritmo apresentado mostraram-se mais representativo com a realidade encontrada do que aqueles obtidos através da utilização do modelo PMV/PPD. As análises visando o estabelecimento de limites aceitáveis de temperatura e umidade do ar que não causem desconforto mostraram diferenças com relação à zona de conforto proposta por Givoni (1992), de zonas de conforto entre ambientes localizados em distintas regiões geográficas do Brasil como também entre ambientes condicionados termicamente ou não.

Xavier (2000) considerando que a aplicação generalizada da metodologia prevista na **ISO 7730 (1994)** através do modelo PMV/PPD para edificações de distintas situações geográficas e populações pode levar a predição de sensações térmicas não correspondentes com a realidade por não considerar características individuais das pessoas, propõem metodologia de predição das sensações térmicas de pessoas desempenhando atividade sedentária através de pesquisa de campo a partir dos mecanismos físicos de troca de calor e das características individuais dos pesquisados.

Inicialmente propõem um algoritmo para a determinação da taxa metabólica a partir das medições de consumo de oxigênio e características antropométricas e individuais das pessoas.

A metodologia aplicada baseou-se em análise estatística causal entre as sensações térmicas de 30 voluntários desempenhando atividades sedentárias, porém com taxas metabólicas diferenciadas, buscando algoritmo mais representativo com a realidade do que os obtidos com o modelo PMV/PPD. Os coeficientes de determinação encontrados para as sensações relatadas foram $R^2 = 0,90$ e $R^2 = 0,66$ respectivamente. Esses resultados se devem à determinação da taxa metabólica através da medição indireta do consumo de oxigênio como também a existência de diferenças significativas entre cada uma delas. A análise ainda mostrou que a variabilidade dos voluntários bem como de suas massas corporais estavam influenciando significativamente a variabilidade da taxa metabólica, o que também certamente influenciou nos resultados do PMV que em seu cálculo demonstrou que alguns mecanismos de troca de calor, partes integrantes da carga térmica atuando sobre o corpo, não influenciava significativamente a variação térmica verificadas pelas pessoas.

Foi também realizada análise de regressão múltipla entre as sensações reais relatadas e os mecanismos físicos de troca de calor, onde se observou que a

velocidade do ar não é significativa na avaliação térmica dos ambientes internos, condicionados ou não, durante o desenvolvimento de atividades sedentárias. Com isso, a equação de regressão apresentada configura-se em uma boa ferramenta de predição, podendo ser utilizada em situações similares.

Verificou-se também que o algoritmo para as sensações térmicas estimadas quando comparadas com as sensações reais relatadas apresentou coeficiente de determinação $R^2 = 0,86$ possibilitando a avaliação térmica de ambientes internos levando em consideração todas as variáveis ambientais, inclusive velocidade do ar, uma vez que nele está contida uma parcela referente à convecção atuante na pele.

Na verificação de pessoas insatisfeitas o autor realizou 4 análises distintas segundo as metodologias aplicadas por **Xavier (1999)**, **Fanger (1972)**, **Araújo (1996)**, chamando-a de *comparação direta* considerando insatisfeitos os votos +3, +2, -3 e -2 na escala de percepção e +1 e -1 na escala de preferências térmicas. Nesse particular, foi adotado em seu trabalho como percentual de pessoas insatisfeitas o ajuste oriundo do algoritmo não linear referente à consideração dos que votaram +3, +2, -3, -2 e ainda 50% dos que votaram +1 ou -1 na escala de percepções térmicas e encontravam-se insatisfeitas termicamente com o ambiente, tal como **Xavier (1999)** havia concluído.

A expressão matemática final resultou válida para faixa de sensações térmicas variando de +2 a -2 e tendo como percentual predito de pessoas insatisfeitas para situação plena de conforto, 24,65%. A **ISO 7730 (1994)** sugere nesse caso 34,40% de pessoas insatisfeitas. Em outras palavras, o autor concluiu após as 4 análises que, no interior da faixa de conforto sugerida pela ISO, ou seja, $-0,5 < S < +0,5$, a variabilidade do percentual de pessoas insatisfeitas é muito grande, demonstrando que em ambientes aceitáveis termicamente as características subjetivas individuais das pessoas ou suas percepções com relação ao ambiente térmico são muito significativas.

A preposição de método não linear para obtenção da temperatura interna de conforto resultou, considerando-se dados gerais de todo território brasileiro, que a temperatura de conforto para pessoas desempenhando atividades sedentárias em ambiente interno é da ordem de 22°C e a faixa aceitável termicamente é de aproximadamente de 20°C a 24°C. A maior vantagem da utilização da metodologia não linear é o conhecimento simultâneo que, para a temperatura interna de conforto, os insatisfeitos serão da ordem de 25%.

Também ficaram demonstradas zonas de conforto diferente do proposto por **Givoni (1992)** para o Brasil, como também diferentes zonas de conforto para as regiões onde foram desenvolvidas as pesquisas, tanto para ambientes condicionados artificialmente ou não.

GONÇALVES, W.B. *Estudo de índice de conforto térmico, avaliados com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte*. Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais, MG. 2000.

Objetivo: Produzir índices e zonas de conforto térmico e seus limites de aplicabilidade e/ou aceitabilidade para a cidade de Belo Horizonte, MG, levando em conta as características climáticas da região e a adaptação climática das pessoas participantes.

Conclusões: Não foram identificadas diferenças significativas entre os votos de conforto dados por homens e mulheres bem como com respeito ao tempo de adaptação. Observou-se também que os votos de conforto na escala de sensação térmica apresentaram correlação negativa fraca com as variáveis ambientais. Da mesma forma que o nível de satisfação verificado manteve-se relativamente constante ao longo da faixa de temperatura observada e crescente com o aumento da umidade relativa.

Gonçalves (2000) desenvolveu pesquisa em ambiente construído objetivando produzir índices, zonas de conforto térmico com seus limites de aplicabilidade e/ou aceitabilidade para a cidade de Belo Horizonte, levando em conta as características climáticas da região e a adaptação climática das pessoas participantes.

A pesquisa foi realizada com base em população universitária, dentro de salas de aula, no período de março a outubro de 1999, a partir da coleta simultânea das variáveis que influenciam no conforto térmico bem como das respostas dos entrevistados que estimavam a sensação térmica experimentada. Ao mesmo tempo foram identificadas individualmente as vestimentas, idade e adaptação climática de cada um dos participantes.

Os dados receberam tratamento estatístico através de análise descritiva, testes paramétricos de associação, independência e influência, análise de regressão e análise probabilística através do modelo *probit*.

Segundo o autor, os equipamentos utilizados na obtenção dos dados ambientais atenderam as normas internacionais ISO 7726, ISO 7730 e ISO 7243 e norte-americana ASHRAE 55-1992 e 55a-1995.

Discorrendo sobre as *fontes de erro e limitações do trabalho* o autor entendeu que o período de realização dos ensaios, adotado em função da operacionalidade/viabilidade da pesquisa, limitou os resultados obtidos visto não permitirem análise específica das condições de verão e inverno, apesar de que no

seu entendimento, a carta bioclimática de Givoni modificada e recomendada por **Lamberts et al (1999)** como sendo mais adequada para as condições brasileiras não fazer distinção entre os limites específicos para condições de verão e inverno, a exemplo da ASHRAE 55-1992 e da ISO 7730 que se baseiam no conceito de neutralidade térmica.

Citou também às medições de temperatura de bulbo seco onde o sensor não foi protegido durante as medições podendo desta forma ter sido influenciado por fontes de radiação circundantes, como janelas e/ou paredes expostas à radiação solar.

Ainda sobre possíveis erros afirmou que a temperatura de bulbo úmido baseia-se em processo de resfriamento evaporativo em regime permanente, função da pureza da água utilizada, do grau de limpeza da mecha de tecido, da taxa de ventilação e dos efeitos de radiação, onde "... o único fator que foi controlado ... foi a pureza da água, sendo que a falta de controle sobre os outros fatores pode ter introduzido incertezas adicionais na medição".

Da mesma forma entendeu que a medição da velocidade do ar sem adoção de técnicas mais precisas para determinação da direção do fluxo pode ter também introduzido erro nos resultados.

Por fim, afirmou que no cálculo do balanço térmico do corpo a utilização da taxa constante de 70W/m^2 proveniente de experimentos realizados em câmaras de simulação climática e o cálculo do isolamento térmico da vestimenta que também provem de experimentos em câmaras de simulação climática e manequins térmicos devem ter produzido incertezas.

A partir dessas considerações enfatizou que as proposições levadas a termo em seu trabalho estão direcionadas para a situação típica estudada.

A análise dos resultados alcançados revela que não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre os votos de conforto dados por homens e mulheres como ao tempo de adaptação. Particularmente com respeito às mulheres, a análise estatística demonstrou que o ciclo menstrual não exerceu influência significativa nas respostas dadas. Já entre a idade, peso e altura dos participantes, somente a altura apresentou influência significativa na sensação térmica.

Observou-se também que os votos de conforto na escala de sensação térmica apresentaram correlação fraca e negativa com as variáveis ambientais.

Especificamente com respeito à umidade relativa, as sensações térmicas *muito quente*, *quente* e *ligeiramente quente* também apresentaram correlação fraca e negativa, enquanto as *ligeiramente frio* e *frio* correlações positivas, moderada e fraca respectivamente.

As correlações entre os votos de conforto e velocidade do ar resultaram fracas porém positiva com respeito as sensações *muito quente*, *quente* e *ligeiramente quente* e negativa com as *ligeiramente frio*, *frio* e *muito frio*, ou seja, à medida que a velocidade do ar aumentava, também aumentava o desconforto por calor. Entendeu o autor que “tal resultado se deve a uma possível influência dos outros fatores ambientais, principalmente a umidade relativa, fazendo com que, em alguns ensaios de campo, na passagem do ar pela pele, os ganhos por convecção superassem as perdas por evaporação”.

Na escala de preferências térmicas os votos *mais quente* e *sem mudança* apresentaram correlação negativa, de fraca a moderada, com as temperaturas do ar, de bulbo úmido, de globo, radiante média e operativa. Já com a umidade relativa correlação fraca e positiva. O voto de preferência *mais frio* apresentou correlação da mesma ordem porém de sinal inverso com as mesmas variáveis climáticas.

Entre as variáveis ambientais verificou-se correlação muito forte entre as temperaturas monitoradas. De todo tratamento estatístico exposto, o autor concluiu que apenas as temperaturas operativa e de bulbo úmido poderiam ser consideradas no modelo a ser obtido por análise de regressão múltipla.

No cruzamento das variáveis ambientais com as variáveis psico-fisiológicas verificou-se que as variações dos percentuais dos votos de sensação térmicas apresentaram comportamento extremamente semelhante com relação à temperatura de bulbo seco e à temperatura operativa. À medida que ambas aumentavam, verificou-se a tendência de aumento dos votos *mais quente*, *quente* e *ligeiramente quente* e diminuição dos votos *ligeiramente frio*, *frio* e *mais frio*.

O autor observou que o nível de satisfação verificado manteve-se relativamente constante ao longo da faixa de temperatura observada, e crescente com o aumento da umidade relativa, demonstrando no seu entendimento, que o nível de satisfação não é função exclusiva das condições ambientais e que provavelmente, a oscilação observada pode ter ocorrido em função do uso de mecanismos adaptativos por parte dos usuários, resultando em níveis de satisfação diferenciados.

Observou também que às sensações referentes à qualidade do ar indicaram que os usuários preferiram velocidades mais baixas, associando porém as velocidades mais altas a níveis maiores de frescor. Com respeito à umidade do ar observou que, de uma forma geral, os votos dos usuários refletiram as mudanças na umidade relativa, sendo que os percentuais dos votos muito seco e um pouco seco diminuíram à medida que ela aumentou.

Para avaliar os mecanismos adaptativos utilizados pelos participantes na pesquisa, foi efetuado o cruzamento das variáveis psico-fisiológicas entre si, verificando-se que uma parcela significativa dos usuários que se declararam fora das condições de conforto julgaram o ambiente aceitável e/ou que conseguiriam desenvolver suas atividades normalmente, apesar do desconforto. No entendimento do autor, esse resultado também pode estar ligado ao uso de mecanismos adaptativos por parte dos usuários.

A fim de determinar o percentual máximo de insatisfeitos a ser considerado na definição dos limites de conforto para a população em estudo, foi efetuado o cruzamento do percentual real de insatisfeitos em cada sala de aula, com a sensação térmica média observada. Mediante um ajuste não linear relacionando as duas variáveis, obteve-se equação e coeficiente de determinação $R^2=0,786$. Através da equação, para um voto médio estimado igual a zero (pleno conforto) estimou-se a existência de 16,5% de insatisfeitos, em comparação com os 5% previstos pela equação resultante da correlação entre a PPD e o PPD.

Para a faixa de sensações térmicas de -0,5% a +0,5 obteve-se aproximadamente 25% de insatisfeitos em comparação com os 10% preconizados na norma **ISO 7730 (1994)** e 20% na norma **ASHRAE Standard 55 (1992)**.

No relacionamento das variáveis psico-fisiológicas com mecanismos adaptativos ao estresse térmico, verificou-se que a transpiração foi utilizada como mecanismo termo-regulador com mais intensidade pelos usuários que apresentam sensações térmicas de calor. Para 42,2% destes usuários a transpiração foi utilizada num grau intermediário de intensidade e para 0,5%, num grau muito intenso. Já 8,3% dos usuários que relataram sensação térmica de conforto também declararam a transpiração num grau intermediário de intensidade. Para os usuários que relataram sensações térmicas de frio, esse mecanismo foi pouco declarado.

Com respeito às atitudes adaptativas ou ao uso de mecanismos adaptativos, a estratégia “abrir portas e janelas” foi utilizada de formas diferenciadas pelos

usuários. Somando os que a utilizaram pouco ou raramente, encontrou-se percentual de 38,7% e aqueles que a utilizaram muito e freqüentemente, percentual pouco menor ou 22,8%. Quanto ao grau de liberdade que usuários julgaram ter para adotar essa estratégia, a maioria dos usuários (43,8%) o julgou suficiente, embora uma parcela significativa (31,2%) o achou pouco suficiente.

A maioria dos usuários (27,4%) utilizou ventiladores de vez em quando e parcela quase igual (26,1%) freqüentemente ou sempre. A maioria (36,1%) julgou suficiente o grau de liberdade para adotar essa estratégia, e 20,9% pouco.

De toda análise realizada, o autor buscou apresentar modelo de previsão da sensação térmica por análise de regressão múltipla que determinasse melhor correspondência com a realidade.

Depois de verificar correlação muito forte entre a temperatura de bulbo seco, a temperatura operativa e a temperatura radiante média, o autor optou por utilizar a temperatura operativa em função de seu cálculo resultar numa média ponderada entre a temperatura de bulbo seco e a temperatura radiante média. Para determinar as demais variáveis preditas que seriam utilizadas no modelo, efetuou análise dos coeficientes de determinação R^2 de modelos diferentes, em relação à temperatura de bulbo úmido e a umidade relativa, separadamente, resultando na escolha da temperatura de bulbo úmido por apresentar coeficiente de determinação maior. A seguir, partindo da análise de regressão múltipla das variáveis preditas sobre a variável independente obteve-se equação que após análise resultou da equação final.

Finalmente foram definidos os limites de conforto térmico para a população em estudo a partir dos votos *levemente frio* e *levemente quente* que, após tratamento analítico e estatístico, donde resultou em termos de temperatura de bulbo seco o intervalo de conforto de 20,8°C a 24,7°C.

RORIZ, M. *Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo.* Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de São Carlos.

Objetivo: Discute-se uma hipótese sobre limites confortáveis de temperatura do ar em ambientes internos, supondo que as temperaturas de conforto acompanhem a oscilação horária da temperatura exterior.

O autor inicia seu trabalho discorrendo sobre as duas correntes de pensamento voltadas a definição de conforto ambiental onde a que tem **Fanger (1982)** como principal representante entende que “por serem biologicamente idênticas, as pessoas de qualquer parte do planeta devem ter as mesmas preferências térmicas” pelo que os limites de temperaturas confortáveis podem ser universais. De tão consistentes, os resultados obtidos por Fanger através de respostas a questionários sobre sensações térmicas além de gerarem equações teóricas sobre trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente, vieram servir de base para importantes normas como a ANSI/ASHRAE 55 (1992) e a ISO 7730 (1994).

Da mesma forma discorre sobre a segunda linha de entendimento, denominada “adaptativa”, que considera que “quando ocorre alguma mudança ambiental que provoque desconforto, as pessoas procuram tomar providências que restabeleçam as condições confortáveis” podendo ser “desde a troca de roupas até abrir ou fechar janelas, acionar ventiladores, ajustar um toldo de proteção solar, etc..” Cita as Planilhas de Mahoney - **ONO (1970)**, o trabalho pioneiro realizado por **Humphreys (1978)**, o de **Darmawan (1999)** e o mais recente de **Humphreys e Nicol (2001)**.

Afirma que nas Planilhas de Mahoney desenvolvido por Mahoney, Koenigsberger e Evans as temperaturas desejáveis para o período noturno e diurno são dependentes das médias mensais da umidade relativa e da média anual da temperatura do ar exterior. Segundo sua interpretação, este modelo supõe que as pessoas preferam temperaturas mais baixas a noite que as desejadas durante o período diurno.

Já sobre **Humphreys (1978)** afirma que as temperaturas internas preferidas dependiam das temperaturas médias externas mensais, podendo essa dependência para ambientes sem aclimatização ser expressa por equação linear, para no seguinte ou **Humphreys e Nicol (2001)** ser proposto modificação nas equações de **Fanger (1982)** tentando no seu entendimento “torna-las sensíveis ao caráter adaptativo das sensações térmicas humanas”.

Neste ponto observa que “além das ações humanas conscientes de preservação do conforto, um outro argumento contra adoção de limites universais para temperaturas confortáveis é a própria aclimação”.

Sobre **Darmawan (1999)** afirma que são apontadas três categorias de adaptação térmica, quer sejam pelo ajustes de comportamento através da escolha de roupas, mudança no nível de atividade, abertura ou fechamento de janelas, etc., ou adaptações fisiológicas pela aclimação ou reações psicológicas pela expectativa decorrentes da experiência das pessoas com as variações das temperaturas do local.

Depois de apresentar diversas equações - **Mahoney e Humphreys (1978)**, **Szokolay (1987)**, **Fergus Nicol (2000)**, **Bravo e Gonzales (2001)** - indicando a temperatura de conforto para diversas localidades do mundo - conclui pelas diferenças encontradas ser necessário o prosseguimento das pesquisas de campo nas mais diversas regiões climáticas, “principalmente nas regiões tropicais, para onde as atuais normas internacionais são menos aplicáveis”, devendo-se entretanto, enquanto não se disponha dessas pesquisas, atentar-se a recomendação feita por **Nicol (2000)** de aplicar-se a equação de **Humphreys** nesses locais. Desta forma, toma a reta resultante do estudo desse autor como centro do intervalo de temperaturas confortáveis buscando os valores admitidos acima e abaixo dela.

Depois de citar **Nicol e Humphreys (2001)** e **Szokolay (1987)** que consideram $\pm 2^{\circ}\text{C}$ como limite da faixa de conforto e o modelo de **Mahoney** para quem esse intervalo é de $\pm 3^{\circ}\text{C}$, apresenta a partir da equação de **Humphreys** e com intervalo de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, gráficos com as curvas representativas das temperaturas médias mensais para as cidades de Campos do Jordão/SP e Fortaleza/CE observando que em janeiro as temperaturas médias de conforto podem variar de 19°C em Campos do Jordão até $28,5^{\circ}\text{C}$ em Fortaleza e em junho/julho de 15°C até $27,5^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

Da mesma forma apresenta mais dois gráficos para as mesmas cidades, onde as curvas de oscilação horária de dias cujas temperaturas variam no intervalo das normais climatológicas, ou seja, entre as médias de mínimas e as médias das máximas, demonstrando que os habitantes de Fortaleza deveriam sentir 6,6 graus-hora de calor em um dia que apresenta as menores temperaturas do ano e os de Campos do Jordão sentir 81,2 graus-hora de frio em um dia de verão. Disso afirma

que “estas conclusões, que não parecem realistas para dias literalmente “normais”, decorrem da aplicação de limites constantes para o dia inteiro”.

Depois de discorrer sobre trabalhos relacionados à aclimatação, afirma que “parece ser razoável supor, portanto, que as preferências térmicas humanas variem ao longo das horas do dia” e que “ao adotar apenas dois intervalos (dia e noite), o modelo de Mahoney procura simplificar a questão. Tendo em conta os estudos dos fisiólogos sobre o sincronismo entre o organismo humano e o ciclo noite-dia, não é sensato acreditar-se que até determinado horário uma temperatura seja aceita como confortável e já no momento seguinte passe a ser desagradável”.

Assim sendo propõem considerar que a temperatura média de conforto sofra alguma oscilação, sincronizada com a que ocorre com a temperatura externa. Para isso, sobre a temperatura média do dia aplica a equação de Humphreys ampliando-se a faixa de tolerância para $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ e supondo que a flutuação da linha central da zona de conforto corresponda a 40% da amplitude de variação da temperatura externa. Disso, sabendo-se que em Campos do Jordão a temperatura média de janeiro é $16,7^{\circ}\text{C}$ e a média do dia é $15,7^{\circ}\text{C}$ com a nova zona de conforto o frio acumulado cai de 81,2 para 45,7 graus-hora, com redução de 44%. Já para Fortaleza onde a temperatura média de julho é de $25,6^{\circ}\text{C}$ e a diária é $24,8^{\circ}\text{C}$, a oscilação horária dos limites reduzem o calor acumulado de 6,6 para apenas 0,6 graus-hora e o período de frio desaparece.

Conclui seu trabalho afirmando ser necessário que sua hipótese seja mais profundamente estudada visando aferir sua validade. Lamenta que a maioria das pesquisas de campo já publicada não menciona os horários das entrevistas e que um modelo de variação horária dos limites confortáveis teria outras vantagens, algumas delas relacionadas aos estudos sobre a adequação climática de edificações. Afirma também que apesar de se calcular em graus-hora os valores acumulados de desconforto por frio ou por calor ao longo das horas de um período típico, dia, mês ou ano, para se identificar os efeitos de cada variável construtiva sobre o conforto ambiental ou sobre a eficiência energética de edificações, supondo para isso limites horários constantes para as temperaturas internas confortáveis, “seus resultados poderiam comprometer a interpretação dos fenômenos reais envolvidos no processo”.

Com respeito às futuras pesquisas entende ser necessário verificar se as flutuações da umidade e da velocidade do ar interferem nos limites horários de conforto supostos em seu trabalho.

Julgamos conveniente definirmos *graus-dia* e *graus-hora*. Segundo **Goulart et al (1998)** “*graus-dia* é um parâmetro climático que pode ser definido como o somatório da diferença de temperatura, quando esta se encontra abaixo de uma temperatura base (T_b). Ou seja, quando a temperatura média for menor que T_b , calcula-se a diferença ($T_b - T_{méd}$), somando-se estas diferenças, dia-a-dia, para todo o ano. *Graus-hora* pode ser estimado de maneira similar, porém tomando-se as temperaturas horárias em vez de temperaturas médias diárias. Neste caso, deve-se verificar os valores de temperatura hora-por-hora, durante todo o ano”.

As divergências encontradas entre as metodologias de avaliação do conforto térmico em ambientes internos e externos também têm provocado discussão fora do Brasil.

3. O ESTUDO DE CONFORTO TÉRMICO EM OUTROS PAÍSES

TANABE, S. Thermal Comfort requirements in Japan. - Waseda University. 1988.

Objetivo: Investigar os requerimentos de conforto térmico de japoneses e asiáticos sob ponto de vista da conservação de energia em edifícios.

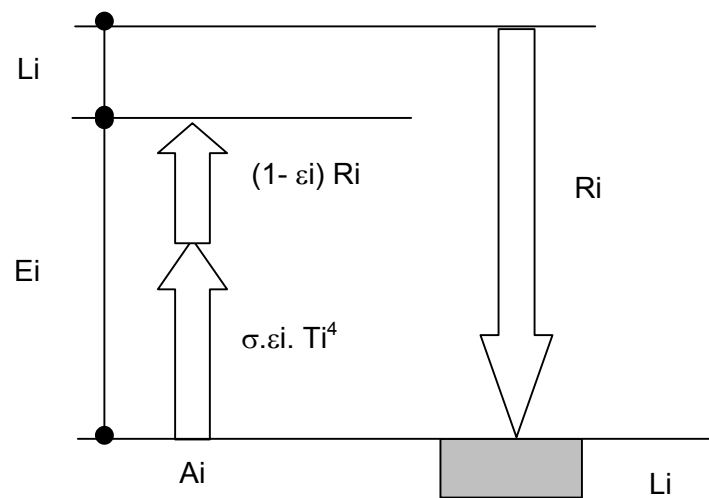
Conclusões: Nova forma de esfriamento e aquecimento é apresentada juntamente com revisão de estudos e normas sobre conforto térmico. Da mesma forma apresenta detalhado método de cálculo de temperatura radiante média e novo método analítico do que chamou Temperatura Modificada (MT). Após investigar o comportamento térmico de casas vernaculares japonesas em 3 locais diferentes, descreve os efeitos do ar em movimento em edifícios ventilados e espaços condicionados artificialmente e as necessidades japonesas para conforto térmico no inverno. Conclui seu trabalho descrevendo os efeitos da mudança de umidade no conforto térmico subjetivo.

Depois de apresentar as recomendações da ISO-7730, ASHRAE 55-81 e NKB (The Nordic Committee on Building Regulations) para ambientes termicamente aceitáveis com respeito à neutralidade térmica e as formas de desconforto como assimetria radiante, corrente de ar, pisos frios e quentes e diferenças verticais de temperaturas o autor propõe como forma de aquecimento e resfriamento “a taxa de calor necessária a se remover ou fornecer a um ambiente para mante-lo em constante nível de conforto térmico especificado”.

Discorrendo sobre a troca de calor entre o homem e seu meio ambiente através da radiação, convecção, condução e evaporação que são influenciados principalmente por 4 parâmetros físicos (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade) e 2 humanos (taxa metabólica e roupa), o autor afirma que no cálculo da temperatura radiante média em ambientes com paredes com cor diferente de preto devem ter a emitância levada em conta.

Para isso considerou na figura a seguir:

- A_i = superfície qualquer
- E_i = taxa líquida de emissão da superfície A_i
- R_i = Taxa líquida de radiação recebida por A_i
- L_i = Taxa líquida de energia recebida por A_i



donde deduziu que: $R_i = \sum_j F_{ij} \cdot E_j$

$$L_i = R_i - E_i \quad \text{logo}$$

$$E_i = (1 - \epsilon_i) \sum_j F_{ij} \cdot E_j = \sigma \cdot \epsilon_i T_i^4 \quad \text{onde}$$

F_{ij} = fator de forma entre as superfícies A_i e A_j

T_i = Temperatura da superfície A_i (K)

E_i = Taxa líquida de emissão da superfície A_i (W/m^2)

L_i = Taxa líquida de energia ganha pela superfície A_i (W/m^2)

R_i = Taxa líquida de radiação recebida por A_i (W/m^2)

ϵ = emitância da superfície A_i

Da mesma forma que

$$E_i = F^{-1} \cdot E_b$$

$$E_i = \sum_j F_{ij}^{-1} \cdot \sigma \cdot \epsilon_j \cdot T_j^4 \quad (1)$$

e de acordo com a definição de temperatura radiante média em superfície cinza:

$$\sigma \cdot \bar{T}_r^4 = \sum_i F_{pi} \cdot E_i \quad (2) \quad \text{onde}$$

\bar{T}_r = Temperatura radiante média

Obtendo-se

$$\bar{T}_r^4 = \sum_j \left(\sum_i F_{pi} \cdot F_{ij}^{-1} \right) \epsilon_j \cdot T_j^4$$

Para superfícies negras a Temperatura Radiante Média é dada por

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{F_{p1}(t_1 + 273)^4 + F_{p2}(t_2 + 273)^4 + \dots + F_{pn}(t_n + 273)^4} - 273$$

onde F_{pn} = fator de forma entre a pessoa e superfície A_n

t_n = temperatura na superfície A_n

No estudo do conforto térmico requerido para o verão, o autor identifica vários experimentos realizados que no seu entendimento não podem propiciar comparação estatística válida em relação aos resultados americanos e europeus pelo pequeno número de voluntários participantes nos projetos. Esse fato, além de tornar impossível o cálculo de temperatura aceitável, tornou por conta de muitos desses estudos haverem sido realizados em umidade relativa moderada, também difícil qualquer conclusão a respeito dos efeitos da umidade na sensação de conforto térmico. Assim sendo, certo de que a umidade desempenha importante papel no conforto térmico dos japoneses e asiáticos, propõe estudo em condições de 40%, 60% e 80% de umidade relativa o que foi feito em uma câmara climatizada construída na Universidade de Waseda. Esse experimento contou com a participação de 172 voluntários com bom estado de saúde.

Depois de permanecerem por 30 min. em uma ante-sala os voluntários eram encaminhados para a câmara de teste que mantinha inalterado o ambiente térmico durante as 3hs. do experimento, onde depois de 1 hora de iniciado e depois a cada 30 minutos no decorrer das próximas 2 horas os voluntários eram submetidos ao seguinte questionário:

- Como você sente termicamente este ambiente?

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

- Sobre a sensação térmica experimentada, você sente este ambiente termicamente confortável ou desconfortável? Por favor escolha uma das opções:

- 0 Confortável
- 1 Ligeiramente desconfortável
- 2 Desconfortável
- 3 Muito desconfortável

- Você aceita termicamente este ambiente?

- Sim Não

Dentre os resultados verificados, a temperatura estimada ficou de 2°C a 5°C superior a verdadeira enquanto que a umidade relativa também estimada foi de 45% a 60% demonstrando baixa sensibilidade.

A partir da definição dada por **Tanabe e Kimura (1986)** e **Tanabe et al (1987)** para Temperatura Modificada “como a temperatura do ar para umidade relativa de 50%, velocidade média do ar de 0,5m/s, temperatura radiante média igual à temperatura do ar, vestimenta de 0,6 Clo e taxa metabólica de 1,0 Met que poderia determinar a mesma sensação térmica como no ambiente térmico

analisado”, o autor afirma que seu cálculo é feito através do modelo PMV de Fanger.

O coeficiente de correlação entre a média dos votos de sensação térmica e a temperatura modificada resultou 0,93 demonstrando forte relação e para todos os votos individuais 0,67 ou média relação.

Já no estudo do efeito do ar em movimento no conforto térmico durante o verão, o autor concluiu que:

- A sensação térmica para alta velocidade do ar de 0,5m/s foi muito menor que o PMV e os valores experimentais estimados;
- A Temperatura Efetiva Padrão é considerada mais adequada para sensação térmica estimada sob alta velocidade do ar como o modelo PMV, especialmente em condição quente e úmida;
- A temperatura média da pele tem boa relação com a Temperatura Modificada e os resultados experimentais para baixa velocidade do ar;
- Em ambiente quente e úmido o percentual de voluntários que acham desconfortável o movimento do ar foi bastante pequeno comparado com aqueles em condições térmicas neutras.
- As preferências de velocidade do ar foram:
 - ✓ MT = 27°C; UR = 50% → 1,0m/s
 - ✓ MT = 29°C; UR = 50% → 1,2m/s
 - ✓ MT = 29°C; UR = 80% → 1,4m/s e
 - ✓ MT = 31°C; UR = 50% → 1,6m/s

Finalmente o autor também conclui que os voluntários que sentiram que o ambiente térmico estava ligeiramente frio indicaram -0,5 no voto de sensação térmica sob as condições de velocidade do ar preferidas.

MATZARAKIS, A., MAYER, H. *Atmospheric conditions and human thermal comfort in urban areas.* 11th Seminar on Environmental Protection, Environment and Health. 20. 23. November 2000, Thessaloniki, Grécia, 155-166.

Objetivo: Considerando que o mais importante fator a influenciar no balanço de energia humano é em dias ensolarados a temperatura radiante média, os autores apresentam o Modelo RayMan para cálculo dos fluxos de radiação de ondas curtas e longas no corpo humano.

Conclusão: O modelo calcula a temperatura radiante média requerida no balanço de energia humano para avaliação bioclimática urbana assim como sua influencia nos índices PMV - Voto Médio Predito, PET - Temperatura Fisiológica Equivalente e SET* - Temperatura Efetiva Padrão.

Citando os trabalhos de **JENDRITZKY (1990)**; **MATZARAKIS e MAYER (1996)** e **VDI (1998)** os autores afirmam que a relação causa e efeito entre o ambiente atmosférico e a saúde humana ou conforto humano pode ser analisada pela classificação humana biometeorológica que distinguem:

- o complexo térmico - que compreendem os fatores meteorológicos “temperatura” e “umidade do ar”, “velocidade do vento” como também “radiação de ondas longas e curtas” que termo-fisiologicamente afetam o homem em seus ambientes internos e externos.
- o complexo de poluição do ar - que incluem os componentes naturais e antropogênicos sólidos, líquidos e gasosos que causam efeitos adversos à saúde humana, no interior como no exterior.
- o complexo actínio¹ - que incluem a faixa visível e ultravioleta da radiação solar que determinam, além do efeito térmico, efeito biológico direto, e
- a biotropia - ciência que trata dos efeitos do tempo no corpo humano, que identifica 3 possíveis reações no organismo: a do próprio corpo e a meteorosensibilidade leve e intensa.

Depois de discorrerem sobre a avaliação do complexo térmico inclusive apresentando a mesma Tabela 5 no trabalho anterior a este, os autores passam a discutir a importância do fluxo de radiação nos estudos biometeorológicos humanos afirmando que contrariamente aos índices térmicos como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, a temperatura radiante média T_{mrt} é o mais importante parâmetro para obtenção do balanço humano de energia durante o

¹ Actínico, *adj.* (fis) Diz-se da ação química que os raios da luz solar exercem sobre certas substâncias; relativo ao actinismo. (Do gr. *aktis, inos.*). Dicionário Brasileiro Globo. Ed Globo. 53^a. ed. 2000.

período de verão, desempenhando enorme influência nos índices termofisiológicos **PET** - Temperatura Fisiológica Equivalente ou **PMV** - Voto Médio Predito.

Citam a existência de métodos para estimar o fluxo de radiação baseado em parâmetros que incluem temperatura e umidade do ar, graus de cobertura de nuvens, transparência do ar e horas do dia. Entretanto, o albedo² das superfícies próximas, seus ângulos sólidos e adicionalmente outros fatores como as propriedades geométricas dos edifícios, vegetação, etc, tem que serem conhecidas e levadas em conta. Para isso apresentam o **Modelo RayMan (MATZARAKIS et al (1999))** - que afirmam ser adequado para o cálculo do fluxo de radiação especialmente em estruturas urbanas. Este modelo traduzido no software **RayMan** possibilita após a inserção das variáveis o cálculo da temperatura radiante média requerida no modelo de balanço de energia humano e assim a avaliação bioclimática urbana e dos índices **PMV**, **PET** e **SET***.

MATZARAKIS, A., MAYER, H. *Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures.* In: *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium* (ed. by R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R. Oke and A. Auliciems): Selected papers from the Conference ICB-ICUC'99, Sydney, WCASP-50, WMO/TD N^o. 1026, 273-278.
<http://www.mif.uni-freiburg.de/matzarakis/publication.htm>

Objetivo: Discussão de métodos de determinação da Temperatura Radiante Média - T_{mrt} finalizando com a apresentação do software RayMan.

Conclusões: O fluxo das ondas curtas e longas de radiação, que são relevantes no balanço de energia humano em estrutura urbana considerando o efeito das nuvens são calculados através do Modelo RayMan.

Depois de uma breve definição de Temperatura Radiante Média e sua importância no balanço humano de energia, os autores apresentam como formas de cálculo da Temperatura Radiante Média:

$$T_{mrt} = \left[\frac{1}{\sigma} \sum_{i=1}^n \left(E_i + a_k \frac{D_i}{\varepsilon_p} \right) F_i \right]^{0,25} \quad \text{onde}$$

σ = Constante de Stefan-Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

ε_p = Coeficiente de emissão do corpo humano (valor padrão = 0,97)

² Albedo, *subs.* (astr) Proporção entre a quantidade de luz refletida pela face de um corpo opaco e a quantidade de luz que incide sobre esta face. Novo Dicionário de Termos Técnicos. Ed Globo. 25ª. ed. 2001.

$$E_i = \varepsilon_i \cdot \sigma \cdot T_{Si}^4$$

F_i = fatores de forma das superfícies que segundo os autores são detalhados em **VDI (1998)**, **JENDRIZKY et al 1990)**, **FANGER (1982)**, **VDI (1994)** e **KRYS E BROWN (1990)**.

D_i = radiação difusa e radiação global refletida total

a_k = Coeficiente de absorção da superfície do corpo a radiação de ondas curtas (valor padrão = 0,7).

Entretanto, se houver radiação solar direta T_{mrt} é substituída por T_{mrt}^* donde consideram:

$$T_{mrt}^* = \left[T_{mrt}^4 + f_p \cdot a_k \frac{I^*}{\varepsilon_p \cdot \sigma} \right]^{0,25} \quad \text{onde}$$

I^* = intensidade de radiação do Sol na superfície perpendicular a direção da radiação incidente

f_p = fator de projeção da superfície, que é função da direção da radiação incidente e a postura do corpo. Para aplicação prática em biometeorologia humana é geralmente suficiente determiná-lo por simetria rotacional para a pessoa de pé ou andando, considerando igual a 0,308 para ângulo de altitude solar de 0° e 0,082 para 90°.

Como outra forma de mensuração da Temperatura Radiante Média apresentam dispositivo composto de um piranômetro para medição do fluxo de radiação de ondas curtas e de um pirgeômetro para o fluxo de ondas longas que, instalados em lados opostos e de maneira que seja possível rotação em torno dos eixos vertical e horizontal, viabilizam resultados tridimensionais da radiação que atinge o ser humano. Na prática, afirmam que o fluxo de radiação de ondas longas e curtas é calculado em relação aos 4 pontos cardeais como também aos hemisférios inferior e superior.

O fluxo de radiação média S_{str} do corpo humano pode ser calculado por:

$$S_{str} = a_k \sum_{i=1}^6 K_i F_i + a_l \sum_{i=1}^6 L_i F_i \quad \text{onde}$$

K_i = fluxo de radiação de ondas curtas

L_i = fluxo de radiação de ondas longas

a_k e a_l = coeficientes de absorção de radiação de ondas curtas e longas respectivamente

Na seqüência indicam que a T_{mrt} pode ser assim calculada

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{(S_{str} / (a_l \sigma)) - 273,2}$$

Afirmam que o fluxo de radiação atuante em uma pessoa sentada a partir dos pontos cardeais é mais importante que os dos hemisférios.

Particularmente com respeito ao **Modelo RayMan** que, segundo os autores, é explicado em detalhes em **JENDRIZKY et al (1990)** e **VDI (1994)**, afirmam também que os fluxos de radiação são calculados por aproximações pelo modelo que inclui temperatura e umidade do ar, grau de nebulosidade, transparência do ar e tempo e dia do ano, sendo que o albedo das superfícies próximas e seus ângulos sólidos proporcionais devem ser especificados.

Considerando que os fluxos de radiação de componentes meteorológicos e astronômicos são freqüentemente calculados por fórmulas bem conhecidas, afirmam que o maior problema na aplicação em planejamento urbano e regional é a quantificação da radiação direta e difusa nas áreas sombreadas pelas estruturas dos edifícios. Nesse sentido afirmam que o **Modelo RayMan** é bem apropriado pois levando em consideração vários e complexos horizontes, permite a inserção da estrutura urbana como edifícios, árvores, se o horizonte é ou não natural para estimação do tipo de céu, como também a quantidade de nuvens que pode ser inserida graficamente buscando-se estimar seu impacto no fluxo de radiação.

O resultado final do **Modelo** é o cálculo da Temperatura Radiante Média em área urbana requerida no balanço humano de energia na avaliação bioclimática.

Este modelo foi desenvolvido de acordo com a norma alemã **VDI 3786 - Part 2 “Methods for the human-biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level, Part I: Climate”**.

Concluem afirmando que para a avaliação do componente térmico de clima urbano e regional, dados precisos e de alta resolução de radiação de todo entorno são necessários o que também pode ser feito pelo **Modelo RayMan**.

FIALA, D. *Dynamic Simulation of Human Heat Transfer and Thermal Comfort*. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements of De Monfort University for the degree of Doctor of Philosophy. June 1998.

Objetivo: Criar modelo de simulação que estime o comportamento térmico humano e as sensações térmicas humanas para variadas circunstâncias incluindo condição transiente.

Discorrendo sobre as bases fisiológicas da regulação térmica corporal o autor afirma que isso somente é possível graças à específica estrutura de nervos que continuamente detectam o comportamento térmico periférico e interno do corpo humano, onde tanto a temperatura atual (componente estático) como a taxa de mudança da temperatura (componente dinâmico) é identificada por variáveis físicas que promovem mudanças nas atividades elétricas dos termoreceptores. Afirma que a hipótese de que o fluxo de calor seja estímulo para os termoreceptores ainda não foi experimentalmente comprovada.

Continuando, afirma também que as informações dos termoreceptores internos e periféricos são processadas pelas reações termoregulatórias, onde sensores cutâneos produzem sinais positivos e/ou negativos ao totalizador térmico central provocando o suor, a vasoconstrição ou vasodilatação cutânea ou o arrepiar e que a temperatura da pele produz efeito autônomo local no suor e no fluxo de sangue da pele, da mesma forma que a temperatura interna exerce profunda influência sobre a resposta ao calor.

Indicando correlação fisiológica do conforto térmico e a sensação térmica associada com a temperatura da pele e a temperatura interna do corpo, afirma que o desconforto por frio depende da temperatura da pele, enquanto que para situações de desconforto por calor foram relatadas dependências entre a temperatura da pele, a temperatura interna, a variáveis das reações termoregulatórias (pele molhada e condutância superficial da palma da mão) e ainda as combinações entre elas. No entanto todos esses relacionamentos estão limitados a situações onde os voluntários permaneciam em estado estável. Já as

pesquisas em situações transientes mostraram que a temperatura do corpo e as respostas termoregulatórias atrasam consideravelmente em relação às estimativas sensoriais dinâmicas, havendo indicação de que a taxa de mudança da temperatura da pele pode ser um importante sinal para a sensação transiente de conforto e temperatura.

Considerando que os modelos dos sistemas térmicos passivos levam em conta leis físicas na transferência de calor que ocorre no corpo humano de seu interior para sua superfície, quer seja pela condução e convecção causada pela circulação do sangue ou pela perda de calor pela superfície por convecção, radiação e evaporação, como também pela respiração, o autor discorre sobre os modelos existentes, inclusive matemáticos para tornar como base de seu sistema passivo o modelo desenvolvido por **Gordon (1974)**. Seu modelo utilizou as propriedades termofísicas e fisiológicas basais dos tecidos materiais de diversos trabalhos, adotando em seu *humanóide* valores médios de um homem (73,5kg de peso; 14% de gordura corporal; 1,9m² de superfície corporal; 87W de taxa de metabolismo; 18W de evaporação basal pela pele e 4,9l/min fluxo sanguíneo).

Esse “corpo” foi idealizado como elementos esféricos ou cilíndricos que formaram: cabeça, face, pescoço, ombros, braços, mãos, tórax, abdome, pernas e os pés. Segundo o autor, foi evitado a utilização de blocos de dados como por exemplo de temperaturas internas e superficiais do corpo, pela possibilidade da ocorrência de erros sob temperatura transiente, o que é o caso. Entretanto, de acordo com estudos realizados por outros pesquisadores, essa divisão foi feita sempre que mudanças das propriedades dos tecidos acontecessem.

No caso específico da pele, foram consideradas duas camadas com propriedades características fisiológicas diferentes. A camada interna com 1mm de espessura, simulando o plexo cutâneo, região onde o calor metabólico é gerado. A externa, de espessura similar, sem conter fontes de calor ou qualquer vaso térmico de sangue significativa. Entretanto, esta camada desempenha papel importante na perda de calor evaporativo, pois ela contém as glândulas de suor e simulam a barreira de vapor para difusão da umidade pela pele.

Por conta da assimetria térmica os elementos do corpo, o mesmo foi dividido nos setores identificados como *anterior* (frente do corpo), *posterior* (parte de trás do corpo) e *inferior* (no caso da perna, a parte voltada para sua parte interior). Os setores *anterior* e *posterior* possibilitaram a verificação da troca de calor em função da assimetria térmica do ambiente lateral. Já o setor *inferior* que é voltado para os

lados que são “escondidos” do corpo propiciou estudos relativos a redução na troca de calor radiante com o ambiente.

Depois de discorrer sobre as formas de transferência de calor no tecido humano (condução, metabolismo e circulação de sangue) e com o ambiente (convecção, radiação, isolamento de roupas, evaporação, perda de calor pela respiração) o autor descreve o modelo numérico adotado onde cada tecido foi dividido em nós espaçados diferentemente e de forma radial. O modelo de sistema passivo foi verificado utilizando-se soluções analíticas em condições de temperaturas estáveis e transientes. Em estado estável a precisão esteve menor que 0,02K e no transiente, na análise de todas temperaturas nodais em função do tempo indicaram erro médio de $|\Delta T| = 0,19K$ com diferenças maiores mais próximas ao interior, $|\Delta T| = 0,45K$ (interior $|\Delta T| = 0,15K$) e a menor diferença ocorre na superfície periférica com $|\Delta T| = 0,04K$.

Em outro importante teste, foram comparadas as temperaturas obtidas no cilindro envolvente ao tecido musculoso com a solução analítica da equação desenvolvida por **Eberhart (1985)**. Neste caso, o erro médio para todas temperaturas para $\Delta T = 5\text{min}$ foi de $|\Delta T| = 0,04 \pm 0,11K$.

Assim sendo, o modelo matemático de predição de respostas térmicas humanas e a sensação térmica em condições estáveis e transientes de temperatura obteve sucesso, englobando a estimativa de temperatura do corpo, respostas termoregulatórias, componentes de trocas ambientais de calor e, sobretudo, Sensação Térmica Dinâmica - DTS, em situações de stress térmico por frio, de clima frio, neutro, quente e de stress térmico por calor, a partir da análise de atividades iguais a 10 met para condições ambientais e de vestimentas não uniformes.

TOFTUM, J. *Human response to combined indoor environment exposures.* Energy and Buildings 34. p. 601-606. 2002.

Objetivo: Avaliar as significâncias da exposição térmica combinada e da interação entre as condições térmicas e outros aspectos do ambiente interno de edificações comerciais e residenciais.

Conclusões: Evidências limitadas foram encontradas da significância da interação entre diferentes aspectos do ambiente interno. Apenas para o efeito da temperatura e umidade do ar no sensor de qualidade do ar foram bem estabelecidos possíveis relacionamentos.

Caracterizando a corrente de ar como resfriamento indesejável do corpo causado pelo ar em movimento, **Toftum (2002)** afirma que as taxas recomendadas nas atuais normas de conforto térmico são baseadas no modelo desenvolvido por **Fanger et al. (1988)** que prediz o percentual de pessoas insatisfeitas em função de

velocidade média do ar, temperatura do ar e intensidade de turbulência, para pessoas desempenhando atividade sedentária, experimentando neutralidade térmica e vestindo roupa para ambiente interno.

Cita estudos de campo realizados em diferentes zonas climáticas pela ASHRAE onde foram estabelecidas relações entre parâmetros ambientais e as respostas de ocupantes de edifícios comerciais, onde apesar da distribuição das velocidades do ar durante a realização do estudo ter sido distorcida pelos baixos valores verificados do total de 5.653 registros, apenas 8% foram de velocidades do ar foram superiores a 0,2 m/s, 3% maiores que 0,25 m/s e 2% maiores que 0,3 m/s, limitando a prevalência do desconforto por corrente de vento.

Foi verificado também que para o voto de sensação térmica “ligeiramente frio” com velocidade do ar variando de 0 a 0,15 m/s, 46,3% dos entrevistados não desejavam mudanças enquanto que 40,1% preferiam mais movimento de ar. De 0,15 a 0,25 m/s esses percentuais passaram para 41,7% e 41,6% respectivamente. Já para voto “neutro” que varia de -0,5 a +0,5 na escala **ASHRAE Standard 55 (1982)**, com velocidade do ar variando de 0 a 0,15 m/s, o percentual que não desejavam mudanças atingiu 46% e os gostariam maior movimento do ar 52%. Para velocidade do ar variando de 0,15 a 0,25 m/s os percentuais estiveram entre 68,6% e 29,4%. Finalmente para votos situados entre 0,5 e 1,5 ou para a condição “ligeiramente quente” com velocidade do ar entre 0 e 0,15 m/s os percentuais foram 21,9% para aqueles que preferiam ficar sem mudança e 75,4% que houvesse mais movimento de ar. Já para velocidade do ar entre 0,15 e 0,25 m/s os percentuais foram 33,3% e 58,3%.

Esses resultados foram obtidos a partir da pesquisa ASHRAE RP-884 “modelo adaptativo de conforto térmico”, com dados de taxa metabólica variando de 1,1 a 1,4 met. As temperaturas foram verificadas a 1,1 m acima do piso altura considerada da cabeça de uma pessoa sentada e consideradas entre 22,5°C e 23,5°C.

A pesquisa demonstrou também que a preferência por menor movimento de ar foi maior quando os ocupantes sentiram-se ligeiramente com frio e que o percentual de entrevistados que preferiram mais movimento de ar aumentou com a sensação térmica. Em geral, somente alguns entrevistados preferiram menos movimento de ar, particularmente quando experimentaram sensação térmica neutra e ligeiramente quente.

Com objetivo de verificar o critério desenvolvido por **Fanger et al. (1988)** o autor cita trabalho realizado por **Toftum et al (2000)** sobre sensibilidade a corrente de ar em escritório com atividade padrão em que, de forma oposta ao critério de Fanger, onde os entrevistados permaneciam sentados e expostos ao ar em movimento durante o experimento, neste os entrevistados permaneciam sentados por aproximadamente 4 minutos e 45 segundos e andando por outros 15 segundos, a cada período de 5 minutos.

Na comparação dos resultados ficou demonstrado o baixo percentual de insatisfeitos quando a exposição ao ar em movimento era interrompida e o nível de atividade aumentado em intervalos curtos e regulares.

Em outro estudo de campo, voluntários em atividade sedentária permaneceram em ambiente sob temperatura neutra e fria e expostos a dois fatores de desconforto térmico, corrente de ar e radiação assimétrica. Após os resultados serem analisados em separado e em conjunto, obtiveram-se de cinquenta dos voluntários submetidos à situação “sem corrente de ar” até velocidade do ar de 0,5 m/s e radiação assimétrica provocada por uma parede fria com temperatura variando de 0 a 20°C, indicação que o desconforto aumentava com a velocidade do ar mas independente da radiação assimétrica existente. A interação velocidade do ar e radiação assimétrica foi insignificante e suas respostas para a velocidade do ar e radiação assimétrica independentes.

Considerando que numerosos estudos propõem que o nível de atividade e a sensação global influenciam na suscetibilidade humana de desconforto térmico, o autor afirma que a sensação térmica fria parece aumentar o desconforto local, enquanto que atividades elevadas resultam em ocupantes menos sensíveis. Afirma também que a sensação térmica global é função do nível de atividade, do índice de isolamento das roupas, de 4 parâmetros ambientais e que os padrões e diretrizes atuais quase sempre presumem as pessoas sentadas e sensação térmica global neutra. Sob esse aspecto cita os trabalhos realizados por **Dear (1998)** e **(2000)** relatando que sempre os ocupantes com tipos similares de trabalho podem ter atividade padrão que diferem de permanecerem sentados por longos períodos, alternando para atividades desempenhadas sentado, de pé e andando. Neste trabalho que foi realizado em escritório, a re-análise das respostas indicou que quando as atividades foram iniciadas nos 10 minutos anteriores ao preenchimento do questionário, a sensação térmica relatada foi ligeiramente elevada. Afirma que

Olesen (2000) igualmente encontrou acréscimo de 0,3 met na mudança de atividade desenvolvida “sentada” para “de pé”, correspondendo a um decréscimo na temperatura preferida de aproximadamente 2,4°C.

Conclui seu trabalho afirmando que os estudos referenciados demonstraram claro impacto da atividade e sensação térmica global na sensibilidade humana com o ar em movimento, enquanto que os efeitos da interação de fatores de desconforto térmicos não foram observados.

Apesar de alguns modelos para projeto e avaliação de desconforto térmico em ambientes internos serem atualmente disponíveis, entende que mais informações são necessárias, pois existem limitadas evidências de significantes interações entre diferentes aspectos do ambiente interno, onde somente os efeitos da temperatura e umidade relativa do ar foram bem estabelecidos na sensação da qualidade do ar.

Assim manifesta expectativa de que novas pesquisas possam apresentar relacionamento entre a carga de poluição, taxa de ventilação e a qualidade do ar percebido, sugerindo que indiretamente o clima pode alterar várias outras respostas dos ocupantes, bem como sua saúde e performance.

3.1 ESTUDOS RECENTES DE ÍNDICES TÉRMICOS E MODELOS ADAPTATIVOS DE CONFORTO TÉRMICO PARA AMBIENTES INTERNOS

SHARMA, M.R.; ALI, S. *Tropical Summer Index - a study of Thermal Comfort of Indian subjects.* Buildings and Environment. 21. p. 11-24. 1986.

Objetivo: Desenvolver índice que através de equação de regressão múltipla expresse a sensação térmica em termos das variáveis ambientais, para pessoas em repouso.

Conclusão: O índice foi desenvolvido a partir de equação matemática simples, de fácil utilização com bons resultados comparados aos índices existentes.

A partir do entendimento de que um índice deve, além de ser simples na sua utilização bem correlacionar as sensações térmicas das pessoas engajadas em sua rotina diária normal, os autores monitoraram as sensações térmicas (segundo a escala de Bedford) experimentadas por 18 jovens adultos do sexo masculino, em

grupos de 6 deles por ano, durante 3 verões consecutivos. Foram também anotados os valores da temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura de globo e o tempo de resfriamento indicado pelo Katertômetro.

Após tratamento estatístico em que primeiramente se verificou o Coeficiente de Correlação (R^2) e depois o Teste de Student (t) a equação final resultante foi

$$S = 0,067 t_w + 0,162 t_g - 0,449 V^{1/2} - 1,917 \quad \text{onde}$$

S = Sensação Térmica

t_w = Temperatura de Bulbo Úmido

t_g = Temperatura de globo

V = Velocidade do Ar

Essa equação que levando em conta o efeito da temperatura do ar e o calor radiante a partir da temperatura de globo, da unidade através da temperatura de bulbo úmido e finalmente a velocidade do ar, determinou-se suas influências individuais na sensação térmica experimentada pelos voluntários como também na construção do que os autores chamaram "Tropical Summer Index - TSI" ou Índice Tropical de Verão. Esse índice foi definido como *a temperatura de globo/ar em ambiente sem corrente de ar, com UR = 50% e que produz a mesma sensação térmica que o ambiente sob análise.*

Tomando θ como o valor termicamente equivalente do TSI sob essas condições tem-se

$$S = 0,067 t_{w(50)} + 0,162 \theta - 1,917 \quad \text{onde} \quad t_{w(50)} = 0,827 t_{a(50)} - 2,732$$

$$\text{Logo} \quad \theta = 0,308 t_w + 0,745 t_g - 2,06 V^{1/2} + 0,841$$

Para determinação rápida do TSI os autores indicam a equação:

$$\text{TSI} = 1/3 t_w + 3/4 t_g - 2 V^{1/2}$$

Concluindo, apresentam gráfico relacionando percentual dos votos de sensação térmica para os diferentes níveis em função do TSI calculado como também gráfico psicrométrico indicando zona de conforto em função desse mesmo TSI calculado.

NICOL, J.F. *Thermal Comfort - A handbook for field studies toward an adaptive model.* University of East London. England. 1993.

Objetivo: Sugere o desenvolvimento de um modelo que pode ser utilizado de forma dinâmica, como novo padrão interativo de conforto térmico através de metodologia científica que complementaria os estudos de campo que são elaborados tendo por base os modelos de laboratório.

Conclusões: O autor considera que a verdadeira natureza das nossas interações com o ambiente só podem ser obtidas pela realização de pesquisas de campo, até por que no seu entendimento, existem dúvidas em relação aos resultados alcançados na aplicação do modelo PMV que advém de experimentos em câmara climática.

Nicol (1993) afirma inicialmente que o estudo de conforto térmico estava em crise, existindo insatisfação difundida com a predição da que ele chamou *temperatura estática de conforto*, a partir da utilização do modelo baseado no balanço térmico.

Sugere o desenvolvimento de um modelo que pode ser utilizado de forma dinâmica, como novo padrão interativo de conforto térmico através de metodologia científica que complementaria os estudos de campo que são elaborados tendo por base os modelos de laboratório.

Afirma que além dos *aspectos fisiológicos* onde através do metabolismo a maior parte da energia produzida pelo corpo é transformada em calor; dos *aspectos psicofísicos* onde nossa ação inconsciente de regulação térmica controlada pelo cérebro é aumentada pela sensação térmica da pele e *aspectos físicos* como convecção, radiação e evaporação, devemos considerar o índice de isolamento das roupas como também nosso comportamento que desempenha papel importante na nossa interação térmica com o ambiente e por conta disso na variação da taxa metabólica. Em outras palavras, no seu entendimento a interação do homem com seu ambiente pode provocar mudança na taxa metabólica de várias formas, passando desde a troca de roupa que implica em variação do índice de isolamento considerado até a mudança de postura ou a movimentação entre diferentes ambientes térmicos. A essas interações que são conscientes deverão ser juntadas as inconscientes, muito mais difíceis de se identificar.

A seguir afirma que as condições de conforto podem ser verificadas através do desenvolvimento de pesquisas laboratório (câmaras climáticas) e em campo e ainda serem desenvolvidas de forma analítica e/ou empírica.

Com respeito às pesquisas de campo, aconselha que aplique aos entrevistados ao mesmo tempo em que são mensuradas as variáveis ambientais, questões que identifiquem em escala subjetiva as sensações térmicas

experimentadas. Além disso, entende que o método aceitável de análise de pesquisa de campo é a utilização de estatística onde o voto de conforto é tomado como variável dependente e os parâmetros ambientais como variáveis independentes.

Quanto ao tratamento analítico reconhece sua vantagem em função de que todos os fatores que envolvem a interação homem/ambiente serem conhecidos através modelos que utilizam as condições físicas e psicológicas que atuam no conforto térmico. Cita o modelo de Fanger - Voto Médio Estimado - que se tornou base da **ISO 7730 (1994)** e o de Gagge - Padrão de Temperatura Efetiva - para a **ASHRAE Standard 55 (1982)**.

Sobre o modelo Fanger afirma que ele parte da premissa que o balanço entre o calor produzido e o calor perdido pelo corpo é condição necessária mas não suficiente para conforto térmico, isso por que se pode imaginar situação em que o balanço teórico pode ocorrer, mas a sensação experimentada não ser considerada confortável. Estendendo a utilização do modelo propôs que a sensação térmica poderia ser estimada pela pessoa em função da condição psicológica imposta pelo ambiente em comparação a uma dada escala de valores. Assim, tabelas de PMV foram apresentadas para diferentes situações e serviram de base para a **ISO 7730 (1994)**.

Já o modelo de Padrão de Temperatura Efetiva também utiliza a temperatura da pele como parte de sua condição limite, mas utiliza fração de pele molhada como taxa de suor para outra condição limite. O Padrão de Temperatura Efetiva relaciona a real condição para a temperatura segundo padrão de vestimentas, taxas metabólicas e taxa de umidade relativa de 50% que resultariam na mesma resposta fisiológica. A temperatura efetiva pode também ser relacionada à resposta subjetiva.

O autor também relaciona como pontos a serem discutidos no modelo Fanger o fato dos dados serem obtidos a partir de estudos em câmaras climáticas e em condições em que o estado térmico estável e a estimativa da condição ótima de conforto do PMV e PPD requererem o conhecimento do índice de isolamento de roupas e da taxa de metabolismo, a partir de valores tabelados. Entende que para os projetistas as características do modelo Fanger apresentam inúmeros problemas, desde o conhecimento de qual roupa o ocupante usará até qual atividade estará desempenhando o que é difícil opção pela possibilidade de ocorrerem várias alternativas no mesmo espaço. Além disso, ao aplicarem as

tabelas do modelo estarão considerando com aproximação, que as condições estáveis das câmaras climáticas se repetem nos edifícios, o que no seu entendimento fazem com que o método seja de difícil aplicação em edifícios sem aquecimento e ventilação mecânica.

Discorrendo sobre as diferenças entre os sistemas empírico e analítico, afirma que recentes estudos de campo em que a vestimenta e a atividades foram tomadas na hora da pesquisa, ficaram comprovado que a média dos valores PMV se apresentaram razoavelmente diferentes da média dos votos de conforto. Após comentário, conclui afirmando que todos eles surgem da inabilidade do modelo do balanço térmico levar em conta os fatores sociais e climáticos que fazem parte das pesquisas de campo. Assim, cita os trabalhos desenvolvidos por **Humphreys e Nicol** em 1970, 1972, 1976 e 1978 visando incorporar esses fatores na padronização de conforto, através de um modelo adaptativo que não começa pela consideração da troca de calor entre o homem e o ambiente, mas pela observação que há um limite nas ações que o homem pode e leva termo para alcançar conforto térmico. Essas ações podem ser desenvolvidas das mais diferentes formas desde a modificação da geração interna de calor, da taxa de perda de calor corporal, da temperatura do ambiente ou na escolha de ambiente diferente.

Afirma que na verdade existem inúmeras restrições que limitam nossa possibilidade de ação no desconforto e que não havendo controle direto sobre o ambiente a probabilidade de desconforto pode aumentar.

O autor considera que a verdadeira natureza das nossas interações com o ambiente só pode ser obtida pela realização de pesquisas de campo, até por que no seu entendimento, existem dúvidas em relação aos resultados alcançados na aplicação do modelo PMV que advém de experimentos em câmara climática. Assim sendo, indica que para realização de pesquisa de campo a primeira coisa que se deve ter presente é o que pretende aferir e como se pretende fazê-lo. A seguir, o grupo de pessoas que serão responsáveis pelo relato de suas sensações e preferências térmicas devem ser perfeitamente identificadas e preparadas em relação ao projeto. A metodologia a ser utilizada na realização da pesquisa é o terceiro item a ser considerado.

Continua afirmando que não menos importante é a definição das variáveis (que abranja completamente o experimento) e da quantidade de observações, levando-se em conta que a análise estatística indica melhores resultados quanto maior for a quantidade de dados. Entretanto, afirma que essa quantidade pode ser

prejudicial por levar o experimento a se desenrolar por muito tempo. Assim, entende que pesquisa com 20 variáveis que resultem individualmente em 100 dados parece ser razoavelmente adequada.

NICOL, J.F. *Thermal Comfort - Time and Posture - Exploratory studies in the nature of adaptive thermal comfort.* Oxford Brookes University. England. 1996.

Objetivo: Sugerir utilização de modelo adaptativo de padrão de temperatura interna que seja compatível com a variação da temperatura em edifícios ventilados naturalmente.

Conclusões: Preliminarmente que a umidade relativa e a velocidade do ar tiveram pequeno efeito na sensação térmica experimentada. A temperatura de conforto, isolamento de roupas e a resposta ao ambiente mensurado pelo voto de conforto resultaram dependentes não simplesmente da temperatura instantânea, mas também das seqüências expressas pela variação da temperatura externa. Também resultou que a temperatura interna de conforto depende da temperatura média externa diária, como também existe grande correlação da temperatura de conforto e isolamento de roupa com a variação da temperatura externa. Finalmente, que a postura contribui importantemente com balanço térmico entre o corpo humano e o ambiente.

Nicol (1996) descreve as implicações de uma abordagem adaptativa de conforto térmico para temperatura interna padrão, onde são apresentados resultados experimentais e analíticos do efeito da taxa de mudança de temperatura externa e da postura humana.

Essa pesquisa foi desenvolvida durante 7 semanas entre agosto e setembro de 1994, em 4 edifícios da Oxford Brookes University que poderiam ser caracterizadas como *construção leve e condicionadas artificialmente* e *construção mista (leve e pesada)*. Em todas elas as variáveis térmicas ambientais (temperatura do ar e de globo, umidade relativa e velocidade do ar) foram monitoradas em intervalos de 15 minutos e registrados em data-logger.

Os 19 voluntários indicaram através de questionário respondido 3 vezes por dia (manhã, meio-dia e à tarde) seus votos de conforto, preferência térmica e a umidade da pele, identificando as características de suas roupas, atividade e possível controle térmico (ajuste de persianas/cortinas, abertura de janelas/portas, utilização de ventiladores, aquecedores, etc).

Preliminarmente a análise demonstrou que a umidade relativa e a velocidade do ar tiveram pequeno efeito na sensação térmica experimentada e que a temperatura de conforto, isolamento de roupas e a resposta ao ambiente mensurado pelo voto de conforto resultaram dependentes não simplesmente da temperatura instantânea, mas das seqüências expressas pela variação da temperatura externa.

Também ficou demonstrada a dependência da temperatura interna de conforto com a temperatura média externa diária, como também a grande correlação da temperatura de conforto e isolamento de roupa com a variação da temperatura externa.

Os valores de correlação (r) para níveis de significância de 80% foram 27% para a relação entre a temperatura de conforto e a temperatura média; 41% para o índice de isolamento das roupas e a temperatura média externa; 45% para o voto de conforto e a temperatura interna instantânea; 79% para o voto médio diário de conforto e a temperatura média externa; 87% para o índice de isolamento das roupas e a temperatura média externa e 63% para o voto de conforto estimado em relação à temperatura média diária interna e a temperatura média diária externa.

Ficou também demonstrado que a postura contribui no balanço térmico entre o corpo humano e o ambiente, entretanto, o autor afirma que mais pesquisas devem ser realizadas para prover uma base de padrão de temperatura interna dinâmica que seja compatível para edifícios ventilados naturalmente.

MALLICK, F. H. *Thermal comfort and building design in the tropical climates.* Energy and Building 23 p. 161-167. 1996.

Objetivo: Discutir fatores que influenciam a obtenção de conforto térmico em edificações, considerando a percepção de conforto adquirida pelas pessoas pela longa exposição a altas temperaturas e umidade.

Considerando que o conforto ambiental depende de vários fatores quantificáveis - variáveis ambientais - e outras não quantificáveis - sensação de bem-estar - o autor afirma que evidências experimentais têm produzido valores que são utilizadas em projetos de edificações como diretrizes para se obter tal conforto, quer seja através de meios mecânicos ou estratégias naturais.

Cita que as preferências das pessoas de diferentes localizações variam em termos da aclimatização experimentada, onde aquelas por muito tempo expostas a situações de clima quente indicam ser mais tolerantes as altas temperaturas que as provindas das regiões mais frias. Credita esse aspecto a habilidade das pessoas em se adaptarem a particular ambiente em função do padrão comportamental e estilo de vida. Desta forma, em qualquer clima a pessoa irá buscar forma e meio de se sentir confortável, como por exemplo em clima quente alojar-se em ambientes sombreados, se expor a corrente de ar ou ainda proporcionarem mudanças na escolha do tipo e cor das roupas.

Entretanto lembra que essa mudança de comportamento só é realizada por quem já experimentou clima melhor ou até pior do então enfrentado sendo que aquelas que inevitavelmente sempre estiveram expostas à situação de desconforto térmico por calor como por exemplo as de baixa renda social e por conta disso nunca experimentaram ambientes condicionados artificialmente, não promovem nenhuma mudança de comportamento para alterar seu ambiente de vivência enfrentado.

O presente trabalho foi realizado em Bangladesh, mais precisamente na cidade de Dhaka que é localizada em região tropical de clima quente e úmido, com altas temperaturas e alta umidade relativa no período julho/agosto. Nela, os estilos de vida são diferentes e as atividades diárias não permitem períodos de descanso que neutralize o stress térmico, onde apenas a utilização de ventiladores traz alívio a situação térmica enfrentada.

Considerou-se na sua realização a escala de Bedford de sensação térmica, monitorando-se a temperatura, umidade, temperatura de globo, velocidade do ar e em alguns casos a temperatura externa. Da mesma forma anotou-se a idade, sexo, ocupação, localização, roupa e atividade desenvolvida pelos voluntários em ambiente doméstico, tanto em condições de trabalho como em repouso, buscando-se identificar o estilo de vida e preferências para atingir conforto térmico. Por ser a única maneira de se promover conforto interno por meio mecânico, registrou-se o fluxo de ar exterior, a utilização de ventiladores e fluxo de ar gerado por eles sob várias velocidades. Nesse caso em particular as sensações experimentadas foram identificadas com votos de *confortavelmente frio*, *confortável* e *confortavelmente quente*.

Com respeito às roupas (0,5 clo) e atividades desempenhadas (0,8 a 1,2 met) o estudo considerou como de situação doméstica normal.

Foram verificados os seguintes resultados:

✓ Temperatura e movimento do ar:

Em situação de trabalho e sem corrente de ar a temperatura de conforto manteve-se entre 24 e 33°C. Quando em atividade sedentária os limites foram 24 e 32°C. Com o ar em movimento verificou-se aumento da temperatura de conforto mas dentro de certos limites. Para velocidade do ar de 0,15m/s provocado pelos ventiladores não se verificou alteração na temperatura de conforto. Já para 0,3m/s os

limites inferior e superior alteraram-se em 2,4 e 2,2^oC respectivamente. Para 0,45m/s esses acréscimos diminuíram para apenas 1^oC.

✓ Umidade:

Os resultados mostraram tolerância para situações de alta umidade, ocorrendo instante que as pessoas se reportavam como confortável ambiente com 95% de umidade relativa. Valores ligeiramente superiores foram verificados na inexistência ou ocorrência de pequena velocidade do ar. Para altas velocidades do ar os valores foram inferiores. O limite inferior de umidade verificado no experimento foi de 50%. Entretanto, o autor afirma que aparentemente o efeito da umidade não influenciou as sensações térmicas relatadas.

✓ Temperatura radiante:

Os valores verificados estiveram entre 22,8 e 33,9^oC para os três votos relatados. Comparando os dados reais, a temperatura de globo neutra indica precisão enquanto que os valores inferior e superior apresentam divergência razoável.

Conclusivamente verificou-se que entre 24 e 32^oC e 50 e 90% de umidade relativa os voluntários encontravam-se em situação de conforto, mesmo que no ambiente não existisse ou houvesse pouco movimento de ar. Afirma que altos valores de umidade relativa foram aceitos em função do condicionamento adquirido durante muitos anos e conseqüente alto limiar de tolerância à situação enfrentada e não por simples e particular escolha.

Considerando que a temperatura radiante é decisiva na determinação do conforto e sempre que a temperatura é alta, baixa temperatura radiante pode induzir a sensação de conforto, afirmam que edificações *leves* têm baixa temperatura radiante e com oferecem sensação de conforto.

Sobre o fluxo de ar afirmam que valores superiores a 0,3m/s podem proporcionar conforto em ambientes com altas temperaturas e que valores menores somente contribuem como ventilação saudável.

Como diretrizes de projeto visando conforto térmico afirmam sobre:

✓ Massa térmica e exposição

Como já é conhecida, a variação da espessura das paredes provoca significativa diferença na performance de conforto nas edificações. Comparações realizadas com espessuras de 125, 250 e 375mm indicaram diferenças significantes no comportamento térmico, onde as mais espessas foram bastante superiores da mesma forma que telhados planos de concreto são diretamente afetados pela incidência de radiação solar enquanto que pisos térreos são beneficiados pelo contato com o solo.

✓ Orientação

Dado a alta densidade de edifícios em áreas urbanas a vantagem de uma boa orientação é freqüentemente desconsiderada. Cita como exemplo, à escolha da orientação *leste* que determinou edificação internamente *fria* tanto quanto as de orientação *oeste* que de modo inverso são mais quentes.

✓ Fluxo de ar

A utilização de grades e/ou telas protetoras contra insetos provoca redução do fluxo de ar conforme ficou demonstrado no trabalho. Assim sendo, a utilização de ventiladores da importante contribuição à ocupação confortável do ambiente construído.

HÖPPE, P. *The physiological equivalent temperature - A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment.* International Journal of Biometeorology. 43. p. 71-75. 1999.

Objetivo: Propor a PET - Temperatura Fisiológica Equivalente a partir da temperatura do ar, do balanço térmico humano, taxa de metabolismo, isolamento da roupa, temperatura interna do corpo e temperatura da pele.

Lembrando que recentemente as informações sobre o tempo estão cada vez mais precisas e com isso mais úteis, passando desde os índices de intensidade de radiação ultravioleta e sua possível influência em problemas de saúde até na escolha da roupa mais adequada ou mais confortável, **Hoppe (1999)** afirma que, entretanto, o corpo humano não possui um sensor seletivo para percepção dos parâmetros climáticos e sim para apenas registra-los através de termoreceptores e

promover de forma instintiva resposta termoregulatória para a temperatura (e sua variação) da pele e do fluxo de sangue que passa pelo hipotálamo. Cita como exemplo dessa complexa interação que no seu entendimento só pode ser quantificada de forma realística com auxílio de modelos de troca de calor, os momentos de baixa velocidade do ar onde a temperatura radiante média é tão importante para o balanço de calor do corpo humano como a temperatura do ar, da mesma forma que inversamente, em dias com alta velocidade do ar em que ocorre alta troca de calor convectivo, a temperatura do ar é mais importante que a temperatura radiante média.

Depois de discorrer sobre o modelo de **Fanger (1982)** e **Jendrizky et al. (1979, 1990)** afirma ainda que mais aplicáveis são aqueles que possibilitam aos pesquisadores estimarem valores de temperatura da pele, temperatura interna, taxa de suor ou de pele úmida reais do corpo humano, sendo necessário para isso se levar em conta processos termoregulatórios básicos como a vaso-dilatação, vaso-constricção e a taxa de suor psicológica já considerada por **Hoppe (1993)**. Esse processo, identificado como **MEMI - Modelo de Balanço de Energia Individual Munique**, tratado por **Hoppe (1984, 1994)** é no seu entendimento, à base de cálculo da temperatura por ele chamada de **PET - Temperatura Fisiológica Equivalente**, definida como a temperatura para qualquer espaço (interno ou externo) equivalente à temperatura do ar para que em recinto fechado típico (sem corrente de ar e radiação solar) o balanço de calor do corpo humano desempenhando atividade leve e com roupa de resistência térmica de 0,9 clo, é mantido com a temperatura interna e da pele igual as condições avaliadas. Deste modo a **PET** permite uma pessoa comparar os efeitos integrais das complexas condições externas com sua própria experiência no ambiente interno.

O modelo de balanço térmico **MEMI** baseia-se na equação de balanço de energia do corpo humano (1) considerando-se ainda a equação que descreve o fluxo de calor do interior do corpo humano para a superfície da pele (2) e da equação do fluxo de calor da superfície da pele para a superfície externa da roupa (3). Segundo o autor esse sistema de equações e algumas considerações termofisiológicas são detalhados em **Höppe (1984)** sendo possível o cálculo para qualquer parâmetro climático, atividade e tipo de roupa do estado térmico do corpo, caracterizado pelo fluxo de calor, temperatura do corpo e taxa de suor.

$$1. \quad M - W + R + C - E_D + E_{Re} - E_{Sw} + S = 0 \quad \text{onde:}$$

M	Taxa metabólica	E_D	Perda de calor por transpiração imperceptível
W	Trabalho mecânico realizado	E_{Re}	Soma dos fluxos de calor para aquecimento e de umedecimento do ar inspirado
R	Radiação líquida do corpo	E_{Sw}	Fluxo de calor devido à evaporação do suor na pele
C	Fluxo de calor convectivo	S	Fluxo de calor armazenado para aquecimento ou resfriamento do corpo

$$2. \quad F_{CS} = v_b \times \rho_b \times c_b (T_c - T_{Sk}) \quad \text{onde:}$$

F_{CS}	Fluxo de calor do interior do corpo para a superfície da pele	C_b	Calor específico ($W s / K . kg$)
v_b	Fluxo do sangue do interior do corpo para a pele (m/s)	T_c	Temperatura do corpo ($^{\circ}C$)
ρ_b	Densidade do sangue (kg/l)	T_{Sk}	Temperatura média da pele ($^{\circ}C$)

$$3. \quad F_{SC} = (1 / I_{Cl}) \times (T_{Sk} - T_{Cl}) \quad \text{onde:}$$

F_{SC}	Fluxo de calor da superfície da pele para a superfície da roupa	T_{Sk}	Temperatura média da pele ($^{\circ}C$)
I_{Cl}	Índice de resistência térmica da roupa ($K m^2 / W$)	T_{Cl}	Temperatura média da superfície da roupa ($^{\circ}C$)

A Tabela 4 abaixo indica resultados da **PET** para diferentes cenários climáticos onde T_a é a temperatura do ar, T_{mrt} é a temperatura radiante média, v é velocidade do ar e VP é pressão de vapor d'água.

Tabela 4 - Valores de **PET**

Cenário	T_a ($^{\circ}C$)	T_{mrt} ($^{\circ}C$)	v (m/s)	VP (hPa)	PET ($^{\circ}C$)
Ambiente típico	21	21	0,1	12	21
Inverno/Sol	-5	40	0,5	2	10
Inverno/Sombra	-5	-5	5,0	2	-13
Verão/Sol	30	60	1,0	21	43
Verão/Sombra	30	30	1,0	21	29

Finalmente apresenta o procedimento para cálculo da **PET**:

- 1º. Cálculo das condições térmicas do corpo humano com o **MEMI - Modelo de Balanço de Energia Individual Munique** para a combinação de parâmetros meteorológicos;
- 2º. Inserção dos valores calculados das temperaturas médias da pele e interna pelo mesmo modelo e acordo com as equações 1, 2 e 3 acima, para temperatura do ar T_a (com $v = 0,1$ m/s; $VP = 12$ hPa e $T_{rmt} = T_a$). A temperatura do ar resultante é equivalente a **PET**.

MATZARAKIS, A., MAYER, H. *Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature.* International Journal of Biometeorology. 43. p. 76-84. 1999.

Objetivo: Apresentar a distribuição espacial (mapa bioclimático) da PET- Temperatura Fisiológica Equivalente da Grécia no mês de julho.

Conclusão: A **PET** pode ser utilizada como instrumento de avaliação biometeorológica humana de componentes térmicos em diferentes climas e locais. Sua unidade ($^{\circ}\text{C}$) torna-a de fácil compreensão como indicador de stress térmico.

Considerando a existência de vários índices derivados do balanço e da relevância fisiológica, os autores depois de citarem a **PET - Temperatura Fisiológica Equivalente** a comparam com o PMV dando-lhe vantagem em função de que ela trabalha com unidade conhecida ($^{\circ}\text{C}$), produzindo resultados mais compreensíveis aos planejadores urbanos ou regionais, inclusive aos não familiarizados com a terminologia biometeorológica humana moderna.

Para enfatizar a significância da **PET** citam a diretriz VDI n.º. 3787, Parte 2 - Métodos para avaliação biometeorológica humana de clima e qualidade de ar para planejamento urbano e regional, Parte I: (Clima), **VDI (1998)**, editada pela Associação Alemã de Engenheiros, VDI - Verein Deutscher Ingenieure, que recomenda a aplicação da **PET** na avaliação de componentes térmicos de diferentes climas. Entretanto, lembram que para cálculo da **PET** deve-se determinar todos os parâmetros meteorológicos importantes no balanço de energia humano (temperatura do ar, pressão do vapor d'água, velocidade do vento e temperatura radiante média) a 1,1 metro de altura, distância média do centro de gravidade das pessoas na Europa ao chão.

Citando que a **PET** tem freqüência de utilização similar ao índice PMV e seu uso na avaliação das condições térmicas de maneira fisiologicamente eficiente, apresentam a Tabela 5 de **Matzarakis e Mayer (1996)**, onde estão relacionados valores de PMV, escala de stress fisiológico humano relatado por **Fanger (1980)** e **Mayer (1993)** com a **PET** correspondente, esta válida somente para determinado valores de taxas metabólicas e índice de isolamento de roupas.

Tabela 5 - Valores de PMV e PET para diferentes categorias de stress fisiológicos

PMV (°C)	PET	Percepção Térmica	Categorias de stress fisiológicos
- 3,5	4	Muito frio	Stress extremo por frio
- 2,5	8	Frio	Forte stress por frio
- 1,5	13	Fresco	Moderado stress por frio
- 0,5	18	Ligeiramente fresco	Ligeiro stress por frio
+ 0,5	23	Confortável	Sem stress térmico
+ 1,5	29	Ligeiramente quente	Ligeiro stress por calor
+ 2,5	35	Morno	Moderado stress por calor
+ 3,5	41	Quente	Forte stress por calor
		Muito quente	Stress extremo por calor

Afirmam também que a **PET** pode quantificar a redução do stress térmico humano no interior da esfera de influência formada pela coroa da copa da arvores que por sua vez também tem influência na redução da demanda por ar condicionado em edifícios residenciais circunvizinhos, especialmente em climas subtropical e tropical. Citam os trabalhos de **Huang et al. (1987)**; **Simpson e McPherson (1998)** e **Sommer (1998)**.

Concluem afirmando que a **PET** se mostra muito importante na avaliação biometeorológica humana dos componentes térmicos em diferentes climas. Ela tem sua base no balanço de energia do corpo humano e é entretanto, termofisiologicamente significativa e reproduzível. Sua unidade (°C) torna-se de fácil compreensão como indicador de stress térmico, podendo ser aplicada para diferentes ambientes térmicos.

Apesar de na Tabela 5 serem indicados valores de **PET** em função da produção interna de calor e da resistência térmica da roupa, formalizam a questão: Os valores indicados de **PMV** ou **PET** são válidos em todo mundo? Entendendo ser possível que os valores de **PMV** e de **PET** possam ser maiores ou menores como nossa percepção do ambiente térmico ou a ocorrência do processo de mudança fisiológica e de adaptação, afirmam que investigações especiais são necessárias para se achar a solução para esse problema.

HUMPHREYS, M.A., NICOL, J.F. *The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments.* Energy and Buildings 34. p. 667-684. 2002.

Objetivo: Uma das utilizações da ISO 7730 é prever a sensação térmica de pessoas em edifícios. Sua aplicação a partir de dados de campo da ASHRAE é realizada, revelando desvios em relação as variáveis contribuintes, entre elas a temperatura externa.

Conclusões: Após discussão das possíveis origens desses desvios, é mostrado ser possível modificar o PMV para reduzi-los. Os autores concluem também que a ISO 7730 na sua presente forma pode estar causando sérios enganos quando se estimam as condições de conforto em edifícios.

Mais recentemente, **Humphreys e Nicol (2002)** ainda pesquisando sobre possíveis origens dos desvios que possam ocorrer no PMV e procurando reduzi-los, afirmam inicialmente que desde a publicação do modelo surgiram muitos estudos sobre conforto térmico que incluíram todas as informações necessárias para se calcular o PMV. Enquanto alguns deram suporte, outros encontraram discrepâncias deixando aparente que nenhum estudo de campo pode adequadamente validar o método PMV para utilização diária em edifícios.

Entretanto, afirmam que se for aplicada a equação correta e os dados que resultarem o PMV foram obtidos de forma precisa discrepâncias ocorrerão em função de diferenças fortuitas entre as pessoas envolvidas. Para eles essas discrepâncias surgem na interpretação de cada pessoa que diferem de tempo em tempo, tanto na identificação de qual temperatura do corpo podem considerar como neutra como na interpretação da escala de categorias da **ASHRAE Standard 55 (1982)**.

Entendem ainda que na prática os dados que são utilizados no cálculo do PMV são sujeitos inevitavelmente a erros fortuitos de mensuração e estimação que assim acumulariam erros em cada cálculo, indicando discrepância entre o valor calculado e o correspondente voto estimado. Afirmam ainda que erros quase fortuitos também podem ocorrer na utilização da própria equação de conforto e que nenhum índice de conforto térmico relativamente simples pode ser considerado completamente preciso pois o PMV é uma aproximada representação de um

sistema físico, fisiológico e psicológico muito complexo, compreendendo o ambiente térmico, o corpo e a mente humana, tudo traduzido na predição do voto de conforto que é uma expressão da mente.

Possível erro de aplicação da equação de PMV também é trazido pelos autores considerando que ela advém da teoria de transferência de energia em estado estável, fato esse que precisamente nunca ocorre na vida diária uma vez que esse estado pode na verdade ser descrito como de equilíbrio térmico dinâmico.

Concluem essa análise afirmando que as discrepâncias surgem potencialmente de três fontes: diferenças individuais, erro de mensuração e erro da equação de PMV.

Depois de discorrerem sobre as discrepâncias ocorridas em cada um dos grupos de variáveis que compõem o PMV, afirmam que o aparente desvio em qualquer variável depende do valor de todas outras variáveis e que assim, a análise deveria indicar que existe sério problema de validade, em vez de indicar onde ocorrem as divergências. Segundo os autores, as divergências não podem ser generalizadas em função de que cada uma delas depende do conjunto de variáveis que caracterizam cada edifício. Assim, elas deveriam ser relatadas para cada edifício em particular, considerando cada diferente tipo de ambiente interno.

Assim sendo, entendem que o PMV pode produzir predição errônea sempre que aplicado a um grande grupo de pessoas, particularmente se uma ou todas as variáveis diferenciam-se grandemente da média dos valores que compõem o banco de dados. Verificaram também que os dados que compuseram o PMV foram agrupados de acordo com sua origem, incluindo em um único arquivo as respostas das pessoas de uma mesma cidade e em uma mesma estação climática, mas referidas a mais de um edifício. Já os dados das características dos edifícios foram contidos em arquivos diferentes, juntando separadamente os com sistema de ar condicionado, os mistos e os ventilados naturalmente.

Certos que apenas demonstrar as discrepâncias existentes no método PMV não seria correto, propõem melhorá-lo a partir de modelo estatístico. Entretanto desaconselham sua utilização como uma troca de índice, reconhecendo que o correto seria revisar todos os fatores psico-físicos e fisiológicos que constroem o PMV em vez fazer-se ajustamentos estatísticos, certo que sua aplicação em dias quentes pode ser muito melhorada.

de DEAR, R.J.; BRAGGER, G. S. *Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55* – Energy and Building 34 p. 549-561. 2002.

Objetivo: Discutir o processo de obtenção do recente modelo adaptativo incorporado a ASHRAE Standard 55.

Conclusões: Os autores sugerem formas de utilização do ACS em projetos, operação ou avaliação de edifícios bem como em pesquisas.

de Dear e Brager (2002) analisando a revisão realizada na ASHRAE Standard 55 que juntamente com a ISO 7730 (1994) recomendam a utilização do modelo PMV de Fanger (1970), concluíram que o termo “aceitabilidade” não está precisamente definido dando oportunidade que os pesquisadores de comum acordo passassem adotar “aceitável” como sinônimo de “satisfação” e que “satisfação” seja associada à sensação térmica ligeiramente quente, neutra e ligeiramente fria confundida com a “sensação térmica”, discussão comum tanto nos laboratórios como nos estudos de campo.

Entendendo que os estados físico e fisiológico desempenham papel importante na expectativa e preferência térmica das pessoas os autores propõem objetivando complementar a ASHRAE Standard 55, o *modelo adaptativo de conforto e preferências térmicas - ACS* - considerando a adaptação psicológica no contexto de que as interações das pessoas com o ambiente ou suas experiências térmicas podem alterar as expectativas e assim as sensações térmicas e satisfações experimentadas. Para isso utilizaram o banco de dados do projeto ASHRAE RP-884 iniciado em 1995 que analisou 160 edifícios comerciais divididos em 4 classes (com central de controle de aquecimento; somente ventilado; com sistema de ar condicionado (HVAC) e com ventilação natural (NV)) e localizados em 4 continentes. Obtiveram-se 21.000 respostas que identificaram e quantificaram as diferenças entre as sensações térmicas relatadas por pessoas em ambientes condicionados artificialmente e ventilados naturalmente.

O *modelo adaptativo de conforto e preferências térmicas (ACS)* proposto utilizou variáveis térmicas do ambiente externo, demonstrando desde suas primeiras versões em 1998 a importância da temperatura externa na predição da temperatura interna de conforto. Nesse sentido foram utilizadas as temperaturas máximas diárias esperadas junto com recentes experiências ao se tomar decisões sobre o que vestir em um dia em particular. Para melhor caracterizar o clima externo foram adotadas as ocorrências dos meses com os quais são elaboradas as normais climatológicas.

Foram também coletados dados da relação da temperatura média externa e temperatura interna de conforto em edifícios condicionados artificialmente e

edifícios ventilados naturalmente que após tratamento estatístico onde foram desconsideradas as pequenas amostras e os ambientes internos com clima muito homogêneo, resultaram regressões onde a “preferência” foi considerada o indicador térmico mais apropriado que a tradicional “sensação térmica neutra”. Também restou demonstrado que nos edifícios com ar condicionado a temperatura neutra preferida esteve ligeiramente mais quente que a de climas mais frescos e ligeiramente mais fria que a em climas mais quentes, com diferenças próximas de 1° C. Não foram encontradas diferenças nos edifícios ventilados naturalmente.

Demonstrou-se também que os ocupantes de edifícios condicionados artificialmente estavam mais adaptados às temperaturas internas e que os de edifícios ventilados naturalmente preferiam as temperaturas mais próximas às do ambiente externo.

Nos edifícios condicionados artificialmente, o PMV indicou notavelmente temperaturas de conforto, demonstrando que o ajuste “comportamento do isolamento da vestimenta” e “velocidade do ar interno” explicava completamente a relação entre a temperatura interna de conforto e variação climática do ambiente externo.

Esses resultados os levaram propor que o *modelo adaptativo de conforto e preferências térmicas - ACS* – poderia servir como alternativa para o modelo PMV na **ASHRAE Standard 55 (1982)** em se tratando de edifício ventilado naturalmente, onde o ambiente climático exterior para cada edifício era caracterizado em termos da temperatura média externa de bulbo seco $T_{a,out}$, em vez do índice ET* - Temperatura Efetiva - originalmente proposto na primeira publicação do ACS. A razão para a troca por uma expressão de temperatura externa que é mais simples é que o índice térmico ET* requer aplicação de software especializado e experiência que a maioria dos profissionais normalmente não possuem.

A equação proposta para temperatura de conforto foi:

$$T_{com} = 0,31 T_{a,out} + 17,8$$

O passo seguinte foi definir a faixa das temperaturas em torno da T_{comf} correspondendo a 90 e 80% de aceitabilidade.

Em janeiro de 1998 o *modelo adaptativo de conforto e preferências térmicas - ACS* - foi incorporado na nova proposta da ASHRAE Standard 55 em 2001 como

“Seção 5.3 – Método opcional para determinação das condições térmicas aceitáveis em espaços condicionados naturalmente” apesar de no comitê SSPC 55 da ASHRAE haverem sido apresentados fortes argumentos para que o ACS pudesse ser aplicado em ambientes mistos ou com ar condicionado e janelas que viabilizassem ventilação natural como também naqueles em que as pessoas tivessem controle sobre alguns aspectos das condições térmicas do local.

YE, G.; YANG, C.; YOUMING, C. e YUGUO, L. *A new approach for measuring predicted mean vote (PMV) and standard effective temperature (SET^{*})*. Building and Environment 38. p. 33-44. 2003

Objetivo: Propor um sensor de conforto com uma nova estrutura para medição de PMV e temperatura efetiva (SET^{*}) a partir da medição das temperaturas equivalente e do ar e da umidade relativa.

Conclusões: As simulações mostraram bons resultados para as medições de PMV enquanto que para SET^{*} mais pesquisas deverão ser realizadas para aperfeiçoar os resultados obtidos.

Afirmando que o índice-base de controle de conforto se tornou objetivo das pesquisas para desenvolvimento de um novo controle para sistemas HVAC, **Ye et al (2003)** discutem o cálculo e mensuração da temperatura equivalente, do PMV e da temperatura efetiva padrão (SET^{*}) objetivando propor, com uma nova estrutura, um novo sensor de conforto térmico.

Entendendo que a definição de um índice-base de conforto térmico para edifícios com ar condicionado tem por propósito avaliar seu desempenho térmico, os autores indicam 2 outras aplicações: a especificação do conforto térmico requerido ainda na fase de projeto visando assegurar certo nível de satisfação térmica e, a gerência e operação de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado - HVAC - que usualmente falham em prover conforto térmico aos ocupantes como também ignoram o potencial de conservação de energia. Entretanto, apesar da quantidade de índices de controle de conforto existentes, tais como temperatura efetiva (t_o), nova temperatura efetiva (ET^{*}), PMV, etc, afirmam que várias pesquisas demonstraram que o índice-base de controle de conforto pode ainda assim indicar desempenho superior ao limite de controle convencional em termos de conforto térmico de ocupantes e utilização de energia.

Um dos assuntos fundamentais na aplicação do índice-base de controle de conforto está no desenvolvimento de um sensor de custo-efetivo de conforto que ainda não existe, afirmam os autores.

Depois de discorrerem sobre o Voto Médio Estimado - PMV, o Modelo de Temperatura Efetiva da ASHRAE - SET*, a temperatura operativa e a temperatura equivalente, incluindo seu cálculo e mensuração, passam ao estabelecimento do novo sensor PMV e SET*.

Certos de que de forma geral os fatores que influenciam o ambiente térmico são de ordens pessoais e físicos onde os primeiros são difíceis de aferir, afirmam, entretanto, que na apropriação do PMV e do SET* a parte mais crítica e crucial é a medição das variáveis físicas do ambiente, pois a temperatura equivalente pode corresponder a uma enorme quantidade de combinações de temperatura do ar, temperatura média radiante e velocidade do ar.

Afirmam também ser possível a determinação exata de cada variável física em um ambiente imaginário a partir da definição de **Madsen et al. (1984)** para temperatura equivalente. Assim sendo, o PMV e o SET* podem ser obtidos onde a pessoa no ambiente imaginário tem os fatores pessoais idênticos ao do ambiente real como também a pressão de vapor d'água e umidade absoluta no ambiente imaginário é igual ao ambiente real. Entendem que "é óbvio que a mesma pessoa no ambiente imaginário teria a mesma perda de calor seco no ambiente real, resultando ser possível que o PMV e o SET* no ambiente imaginário, para uma grande faixa, serem aproximadamente os mesmos do ambiente real". Desta forma apresentam a nova estrutura de apropriação de PMV e SET*.

A nova estrutura consiste em um conjunto de sensores para monitorar a temperatura equivalente, a umidade relativa e a temperatura do ar e um processador de dados. O sensor de temperatura equivalente utiliza os dados verificados na sua temperatura superficial média ou seu valor calorífico de aquecimento, de acordo com métodos de controle. Os sinais de medição de temperatura do ar e umidade relativa são utilizados para calcular a pressão de vapor d'água ou umidade absoluta do ar ambiente. Os fatores humanos como taxa metabólica e isolamento de roupas são inseridos no processador a partir de valores tabelados. Com o processamento dos valores os cálculos do PMV e do SET* podem ser realizados.

Sobre os fatores humanos reconhecem que sua precisão influencia diretamente no PMV e na SET* e sobre a dificuldade de se precisar esses valores (taxa metabólica e índice de isolamento das roupas) afirmam que sendo utilizados

para descrever a avaliação térmica média de um ambiente ocupado por um grande número de ocupantes, torna-se desnecessário mensurá-los com precisão, até por que a maioria das pessoas estará desempenhando atividades similares e utilizando roupas com índices de isolamento também similares. Métodos para estimativa de taxas de metabolismo e índice de isolamento de roupas são encontrados nas publicações **ASHRAE (1989)** e **(1997)**.

Afirmam também que, embora a umidade não desempenhe papel importante na sensação térmica dos ocupantes de ambientes internos, ela está relacionada com o consumo de energia dos sistemas de ar condicionado onde um bom controle de umidade reduz significativamente o consumo de energia. Assim, a adoção dos índices PMV e SET* como índice de controle poderá se traduzir em grande potencial de economia de energia pelo seu maior controle de umidade, sem entretanto sacrificar o conforto térmico dos ocupantes, tornando-se no mínimo desnecessário controle em separado de umidade.

Após a realização do experimento onde os resultados dos índices PMV e SET* nos ambientes real e imaginário para taxas metabólicas de 1 e 1,5 met foram comparados, os autores afirmam que:

- Para taxas metabólicas de 1,0 met e velocidade do ar menor que 0,5 m/s, quase não há diferença entre os PMVs calculados. A máxima diferença ocorreu quando a velocidade do ar foi igual a 0,8 m/s, e foi 0,1.
- Já para velocidade do ar de 0,1 m/s, a diferença entre o SET* do ambiente real e do imaginário é maior que 0,5. Isso acontece principalmente por que a equação utilizada no cálculo do coeficiente de transferência de calor convectivo do corpo humano é constante para velocidade do ar menor que 0,2 m/s. Esta é a razão da mudança abrupta que acontece quando a velocidade do ar aumenta de 0,2 para 0,3 m/s onde nessa intensidade os valores de SET* são iguais. Na situação real, este fenômeno provavelmente não é esperado.
- Com a variação da umidade relativa tanto o PMV e o SET* tiveram a mesma tendência. A diferença entre os PMVs foi de 0,1 enquanto que nas SET*s foi 0,5 para todas as situações.

- Já com o aumento da temperatura operativa os valores calculados do PMV e da SET* no ambiente imaginário mostraram a mesma tendência. Isso comprova que tanto a estrutura proposta dos novos PMVs e SET*s como também o instrumento de medição são razoáveis. Nesta situação os valores de PMV nos ambientes real e imaginário tiveram diferenças inferiores a 0,2 enquanto que para o SET* a diferença máxima foi de 1.
- Com a variação da temperatura radiante média, a discrepância no PMV e SET* é mantida próxima de 0,2 e 0,6 respectivamente.
- Quando a taxa de metabolismo é 1,5 met. os resultados do PMV e do SET* foram suficientemente precisos. Da mesma forma ou com essa taxa de metabolismo e velocidade do ar de 0,4 m/s os valores de PMV nos ambientes real e imaginário continuaram muito próximos, em torno de 0,1 enquanto que para a SET* a diferença foi 1. Entretanto, observou-se uma súbita mudança no valor da SET* quando a velocidade do ar aumenta de 0,4 para 0,5 m/s. Isto se deve aos mesmos fatores relatados para a taxa metabólica de 1 met. Esta súbita troca de valor ocorre quando a velocidade do ar está próxima de 0,4 m/s e em decorrência ao acréscimo da taxa metabólica.
- O PMV medido é um pouco menor que o real quando a temperatura operativa é menor que 25°C, mas resultado inverso pode ser encontrado quando ela é maior que 25°C. Em geral, esta discrepância é bastante pequena. Para a SET* a diferença permaneceu em torno de 1,2 para todos os valores.
- Com a temperatura radiante menor que 25°C o PMV medido é menor que o real e maior quando o valor dela supera 25°C. A diferença é relativamente pequena e menor que 0,2 que acontece somente quando a temperatura radiante é 20°C.

FANGER, P.O.; Toftum, J. *Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates.* Energy and Buildings 34. p. 533-536. 2002.

Objetivo: De forma geral o modelo PMV atende com alto grau de qualidade estudos de campo em edifícios com sistemas de condicionamento de ar, situados em regiões de clima frio, temperado e quente, realizados durante o verão e o inverno. Já em edifícios não condicionados em regiões de clima quente os ocupantes podem sentir calor menos severo que o predito pelo PMV podendo a taxa metabólica que é estimada muito alta contribuir para explicar essa diferença. Uma extensão do modelo PMV que inclui um fator de expectativa é proposto para utilização em edifícios não condicionados e localizados em região de clima quente.

Conclusões: A extensão do modelo PMV atende com boa qualidade estudos de campo em edifícios não condicionados em 3 continentes.

Fanger e Toftum (2002) afirmam inicialmente que o modelo PMV é baseado em extensivos experimentos americanos e europeus envolvendo milhares de respostas obtidas em ambientes bem controlados, demonstrando que a sensação térmica estava intimamente relacionada com a carga térmica imposta ao sistema termo-regulador humano. Da mesma forma afirmam que o modelo PMV prediz a sensação térmica como função da atividade, da roupa utilizada e quatro parâmetros térmicos ambientais clássicos: temperatura e velocidade do ar, temperatura radiante média e umidade.

Segundo os autores, a vantagem do modelo PMV é que ele é uma ferramenta flexível que inclui todas as variáveis que influenciam o conforto térmico quantificando o absoluto e relativo impacto desses seis fatores, podendo ser utilizado em ambiente interno com sistemas de ar condicionado, para diferentes atividades e hábitos de vestir.

Afirmam que enquanto o modelo PMV prediz sensação térmica em edifícios com sistemas de ar condicionado, outro estudo de campo realizado em clima quente e em edifícios sem ar condicionado demonstrou que o modelo PMV prediz sensação térmica mais morna que os ocupantes realmente sentem. Para estes edifícios ventilados naturalmente foi proposto *modelo adaptativo* que utiliza equação de regressão que relaciona a temperatura interna neutra com a temperatura média mensal externa. Assim, a única variável que pode ter alto impacto indireto no balanço térmico humano é a temperatura média mensal externa.

Entendem existir óbvia inconsistência no *modelo adaptativo* não por incluir a vestimenta humana, a atividade e os 4 clássicos parâmetros térmicos que tem reconhecido impacto no balanço térmico humano e por isso na sensação térmica. Embora o *modelo adaptativo* predita a sensação térmica razoavelmente bem para edifícios ventilados naturalmente de várias regiões quentes do mundo, resta a

questão de como ele poderia adaptar novos tipos de edifícios no futuro onde os ocupantes poderão usar diferentes vestimentas e mudar suas atividades.

Os autores entendem que no modelo PMV a sensação térmica experimentada nos edifícios ventilados naturalmente e em clima quente é superestimada em função da expectativa dos ocupantes até porque partem tipicamente de pessoas que vivem em ambientes quentes, internos e externos, talvez até mesmo descendentes de muitas gerações sendo provável que eles julgariam um determinado ambiente quente como menos severo e inaceitável que as pessoas que já utilizaram ar condicionado. Assim, afirmam que essa característica pode ser expressa pelo fator de expectativa - e - a ser multiplicado no PMV para se alcançar o voto médio da sensação térmica de ocupantes dos atuais edifícios ventilados naturalmente e localizados em região de clima quente.

O fator - e - foi estimado para variar de 1 a 0,5 sendo 1 para edifícios com ar condicionado. Para edifícios sem ar condicionado é assumido como dependente da duração do tempo quente no ano e o tempo neste edifício comparado com muitos outros em região que utilizem ar condicionado. Se o tempo é quente durante todo ano ou na maior parte do ano e não há ou há poucos edifícios com ar condicionados, o fator - e - pode ser 0,5, enquanto que 0,7 se existem muitos outros edifícios com ar condicionado. Para edifícios sem ar condicionados em regiões onde o clima é quente somente no verão e não há ou há poucos edifícios com condicionado o fator - e - pode variar de 0,7 a 0,8 e de 0,8 a 0,9 onde há muitos edifícios com ar condicionados. Em regiões onde somente acontecem breves períodos de clima quente durante o verão, o fator - e - pode variar de 0,9 a 1.

Um segundo fator que contribui erroneamente com a diferença entre o PMV calculado e o atual voto de sensação térmica em edifícios ventilados naturalmente é a atividade desenvolvida e estimada a partir das respostas dadas a questionário, identificando o percentual de tempo que a pessoa se mantém de forma sedentária, de pé ou andando. Este mecanismo não se aproxima do fato que pessoas, quando se sentem quente, inconscientemente tendem a diminuir suas atividades. Elas se adaptam ao ambiente quente decrescendo suas taxas metabólicas.

Para melhor examinar esta hipótese foi realizado experimento de campo que geraram 3200 respostas a partir de dados coletados em edifícios ventilados naturalmente durante o período de verão em região de clima quente, em quatro 4 cidades (Bangkok, Brisbane, Atenas e Singapura), onde para cada grupo de observações, as taxas metabólicas registradas foram reduzidas em 6,7% para toda

escala da unidade PMV neutro. A seguir, o PMV foi recalculado com as taxas metabólicas reduzidas usando ferramentas de conforto térmico da ASHRAE. Os valores de PMV resultantes foram então ajustados para a expectativa através da multiplicação com fatores iguais a 0,9 para Brisbane, 0,7 para Atenas e Cingapura e 0,6 para Bangkok. O novo modelo de extensão do PMV assim obtido além de prever bem os votos atuais combina melhor o modelo PMV e o modelo adaptativo, reconhecendo a importância das expectativas consideradas neste último e mantendo os parâmetros térmicos clássicos do modelo de PMV que têm impactos diretos no equilíbrio de calor humano.

Concluem afirmando que o modelo adaptativo proposto concorda muito bem com estudos de campo realizados com rigor técnico em edifícios com sistemas de ar condicionado, situados em regiões de clima frio, temperado e quente e nas estações de verão e inverno. Em edifícios ventilados naturalmente e localizados em regiões de clima quente, os ocupantes podem, no entanto, perceberem o calor como sendo menos severo que o PMV prediz em função da baixa expectativa, mas a taxa metabólica muito alta que é estimada sob condições ambientais quentes também contribui para explicar a diferença.

Finalmente afirmam que o modelo PMV proposto combina bem com estudos de campo disponíveis em edifícios sem ar condicionado, em regiões de clima quente de 3 continentes.

ASHRAE STANDARD 55P - Proposed American National Standard - Thermal Environmental for Human Occupancy - Fourth Public Review (independent Substantive Changes to Third Public Review Draft). September 2003.

Objetivo: Especificar condições para fração específica de ocupantes possa admitir que ambiente encontra-se termicamente aceitável. Esta revisão é fruto de consenso obtido pelo público e pela própria ASHRAE, incorporando relevantes pesquisas e experiências adquiridas desde a revisão de 1992, tais como a adição de método de cálculo de PMV/PPD e o conceito de adaptação.

A proposta de revisão normativa da ASHRAE 55 excluiu as diferentes classes de conforto (A, B e C) relacionadas ao PMV e ao PPD que estavam inseridas no item 5.2 - Method for Determining Acceptable Thermal Conditions in Occupied Spaces. Essa nova revisão normativa vem recomendar específico percentual de aceitabilidade dos ocupantes e os valores das variáveis térmicas ambientais a ele associadas, especificando na *Tabela 5.2.1.2-1* valores de $-0,5 < PMV < +0,5$ e $PPD < 10$ como limites térmicos ambientais aceitáveis para conforto.

EVANS, J.M. *Evaluating comfort with varying temperatures: graphic design tool.* Energy and Buildings 35. p. 87-93. 2003.

Objetivo: Definição de ferramenta gráfica para zona de conforto térmico para ambiente interno e espaços externos em relação às variações diárias da temperatura.

Conclusões: Foi proposto gráfico que permite a representação das variáveis climáticas, a definição das zonas de conforto, seleção de recursos de projetos bioclimáticos e a avaliação das temperaturas internas, medidas no edifício ou obtidas por simulação computacional.

Entendendo a necessidade da definição de conforto térmico em ambientes internos e externos em relação à variação diária da temperatura, **Evans (2003)** apresenta ferramenta gráfica que indica essa variação e mostra com um simples ponto as zonas de conforto para diferentes níveis de atividades, de acordo com as propostas para projeto de diferentes espaços, com ênfase nas mudanças típicas das condições térmicas verificadas durante o dia.

Afirma que várias ferramentas gráficas têm sido desenvolvidas para avaliar as condições requeridas para conforto térmico e seleção de recursos para projetos bioclimáticos permitindo a visualização dessas condições com duas variáveis típicas, a temperatura e a umidade relativa ou absoluta.

Discorrendo sobre as variáveis que definem a avaliação das condições térmicas em climas quente e úmido, cita a temperatura efetiva corrigida de **Bedford (1940)**, o índice de conforto equatorial de **Webb (1960)** e a taxa de suor estimado ou *predicted 4 hours sweat rate* que utiliza a temperatura de bulbo seco ou de globo e a temperatura de bulbo úmido. Já para as condições externas, cita que o índice de vento frio e o índice de sensação térmica utilizam a temperatura e velocidade do ar na definição da temperatura equivalente e que a incorporação de radiação solar como variável de conforto térmico é pouco desenvolvida devido à ênfase dada aos vários índices do conforto interno existentes. Nesse sentido, lembra que segundo **Winslow et al. (1937)** a temperatura radiante média, mais apropriada para condições internas, é mais freqüentemente utilizada em índice de conforto como temperatura operativa e voto estimado médio.

Considera que na prática, a sensação de conforto corresponde às mudanças das condições que são experimentadas durante cada dia e que estas variações ocorrem devido ao *clima* (regiões de clima quente e seco alcançam altas temperaturas enquanto que regiões de clima quente e úmido como também as de clima frio tem baixa variação), aos *componentes arquitetônicos* (edifícios com significativo ganho solar terão maior variação de temperatura que aqueles bem sombreados para a luz do sol direta) e aos *fatores culturais* (ritmo diário de atividades, jornada de trabalho exposta à temperatura externa, condições dos

veículos de transporte e condições do ambiente de trabalho). Ainda sobre os *fatores culturais* lembra que o ajustamento da roupa e/ou do nível de atividade é possível dentro de certos limites embora, particularmente, a completa troca de roupa para diferentes ambientes não é usual, exceto em casos extremos como de trabalhadores em armazenamento refrigerado, nas proximidades de alto forno e os participantes de atividades físicas.

Cita trabalhos realizados por **Humphreys (1975)** e **Nichols e Roaf (1998)** que evidenciaram a preferência dos usuários por maiores variações de temperatura em edifícios com limitado ou nenhum condicionamento artificial, como também em edifícios com temperatura termo-estaticamente controlada. Nesse sentido **Nichols (1995)**, **Auliciems e Szokolay (1997)** já haviam desafiado a ênfase dada às condições fixas ou variações limitadas de temperatura para definição de conforto térmico.

Afirma que maiores balanços de temperatura determinam significativa economia de energia, benefícios ambientais como também redução do nível de exigência de aquecimento a ser alcançado artificialmente. Já a adoção de métodos de controle passivos de temperatura em edifícios também requerem determinado alcance da variação de temperatura, pois o ganho solar pode aumentar a temperatura interna através do armazenamento de calor nos materiais utilizados na composição das superfícies externas.

Antes de discutir os resultados verificados no gráfico proposto, o autor discorre sobre várias pesquisas realizadas e que segundo seu entendimento revelam a um certo consenso que o alcance de conforto para atividade sedentária está entre 3,4 °C e 4°C, exceção feita ao trabalho pioneiro realizado por Olgyay. Em todos os casos, o nível de isolamento das roupas e a atividade física permaneceram constantes.

Os limites de conforto no gráfico apresentado foram assim descritos pelo autor:

- *Temperatura mínima* - Para atividade sedentária em escritório foi proposta temperatura mínima de 18°C, baseado na recomendação e resultados de **Givoni (1967)** e **Fanger (1982)**, entre outros. Esta é a temperatura mínima aceitável sem variação de temperatura. Baixas temperaturas podem ser aceitáveis, mas

somente com aumento dos níveis de isolamento de roupa o que pode deixar de ser apropriadas em muitas situações culturais ou práticas no desenvolvimento de atividades sedentárias.

- *Acréscimo da média da temperatura* - Se a variação da temperatura estiver acontecendo como ocorre em muitos edifícios, uma maior temperatura média será necessária para manter o conforto, porém com a variação senoidal diária onde para cada 1°C de acréscimo no alcance da temperatura a média da temperatura precisa ser acrescida em 0,5°C.
- *Alcance máximo da temperatura* - O alcance muito grande de temperatura é indesejável como também é o ajustamento de roupas, postura e nível de atividade em função de limites práticos. Utilizando o modelo de **Fanger (1982)** e diferentes níveis de roupas durante o dia, foi estabelecida a máxima variação de 8°C para atividade sedentária. No entanto, este alcance diminuirá em até aproximadamente 6°C com temperaturas mais altas onde os níveis de isolamento de roupas são mais baixos. Cita como exemplo que no inverno é possível se tirar à jaqueta ou soltar a gravata enquanto que no verão há menos roupas para se remover.
- *Temperaturas máximas* - A temperatura máxima de conforto sem movimento de ar e com temperatura radiante média igual a do ar é de aproximadamente 28°C, com ligeira variação de acordo com o nível de umidade, as expectativas de conforto dos usuários e a temperatura média de experiência dos usuários. Dever-se-ia entretanto notar que com alcance de temperaturas maiores a umidade relativa diminuisse. Cita exemplo que com a temperatura variando entre 22°C e 28°C e umidade relativa não excedeu 70%.

Para outros níveis de atividades e taxas metabólicas, o alcance de conforto variou de acordo com a atividade física, a utilização de roupas típicas, tradição cultural e expectativa de conforto. Assim afirma:

- *Dormindo* - Quartos requerem menor amplitude de temperatura (aproximadamente de 5°C) com pequenas variações dado que se

excessivas tem-se sono perturbado. Temperaturas mais baixas são confortáveis com roupas de cama “quente”, permitindo temperaturas mais baixas como 10°C. Quartos utilizados para estudo e outras atividades necessitam temperaturas e médias mais altas durante o dia.

- *Circulação interior* - Para espaços como escadas e de circulação interior são também possíveis baixas temperaturas devido a 3 fatores complementares: os altos níveis de atividade; o tempo gasto nestes espaços é limitado e as expectativas dos ocupantes são mais flexíveis.
- *Circulação externa* - Usuários de espaços externos são mais tolerantes a maior flutuação de temperatura até porque os níveis de isolamento de roupa podem variar muito, inclusive chegando em condições mais frias à utilização de sobretudos, lenços e luvas. Já no verão pode-se vestir roupa clara. Por outro lado pode-se também ajustar as atividades para níveis que atendam a temperatura experimentada visando compensar tanto as mais baixas como as mais altas.

Sobre a tolerância de conforto, o autor entende que a maioria dos usuários não espera condições térmicas que os mantenham completamente inseridos na zona de conforto durante todo o dia. Em conseqüência, a divergência pelo alcance de conforto pode por isso ser considerada em muitas circunstâncias. Assim, comenta:

- *Amplitude excessiva de temperatura* - Se a média da temperatura é confortável, mas o alcance da temperatura excede o limite de conforto em 25% então o desconforto será sentido em aproximadamente 20% do tempo, assumindo uma variação senoidal de temperatura, típica do balanço encontrado no interior de edifícios condicionados naturalmente, com alta inércia térmica.
- *Temperaturas altas e baixas* - Similarmente, se o alcance da temperatura é aceitável, mas é aproximadamente 1,5°C mais quente ou mais fria, o desconforto também durará por aproximadamente 20% do tempo.

- *Impacto da umidade* - Ao contrário das cartas de **Olgyay (1963)** e **Givoni (1967)** o gráfico proposto não inclui o efeito da umidade na sua forma explícita. Evidentemente, alta umidade combinada com alta temperatura ambiental reduzirá o limite superior da zona de conforto, como a capacidade evaporativa do ar é reduzida e a transpiração sensível e a umidade da pele é aumentada. Porém, em clima quente e úmido, a média da amplitude da temperatura externa é na ordem de 7°C a 10°C ou quando a temperatura varia de 23°C a 30°C, a umidade relativa mínima é somente 65%.

O autor afirma também que a relação entre a condição climática externa típica e os requerimentos para conforto podem ser rapidamente preenchidos usando o diagrama proposto. Assim, a comparação entre a variação da temperatura externa média diária e a condição interna de conforto desejável indica a estratégia bioclimática que poderá ser utilizada para modificar as condições externas através de seguintes projetos passivos:

- *Movimento de ar* - Se a temperatura média é de uns graus acima da zona de conforto e o balanço de temperatura é menor que 10°C, o movimento do ar pode ser utilizado para promover conforto. O movimento do ar pode reduzir a temperatura aparente em 2°C e o balanço de temperatura interna em edifício com média massa térmica, com boa proteção solar, será menor que o balanço externo.
- *Massa térmica* - Se a média da temperatura interna estiver dentro do alcance de conforto mas a variação externa for maior, a massa térmica interna combinada com medidas para reduzir o ganho de calor solar poderá ser utilizada para propiciar conforto.
- *Ganhos internos* - Se a temperatura média interna é menor que a indicada na zona de conforto, os ganhos internos poderá propiciar um acréscimo de pelo menos 3 a 4°C. Em edificações com bom isolamento térmico e ventilação limitada o acréscimo pode chegar a 10°C.
- *Ventilação seletiva de resfriamento* - Utilizando a combinação de ventilação seletiva e massa térmica a temperatura interna média

pode diminuir aproximadamente 3°C, enquanto o seu alcance máximo pode ser reduzido de 50 a 65%.

- *Ventilação seletiva de aquecimento* - Estratégias opostas podem ser utilizadas durante o dia quando as temperaturas da noite são frias e as diurnas confortavelmente mais quentes. Ou seja, a utilização de massa interna armazenará o calor proveniente do ar quente diurno, melhorando com isso a condição noturna quando a temperatura do ar externo diminui e a ventilação é reduzida. Conjuntamente, a ventilação diurna pode também ajudar reduzir a umidade interna.
- *Sistema de aquecimento solar passivo* - O gráfico também ajuda explicar o funcionamento dos sistemas de aquecimento solar passivo como as paredes do tipo "Trombe".

Segue-se o procedimento adotado pelo autor para aplicação do que ele chamou *triângulo de conforto em projeto bioclimático*:

1. Obtem-se as temperaturas médias mensais máximas e mínimas através de dados meteorológicos padronizados;
2. Definem-se as condições climáticas de cada mês como uma série de pontos no gráfico, de acordo com a temperatura média e temperatura máxima. As temperaturas médias das máximas e das mínimas podem ser utilizadas, mas estas não são exatamente a temperatura média mensal.
3. A relação entre as condições externas e o máximo desejável de conforto pode ser então avaliado, obtendo os requerimentos sazonais característicos para conforto.
4. Medidas bioclimáticas apropriadas para conforto no projeto podem então ser escolhidas para se realizar as modificações favoráveis ao clima interno. A importância de cada medida dependerá do número de meses em que cada medida foi aplicada e da distância entre os pontos e a zona de conforto.

Segundo o autor, uma vez a estratégia bioclimática tenha sido escolhida e incorporada no projeto da edificação, simulações mais detalhadas de temperaturas internas poderão ser feitas onde os resultados também podem ser *plotados* no

gráfico de conforto para se testar a efetividade da medida quando integrada no projeto. Finalmente, afirma que edifícios existentes podem ser avaliados utilizando as temperaturas internas e externas de uma série representativa ou de dias extremos, incluindo períodos de verão e inverno com céu claro ou nublado.

Concluindo o trabalho, o autor afirma que o método proposto foi testado em cursos de graduação e pós-graduação durante muitos anos, onde foi considerando particularmente útil para visualização e explicação de projetos de estratégias passivas envolvendo fluxo periódico de calor, tal como ventilação noturna, inércia térmica, ganho solar direto e indireto, etc.

NICOL, F. *Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics.* Energy and Building 36 p. 628-637. 2004.

Objetivo: Apresentar evidências e sugerir formas de complementação das Normas Internacionais utilizando padrão adaptativo de conforto em função da umidade e do movimento do ar.

Mesmo afirmando que Fanger (1970) em seus experimentos não haver encontrado diferenças consistentes entre voluntários “tropicais” e “não-tropicais”, o autor cita pesquisadores que relatam voto confortável na escala ASHRAE diferente do predito na ISO 7730, particularmente em se tratando de experimentos realizados em edifícios não aquecidos ou resfriados mecanicamente. Cita que a ISO 7730 superestima as respostas para altas temperaturas e subestima para as baixas temperaturas, resultando predição de desconforto quando os respondentes encontravam-se confortáveis.

Afirma que um dos problemas da predição de conforto pela ISO 7730 em clima quente é sua declarada limitação de aplicabilidade do PMV conforme Tabela 6 abaixo:

Tabela 6 - Limitações de aplicabilidade do PMV

Variáveis	Símbolo	Unidade	Limite inferior	Limite superior
Taxa Metabólica	M	W/m ² (met)	46 (0,8)	232 (4)
Isolamento de roupas	I_{CL}	°C/W (clo)	0 (0)	0,310 (2)
Temperatura do ar	t_a	°C	10	30
Temperatura Radiante	t_r	°C	10	40
Velocidade relativa do ar	v_{ar}	m/s	0	1,0
Pressão de vapor d'água	p_a	Pa	0	2.700
Voto Médio Predito	PMV		-2	+2

Afirma que em edifícios localizados em clima tropical com temperatura do ar superior a 30°C e velocidade acima de 1m/s não são incomuns, condição em que o PMV calculado resulta acima de 2 e ainda muitos estudos concluírem que os voluntários sentiam-se confortáveis, especialmente se utilizassem ventiladores.

Discutindo razões de ordem prática e teórica que determinam o estado estacionário de balanço térmico predição errônea de sensação térmica, afirma que a maioria das fórmulas considera simplesmente a função do isolamento das roupas mas em diversos climas elas são utilizadas com forma sutil de se manter adequado microclima próximo da pele. Da mesma forma faz consideração sobre a mudança de postura e a taxa metabólica que somados determinam significativo erro no relacionamento teórico.

Afirma ainda que como todas as variáveis são verificadas em determinado instante, seus resultados podem não refletir plenamente a situação de conforto em todo período da pesquisa, ou seja, sem tolerância com a dinâmica interação do homem com seu em torno, o modelo tem aplicabilidade limitada, especialmente em ambientes de circulação livre em regiões de clima quente. Para o autor ambiente de circulação livre são aqueles em que no decorrer da pesquisa não foram nem aquecidos nem resfriados, tendendo sua temperatura interna média aproximar-se da temperatura externa média e por conta dessa forte ligação, a temperatura de conforto indicada pelas pessoas foi também muito próxima da temperatura externa média. Esse fato já não ocorre em edifícios com sistemas de aquecimento e/ou resfriamento artificial onde sua temperatura interna é independente da externa.

Cita trabalho realizado por **Humphreys (1978)** que divulgou para esses ambientes a equação

$$T_c = 0,534 T_o + 12,9 \text{ onde}$$

T_c = Temperatura de conforto e

T_o = Temperatura externa média mensal

como alternativa de predição de temperatura de conforto.

Discutindo como o movimento e a umidade do ar afeta a temperatura de conforto definida pela equação anterior, em particular em regiões de clima quente e úmido, afirma pretender indicar regras simples que possam ser utilizadas para

modificar a temperatura predita de conforto levando em conta essas duas variáveis. Com respeito ao movimento do ar e a umidade afirma serem de particular importância em regiões de clima quente onde predomina a perda de calor por evaporação. Afirma como método de investigação dos diferentes elementos do ambiente térmico o desenvolvimento de um índice de conforto térmico, freqüentemente apresentado como *temperatura equivalente*, definida a partir de um valor padrão de umidade e velocidade do ar que proporcione a mesma sensação do ambiente em estudo.

Discorrendo sobre a importância do movimento do ar, lembra trabalho teórico que sugere que onde a velocidade do ar é constante e acima de 0,1 m/s pode ser equivalente ao acréscimo na temperatura de conforto em

$$7 - [50 / (4 + 10 v^{0.5})] ^{0}C$$

Sobre a umidade reconhece a dificuldade da verificação de seu efeito na temperatura de conforto apesar do pequeno mas significativo efeito já comprovado nas pesquisas já realizadas. Afirma que o primeiro problema na análise de seu efeito é se saber como ela pode ser mensurada. Lembra que em ambientes quentes onde a perda de calor metabólico por convecção e radiação diminui e a maior parte da perda é realizada por evaporação, o aumento da umidade aumenta o desconforto térmico. A barreira provocada pela alta umidade para a perda evaporativa de calor pode significar que as pessoas requeiram temperaturas mais baixas para se atingir conforto.

Afirma que a equação do PMV falha na tentativa de dar precisão na informação sobre possíveis temperaturas em que as pessoas poderiam se sentir confortáveis, fazendo com que, ao contrário, seu valor indique situação mais quente do que na realidade estariam enfrentando, encorajando desta a utilização de ar condicionado mais do que o necessário. Em adição, por conta da ISO 7730 não informar qual roupa as pessoas utilizariam em particular circunstância, há certa tendência em assumir nível particular de roupa que por sua vez determina temperatura interna constante obtida com o resfriamento mecânico do ambiente.

Conclui seu trabalho afirmando que em clima quente ou em condições em que a umidade relativa é alta, as pessoas podem requerer temperaturas que são 1°C mais baixas para permanecerem confortáveis, mas o principal efeito da alta umidade ou pressão de vapor d'água é reduzir a largura da zona de conforto.

3.2 ESTUDOS RECENTES DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES EXTERNOS

BLAZEJCZYK, K.; TOKURA, H.; BORTKIEWICZ, A.; SZYMCZAK, W. Solar radiation and thermal physiology in man. 1997. <http://www.igipz.pan.pl/hlimat/blaz/reaction.htm>

Objetivo: Verificar a influência da radiação solar na fisiologia térmica humana quando em ambiente externo.

Conclusões: Significantes diferenças foram verificadas na temperatura da pele das pessoas quando utilizaram roupas pretas e brancas. Entretanto, em algumas delas a temperatura foram similares tanto para as brancas como pretas, indicando que provavelmente dois mecanismos têm papel importante na regulação da temperatura durante a exposição solar.

Blazejczyk et all. (1997) apresentam resultados de experimento realizado em julho de 1996 e julho de 1997 na Polônia Central, sobre a influência da radiação solar na fisiologia térmica do homem em ambiente externo. No local durante o verão e em dias ensolarados a intensidade de radiação global ocorre com altitude do Sol (h) aproximadamente igual a 30° .

Segundo os autores a radiação solar é um fator muito importante no equilíbrio de calor no ser humano exposto ao ambiente externo. Fisicamente é um tipo de onda eletromagnética com comprimento de ondas variando de $0,1$ a $0,4\mu\text{m}$, divididas em três faixas: ultravioleta ($<0,4\mu\text{m}$), luz visível ($0,4$ a $0,76\mu\text{m}$) e infravermelho ($>0,76\mu\text{m}$). A radiação ultravioleta - UV - tem propriedades bactericidas, sendo também responsável por queimar da superfície da pele. A radiação da luz visível é a fonte responsável pela impressão visual e mental do homem. Já o raio infravermelho que possibilita respostas fisiológicas dos sistemas termorregulatório e circulatório do homem sob exposição ao Sol, não são freqüentemente realizados.

Os experimentos realizados em julho de 96 e em julho de 97 na Polônia central pelos autores envolveram complexos elementos meteorológicos como medição do fluxo de radiação solar (K), radiação térmica do céu e do solo. Simultaneamente, voluntários com idade entre 17 e 32 anos foram examinados durante o tempo em que ficaram expostos ao Sol, com postura relaxada. Em 1996 participaram 3 homens e 3 mulheres vestindo roupa com isolamento de 1 clo onde durante 120 minutos foram expostos ao sol e foram mensuradas as radiações solares absorvidas (R), temperatura da pele (T_{SK}) e sensação térmica. Já em 1997 participaram 1 homem e 3 mulheres vestindo roupas com isolamento de 0,5 clo onde em todo período de medição 2 deles, um sempre vestindo roupa preta e outro roupa branca, ficaram expostos ao Sol por 130 minutos. Depois de 1 hora eles

trocaram de roupa, de preto para branca e vice-versa. Todos voluntários foram expostos 2 vezes ao Sol sendo que um deles começava com roupa preta e o outro com roupa branca, sempre a mesma hora do dia (manhã ou meio-dia). Também foi permitido determinado período de permanência à sombra.

Foram registradas em média a cada minuto a radiação solar absorvida e as temperaturas da pele, testa, peito, costas, antebraço, palma da mão, coxa, perna e pés. A temperatura média da pele e os valores médios da radiação solar absorvida foram calculados com auxílio da fórmula modificada de Hardy-Dubois. A radiação solar absorvida foi extraída do fluxo de calor seco tomando em conta os valores constantes de carga de trabalho (25 W/m^2) e a taxa individual de metabolismo basal medidas em condição térmica neutra. Os valores obtidos de temperatura média da pele e radiação solar absorvida foram correlacionados com a radiação solar global durante a exposição ao Sol e também no período de permanência na sombra.

No experimento realizado em 1997 durante o laser e enquanto os voluntários estiveram dormindo foram registradas a taxa de batimento cardíaco 24hs. (*HR*) e a pressão do sangue (*BP*) com a utilização do instrumento Medilog (Oxford). Os valores foram obtidos automaticamente a cada 30 minutos durante o laser e a cada 4 horas no período em que estiveram dormindo. Já os valores da *sístole média* ou período médio de contração do coração (*BPS*); da *diástole* ou movimento de dilatação do coração e das artérias quando o sangue penetra em sua cavidade (*BPD*); da pressão média do sangue (*AVG*) como também a taxa de coração 24hs. (*OVER*) para exposição com roupa branca, preta e permanência a sombra como também à noite (*NIGHT*), foram verificadas e analisadas através dos testes estatísticos *t-Student* e *Mann-Whitney*. Já a relação entre os índices fisiológicos (pressão de sangue, taxa de batimento cardíaco 24hs. e temperatura da pele) e os parâmetros referentes à exposição ao Sol (radiação solar global e radiação solar absorvida), foram analisadas utilizando regressão linear múltipla.

Foram observadas respostas imediatas da temperatura da pele, radiação solar absorvida e sensação térmica nos voluntários a partir das flutuações da radiação solar, associadas com o estado do disco solar. Durante o tempo nublado que, com nuvens *cumulus* moderadas é muito típico em zonas climáticas temperadas, a radiação solar global (K_{glob}) e também os parâmetros humanos (temperatura da pele, radiação solar absorvida e sensação térmica) variaram muito freqüente e adequadamente de acordo com as mudanças dos níveis de insolação.

Nos períodos nublados todos os parâmetros medidos foram menores em comparação as condições ensolaradas: K_{glob} de 300 a 500 W/m^2 , R de 50 a 100 W/m^2 e T_{SK} de 2 a 4°C. A sensação térmica também mudou de uma para duas classes. Os resultados apontaram a grande carga a que é submetida ao sistema termorregulatório do corpo humano uma vez que ele tem que se adaptar várias vezes para as diversas mudanças de condições ambientais que ocorrem durante a exposição solar.

No experimento de 1997 também foram observadas diferenças significativas na radiação solar absorvida e na temperatura da pele quando os voluntários utilizaram roupas de cores diferentes. Também ocorreram diferenças significativas na radiação solar absorvida e temperatura da pele na utilização de roupas brancas e pretas. Os valores de R para roupa preta foram de 50 a 100 W/m^2 acima das brancas. Para K_{glob} em torno de 200 W/m^2 a T_{SK} resultou em aproximadamente 35°C, enquanto que para K_{glob} igual a 1000 W/m^2 a T_{SK} resultante para 3 experimentos com roupa preta foi de aproximadamente 36 ou 37°C, acontecendo apenas um valor de 31°C. Com respeito a R houve consenso apenas para K_{glob} igual a 1000 W/m^2 quando seus valores, para ambos voluntários e cores de roupas, estiveram próximos de 200 W/m^2 . Entretanto, analisando a T_{SK} para ao grupo inteiro, os valores encontrados foram significativamente maiores quando os voluntários eram expostos a luz do sol com roupa preta.

Também foram observadas diferenças significativas quando comparados os valores da T_{SK} e da R dos voluntários expostos ao Sol e a sombra, vestindo roupa preta. Sob condição ensolarada, os valores da R e da T_{SK} resultaram a forma típica para ambos grupos de voluntários, no entanto, durante a exposição à radiação difusa na sombra, a T_{SK} e a R responderam de forma bastante semelhante.

Todas medições da *pressão sístole* e *diástole* do sangue durante a exposição ao Sol foram menores na sombra enquanto que a taxa de batimento cardíaco 24hs. apresentou-se alta. Comparando a reação fisiológica individual a luz do Sol, foi verificado que a *pressão sístole* do sangue no coração não depende da cor da roupa utilizada. Já a taxa de batimento cardíaco 24hs. vestindo roupa de cor branca foi mais baixa em três voluntários e alta em apenas um. Por outro lado, a *BPD* ou *diástole* e a *AVG* ou pressão média do sangue em todos voluntários vestindo roupas cor branca foi maior em comparação quando vestiram cor preta, no entanto as diferenças foram estatisticamente insignificantes.

Os resultados da análise estatística entre os parâmetros fisiológicos (*BPS*, *BPD*, *AVG* e *HR*) e a intensidade de radiação solar global (K_{glob}) e a radiação solar absorvida (R) mostrou que vestindo roupa branca os parâmetros foram significativamente correlacionados somente em dois casos: *HR* com K_{glob} e *BPD* com R . No entanto, quando os voluntários vestiam preto a correlação foi estatisticamente significativa para a maioria dos parâmetros observados, exceto para a pressão sistole de sangue.

Na conclusão deste trabalho, os autores afirmam que a maior absorção experimentada pelo homem foi verificada para radiação solar global (K_{glob}) em torno de 700 W/m^2 . A radiação solar global é associada à geometria solar.

Relatam finalmente que a cor da roupa influenciou a temperatura da pele (T_{SK}) e a radiação solar absorvida (R) dos voluntários e que nesse particular, **Kato et al. (1996)** em trabalho semelhante verificou em dois outros voluntários, valores muito próximos de temperatura da pele tanto quando vestiam roupas brancas como pretas. Esses resultados podem ser explicados pelo individual e imediato decréscimo na produção de calor metabólico que leva a redução do rendimento do calor do Sol sobre roupa preta. No entanto, esta hipótese precisa ser verificada em mais estudos com troca controlada de taxa de metabolismo durante a exposição no Sol.

BLAZEJCZYK, K. Solar radiation and heat balance of human organism. 1999
http://www.igipz.pan.pl/hlimat/blaz/sol_rad.htm

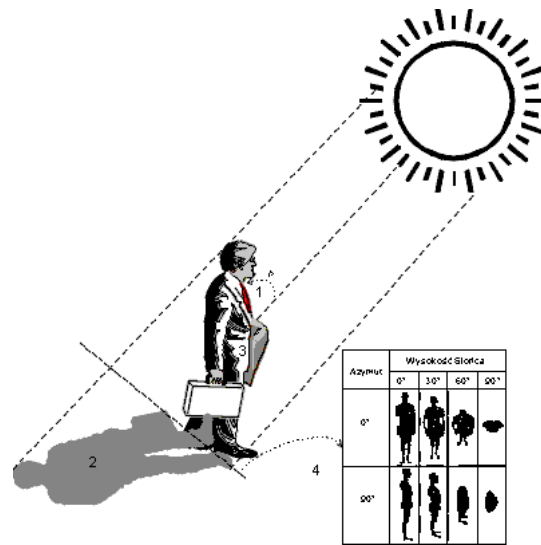
Objetivo: Avaliar o efeito da radiação solar no balanço térmico humano.

Conclusões: As características geográficas ambientais influenciam na absorção da radiação solar pelo homem, tanto nos espaços urbanos e áreas arborizadas como em regiões montanhosas.

Em outro estudo **Blazejczyk (1999)** trata da radiação solar absorvida pelo corpo humano e seu balanço de calor. Depois de definir radiação solar, afirma que o homem no ambiente externo está sob a influência dos fluxos de radiação direta (K_{dir}), difusa (K_{dif}) e do fluxo solar refletido do solo (K_{ref}) e que a quantidade de radiação solar absorvida pelo homem é estudada em manequins, modelos geométricos semelhantes ao homem e como também em pessoas. Segundo o autor, a equação geral de radiação solar absorvida (R) tem a seguinte forma;

$$R = (\beta_{dir} \cdot K_{dir} + \beta_{dif} \cdot K_{dif} + \beta_{ref} \cdot K_{ref}) \cdot \alpha \cdot CI \quad \text{onde:}$$

β além de função das medidas do manequim, é o ângulo de incidência formado pelo raio de radiação e o corpo humano, seja ela direta, difusa ou refletida.



1. ângulo de incidência do Sol
2. sombra do corpo no sol
3. área do corpo que recebe raios solares
4. área projetada do corpo

Em seu experimento a dose absorvida de radiação solar foi derivada de medidas diretas da troca de calor seco (S_m , S) observada na superfície do manequim e nos corpos dos indivíduos, onde seus valores foram obtidos com a utilização de sensores colocados na testa, antebraço, palma da mão, tórax, costas, coxa e perna. Também foram monitoradas as trocas *convectiva* e *convectiva controlada* (C_m , C) e as trocas de calor radioativo (ondas longas - L_m , L_c). As medições das temperaturas das superfícies dos corpos do manequim e indivíduos foram realizadas em 5 séries: julho de 1995, outubro de 1995, julho de 1996, julho de 1997 e agosto de 1997 nos laboratórios de pesquisas do Instituto de Geografia e Organização Especial da Academia de Polítca de Ciências em Borowa Góra e Hala Gasienicowa, na Polônia. Simultaneamente dados da temperatura, umidade e velocidade do ar, radiação solar (global, direta, difusa e refletida) e radiação de ondas longas (do céu e do solo) foram registrados automaticamente a cada 1 minuto, em média. Em 1997 parâmetros do sistema circulatório (taxa de batimento cardíaco 24hs. e as pressões sístole e diástole) já haviam sido examinadas.

Por conta dos dados de insolação verificados foram propostos 3 novos modelos numéricos para obtenção da radiação solar absorvida pelo corpo humano, onde o modelo **SolDir** pode ser utilizado a partir da monitoração de dados de fluxo de radiação solar (K_{dir} , K_{dif} , K_{ref}), resultando:

- ✓ para altitude do Sol (h) $\leq 5^\circ$

$$R = 1,4 [K_{dir} \cdot e^{(-0,51 + 0,368 \cdot h)} + (K_{dif} + K_{ref}) (0,0013 + 0,033 \cdot \ln h)] (1 - 0,01 \cdot a_c) I_{rc}$$

- ✓ para altitude do Sol (h) $> 5^\circ$,

$$R = 1,4 [K_{dir} (18,816/h - 0,235) + (K_{dif} + K_{ref}) (0,0013 + 0,033 \cdot \ln h)] (1 - 0,01 a_c) I_{rc}$$

onde: a_c = albedo da pele e/ou roupa (em %),
 h = altitude do Sol (em graus) e
 I_{rc} = coeficiente de isolamento da roupa.

Já o modelo **SolGlob** deve ser utilizado na existência de radiação solar (K_{glob}) e informações sobre nebulosidade. Assim foi obtido:

- ✓ para $h < 10^\circ$

$$R = 1,4 K_{glob} (0,546 - 0,224 \cdot \ln h) (1 - 0,01 \cdot a_c) I_{rc}$$

- ✓ para $h \geq 10^\circ$ e nebulosidade de 0-20%

$$R = 1,4 K_{glob} (2,764 \cdot h^{-0,694}) (1 - 0,01 \cdot a_c) I_{rc}$$

- ✓ para $h \geq 10^\circ$ e nebulosidade de 21-80%

$$R = 1,4 K_{glob} (0,04 + 5,166 / h) (1 - 0,01 \cdot a_c) I_{rc}$$

- ✓ para $h \geq 10^\circ$ e nebulosidade $> 80\%$

$$R = 1,4 K_{glob} (0,0013 + 0,033 \ln h) (1 - 0,01 \cdot a_c) I_{rc}$$

- ✓ para $h \geq 10^\circ$, nebulosidade de 21-80% e ausência de radiação solar direta

$$R = 1,4 K_{glob} e^{(-1,86 - 12,702 / h)} (1 - 0,01 \cdot a_c) I_{rc}$$

Finalmente, o modelo **SolAlt** deve ser utilizado quando só se são obtidos dados de nebulosidade, resultando:

- ✓ para $h < 4^\circ$

$$R = 1,4 (1,388 + 0,215 h)^2 (1 - 0,01 \cdot a_c) I_{rc}$$

- ✓ para $h \geq 4^\circ$ e nebulosidade de 0-20%

$$R = 1,4 (-100,428 + 73,981 \cdot \ln h) (1 - 0,01 \cdot a_c) I_{rc}$$

- ✓ para $h \geq 4^\circ$ e nebulosidade de 21-50%

$$R = 1,4 \cdot e^{(5,383 - 16,072 / h)} (1 - 0,01 \cdot a_c) I_{rc}$$

- ✓ para $h \geq 4^\circ$ e nebulosidade de 51-80%

$$R = 1,4 \cdot e^{(5,012 - 11,805 / h)} (1 - 0,01 \cdot a_c) I_{rc}$$

- ✓ para $h \geq 4^\circ$, nebulosidade de 0-20% e ausência de radiação solar ou ainda para $h \geq 4^\circ$ e nebulosidade > 80%

$$R = 1,4 \cdot 0,679 h^{1,039} (1 - 0,01 \cdot a_c) I_{rc}$$

A precisão dos modelos foi verificada através da comparação das radiações solares absorvidas nos 6 indivíduos saudáveis com idade entre 16 e 46 anos que participaram do experimento, verificando-se que apenas nos modelos **SolDir** e **SolGlob** foram encontradas diferenças médias que variaram entre -10,0W/m² a +4,6W/m² ou de -22,1% a +12,5%, aproximadamente.

Os pesquisadores concluíram que tanto a influência da radiação solar sobre o sistema circulatório como o mecanismo de regulação da temperatura da superfície do corpo é especialmente complicado durante a variação da nebulosidade como também porque a temperatura da pele reagiu à súbita chegada ou na falta de raios solares no intervalo de 5 a 8 minutos. Também relataram que as mudanças da insolação também influenciaram as sensações térmicas dos voluntários.

Foi verificado também que as roupas desempenham papel muito importante na regulação da temperatura sob condições ensolaradas. A cor branca além de aquecer menos que a preta, protege o homem contra flutuações de altas temperaturas durante mudanças súbitas de comportamento da radiação direta.

Os primeiros resultados das reações do sistema circulatório em exposição ao Sol mostraram que a exposição solar influenciava a taxa de batimento cardíaco (*HR*) como também as pressões de sangue *sístole* (*BPS*) e *diástole* (*BPD*) dos indivíduos. As taxas *BPD* e *HR* quando os indivíduos vestiam roupas brancas foram maiores em comparação quando vestiam roupas pretas. Comparando as taxas *BPS*, *BPD*, *HR* e a intensidade de radiação global (K_{glob}) e absorvida (R) foi verificado que nos indivíduos vestindo roupa branca, os parâmetros de exposição estavam significativamente correlacionados entre *HR* e K_{glob} , e *BPD* e R . Quando os indivíduos vestiram roupa preta a correlação foi significante para quase todos os parâmetros observados com exceção da pressão de sangue *sístole* (*BPS*).

Também foi verificado que a radiação solar absorvida é influenciada por fatores geográficos regionais, como por exemplo à latitude e a circulação de massa de ar. Valores relativamente pequenos de R são observados nas regiões subtropicais ao meio dia, causados pelo alto ângulo solar que reduz a área corporal efetiva de incidência dos raios solares.

Da mesma forma a radiação solar absorvida é influenciada pelas características locais e geográficas do local, tais como utilização da terra, albedo do solo e existências de montanhas que particularmente têm importância relevante, como no caso das grandes áreas horizontais e sombreadas dos vales. Afirmam ainda influenciar na radiação solar absorvida possível nebulosidade ao meio dia provocada pela condensação do vapor d'água em torno dos cumes mais altos das montanhas e a radiação refletida das encostas. Também as características típicas urbanas como áreas arborizadas podem influenciar a variação da radiação solar e conseqüentemente da radiação solar absorvida.

Os autores concluem o trabalho afirmando que as experiências realizadas encontraram respostas para algumas questões, porém ainda existem inúmeros problemas a se estudar, por conta do conhecimento de detalhes regionais, diferenças locais e como os vários tipos de circulação atmosférica influenciam a radiação solar absorvida, sem falar que existe ainda aberta para discussão o impacto da radiação solar no sistema termorregulatório e circulatório do homem como também no seu balanço de água e mineral.

GIVONI, B.; NOGUCHI, M., SAARONI, H., POCHTER, O., YAACOV, Y., SELLER, N., BECKER, S.
Outdoor comfort research issues. Energy and Buildings 35 p. 77-86. 2003.

Objetivo: Discutir práticas metodológicas e levantar problemas em pesquisas de conforto térmico em ambientes externos.

Com respeito aos ambientes externos, **Givoni et al. (2003)** afirmam inicialmente que a quantidade e intensidade das atividades desempenhadas pelas pessoas são também influenciadas pela sensação de conforto térmico experimentada. Cita como exemplo que em dia de verão a combinação da velocidade e temperatura do ar, das temperaturas das superfícies próximas e da umidade relativa do ar pode ou não produzir conforto térmico e encorajam ou não as pessoas permanecerem em ambientes ao ar livre, diferentemente dos ambientes sombreados que podem ser de grande utilização das pessoas.

Entretanto, os níveis da temperatura e velocidade do ar bem como de radiação solar que atuam em um local externo em particular podem ser modificados a partir da inclusão de áreas sombreadas, materiais e cores específicas nas superfícies circunvizinhas ou de áreas com vegetação abertas ou fechadas ao vento, entre outras características de projeto. Para isso o projetista necessita conhecer dados específicos não somente em relação ao clima como também das sensações térmicas humanas.

Afirmam que as pesquisas que trataram do conforto térmico humano em sua grande maioria foram desenvolvidas em ambientes internos, onde as pessoas não permanecem sob variação climática semelhante aos locais externos mesmos que sombreados ou que proporcionam a incidência de radiação solar direta, como também naqueles com excessiva velocidade do ar, fatores que influenciam fortemente as sensações térmicas experimentadas.

Da mesma forma entendem que pesquisas em ambiente externo envolvem diferentes condições e itens não encontrados nos estudos de conforto interno, onde as pessoas não estão expostas ao sol, sombra e mudanças na velocidade do vento. Ainda mais, pessoas em ambiente externo vestem roupas que são adequadas ao clima nas diferentes estações, determinando que padrões fixos de roupas não devem ser aplicados em pesquisas em ambiente externo.

Comparando estudos de conforto térmico que foram realizados em ambiente externo, em diferentes estações climáticas e/ou regiões com climas diversos, entendem ser possível avaliar os efeitos das variações climáticas nas quais as pessoas se sentem confortáveis ao ar livre. Nesses locais a velocidade do ar é

muito maior que as velocidades comuns em ambiente interno, onde no verão, o vento mesmo acima de certos valores pode ser especificamente agradável, enquanto no inverno pode ser ao contrário, aborrecedor. Entendem ainda que esses fatores têm que ser incluídos na avaliação das respostas subjetivas globais do ambiente externo.

Indicam pesquisa realizada no Japão que monitorou a sensação térmica e conforto global de pessoas em ambientes externos objetivando-se determinar o efeito quantitativo do conforto das pessoas vestidas de acordo com a prática comum nas diferentes estações, em praças com características que possam modificar a condição de exposição ao sol e o vento durante diferentes estações climáticas.

Nessa pesquisa foi utilizado questionário sobre sensações térmicas e foram monitorados os dados climáticos externos. As sensações térmicas indicaram calor e frio segundo escala onde 1 significava muito frio e 7 muito quente. Já a escala de nível de conforto global variava de 1 (muito desconfortável) a 7 (muito confortável) e 4 situação neutra ou onde a pessoa não sente nenhum desconforto térmico. Por conta das pequenas distâncias entre os grupos pesquisados, foram consideradas iguais à temperatura do ar e a umidade relativa e, variáveis, a radiação solar e a velocidade do ar.

Comprovou-se nessa pesquisa a relação entre a sensação térmica e o nível de conforto.

Já em Israel outra pesquisa foi desenvolvida verificando o impacto de áreas verdes no micro-clima, envolvendo mensuração da temperatura do ar, das superfícies, umidade relativa, velocidade do ar e radiação solar.

Particularmente em Tel Aviv foi desenvolvida pesquisa objetivando estudar a influência climática de um pequeno lago durante diferentes situações de clima quente como também no conforto térmico humano. Para isso foram monitoradas as variáveis climáticas e houve a aplicação de questionário examinando respostas sensoriais subjetivas de voluntários.

No monitoramento das variáveis climáticas incluiu-se a temperatura e velocidade do ar, a radiação solar e a temperatura da superfície do solo circunvizinho. Já o questionário era concernente a sensações térmicas e conforto global onde a sensação térmica era definida em uma escala de 0 (muito frio) a 9

(insuportável calor) e 4 representava sensação neutra ou onde as pessoas não sentem nenhum desconforto térmico. A escala de transpiração variava de 0 (muito seco) a 7 (toda roupa está molhada por suor).

As diferenças registradas entre a temperatura do ar e a radiação solar em 5 locais não sombreados foram relativamente pequenas (até 2,6°C entre locais com velocidade de vento crescente e aqueles com velocidade de vento decrescente). A análise desses dados possibilitou o desenvolvimento de uma fórmula experimental expressando a média do voto de conforto em função da radiação solar, velocidade do vento e temperatura do ar.

Os autores indicam ainda outro estudo também desenvolvido em Israel em 6 áreas no entorno de Kibbutz onde também foram monitoradas a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade e direção do vento. Uma ou 2 pessoas estando próximas do local responderam questionário sobre suas sensações térmicas e sua transpiração a cada hora, sendo que permaneciam 50 min. na sombra e 10 min no sol. Os resultados mostraram a sensação térmica como função da temperatura do ar como também que a temperatura do ar é função da radiação solar. Também houve correlação entre a sensação térmica e radiação solar.

AHMED, K.S. *Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments.* Energy and Buildings 35. p. 103-110. 2003.

Objetivo: Elaborar trabalho de campo em conforto ao ar livre com objetivo de identificar as condições de conforto no contexto das qualidades ambientais dinâmicas do ar livre urbano.

Conclusões: O estudo do conforto térmico nos espaços externos pode além de promover edifícios mais confortáveis, determinar que a demanda por energia para temperaturas internas confortáveis seja razoavelmente atenuada. Os efeitos de alguns fatores ambientais podem ser razoavelmente influenciados pelos elementos do projeto urbano como a geometria do edifício, sua orientação, materiais utilizados na sua construção, massas de vegetais e corpos d'água. Assim, conforto externo é ser obtido pelos projetistas e conseqüentemente determinar redução na demanda de energia na criação de ambientes internos confortáveis.

Também pesquisando conforto térmico ao ar livre **Ahmed (2003)** apresenta resultados de investigações realizadas em Dhaka, Bangladesh, cidade localizada em região de clima quente e úmido.

De forma oposta aos estudos realizados em câmaras climatizadas, o método proposto possibilitou experimento altamente causal para várias condições urbanas, alargando conseqüentemente a extensão dos resultados.

A investigação foi conduzida nos meses de julho a agosto, onde as temperaturas alcançam máximas de 31,8°C e mínimas de 24,6°C e a média de umidade relativa varia de 70% a 80%. Esta situação é de particular interesse por representar uma indesejável combinação de alta umidade e alta temperatura ambiental, característica das regiões de clima quente.

Uma das mais importantes variáveis estudadas foi a característica espacial do ambiente, tomada com base em caracteres típicos observados e expressados como seções simples de fácil tabulação e avaliação visual. As 6 categorias espaciais observadas foram as que representavam a seção típica da rua onde as pessoas são expostas às condições externas; os espaços transitórios para as condições externas; os espaços no nível do solo com a cobertura e os lados abertos; os espaços externos abertos; os espaços que não são cercados por qualquer edifício ou estão a uma distância considerável de qualquer edifício, e espaços que são quase similares ao primeiro tipo exceto pela proximidade de lagos, canais ou margens de rios.

Os autores concluíram que:

- Sob condições de ausência de vento, umidade relativa média de 70% e pessoas vestindo roupa de verão, com atividade sedentária ou estacionária, o comportamento da temperatura média do ar para situação de conforto externo variou entre 28,5°C e 32°C e a temperatura radiante entre 28,7°C e 32,6°C.
- A atual influência do fluxo de ar estendendo o limite superior da temperatura de conforto não é considerável, mas o fluxo de ar em espaços urbanos, em qualquer medida (constante ou intermitente) aumenta o número de pessoas termicamente satisfeitas com a temperatura de 34°C.
- Fluxo de ar aumenta significativamente o limite da umidade relativa aceitável. Uma notável adaptação para umidade relativa variando entre 70% e 80% sem fluxo de ar foi observada. Com fluxo de ar acima de 2m/s o nível de umidade relativa de conforto foi estendido para 90%.
- O critério de necessidade de conforto externo não é exato e poderia incluir altos níveis de atividade tal como caminhar e outra atividade estacionária. Como em ambientes externos as pessoas

estão usualmente desempenhando algum tipo de atividade física, espaços ou artefatos que possibilitem menor gasto de energia como assentos preferencialmente sob sombras, abrigos de sol e locais para se tomar água devem ser oferecidos.

- Em consideração ao projeto de espaços externos de longa estadia, o alcance da temperatura de conforto pode ser admitido como variando $\pm 3K$ entorno da média, enquanto que para curta estadia $\pm 1K$.
- A redução na variação da temperatura radiante ambiental adiciona conforto para grande número de pessoas em trânsito. As condições térmicas em diferentes espaços mudam durante o dia da mesma forma que as preferências por tipologia espaciais. Assim, durante as primeiras horas do dia, quando a temperatura está abaixo da média diária, espaços abertos ou parcialmente sombreados são aconselháveis. Ao meio dia, quando a temperatura aumenta progressivamente para alcançar a temperatura máxima horas depois, os ambientes completamente sombreados são requeridos até mesmo com prejuízo de minimização do movimento do ar. Depois da 17:00hs. quando a radiação solar é mínima, campos abertos ou espaços não cercados são desejáveis por viabilizarem com o fluxo de ar a perda de calor por convecção.
- Espaços urbanos sombreados em regiões de clima quente e sob qualquer condição são prioridade, particularmente entre as 12:00 e 15:00hs. sendo preferencial das 10:30 e 15:30hs.

Finalmente os autores propõem um gráfico indicando zona de conforto relacionando temperatura e umidade relativa externa a partir de estudo de campo desenvolvido no verão, a partir de pessoas desenvolvendo atividades de 1Met e vestindo roupas com 0,35 - 0,5Clo e sob condições sombreadas. A zona de conforto indicou a influência do fluxo de ar no acréscimo da tolerância para altas umidades relativas.

5. ALGUMAS VARIÁVEIS FÍSICAS E HUMANAS EM DISCUSSÃO

TOFTUM, J., JORGENSEN, A., FANGER, P.O. *Upper limits for indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin.* Energy and Buildings. 28 p.1-13. 1998

Objetivo: objetivam com o presente trabalho mostrar que a umidade na pele pode acarretar desconforto em uma pessoa mesmo que ela se sinta termicamente neutra e apresentar modelo para prever a porcentagem de insatisfação causada na umidade da pele

Os autores desenvolveram o presente trabalho a partir da consideração de que a umidade pode causar desconforto com seu recobrimento excessivo na pele, pela insuficiência de ventilação nas mucosas do trato respiratório e em função de que o nível máximo de umidade para a zona de conforto prescrito nos padrões existentes foi determinado levando-se em conta critérios e considerações geralmente não relacionados ao conforto humano, como por exemplo se evitar a deterioração de materiais, a condensação e o crescimento de fungos e bactérias.

Afirmam que a influência da umidade na sensação térmica foi objeto de estudos nos últimos 70 anos, tanto em ambientes com condições pré-definidas como em ambientes dinâmicos, sendo então de conhecimento que apesar da umidade do ar em clima quente e durante a execução de atividades físicas intensas só afetar os níveis de perda de calor por evaporação e conseqüentemente a sensação térmica experimentada, em atividades sedentárias apenas modesto desconforto foi notado.

Por outro lado, entendem que fenômenos não térmicos podem possivelmente ser a causa do desconforto experimentado quando a pele está úmida ou muito seca, pois já foi provado que alta umidade na superfície do corpo aumenta as forças de fricção entre a pele e o tecido, aumentando conseqüentemente a sensação de desconforto.

Assim sendo, objetivam com o presente trabalho mostrar que a umidade na pele pode acarretar desconforto em uma pessoa mesmo que ela se sinta termicamente neutra e apresentar modelo para prever a porcentagem de insatisfação causada na umidade da pele.

O experimento foi realizado em 3 fases, todas com o nível de conforto medido em uma escala de cinco pontos, com os voluntários realizando atividades

sedentárias e vestindo roupas cuja permeabilidade proporcionava a umidade desejada à pele. Na primeira fase foi utilizado como vestimenta apenas tecido de algodão. Na segunda o impacto do desconforto foi testado comparando os valores para tecidos de poliéster e algodão sobre a mesma umidade da pele. Já na terceira variou-se a combinação dos tecidos juntamente com as condições ambientais, mantendo-se constante somente a umidade da pele. Para facilitar a secreção líquida pela pele, foram estabelecidas situações de neutralidade térmica e de estado ligeiramente quente.

Salienta-se que o único fator alterado no experimento foi o tipo de tecido, mantendo-se constante desta forma a cor, corte e outras características. As vestimentas foram completadas com meias compostas de algodão (90%) e nylon (10%). Os sapatos eram altamente permeáveis.

Com respeito aos níveis de umidade da pele e percentual de pele molhada foram verificados respectivamente valores de 32% a 75% e de 9% a 48%. Em um único experimento cuja camada interna da roupa utilizada era de poliéster, foi alcançado 69% de taxa de umidade da pele.

Os experimentos foram realizados com 40 voluntários, 20 homens e 20 mulheres, em câmara onde foram controladas a temperatura e a umidade do ar e mantida a velocidade do ar menor em menos que 0,1m/s e a temperatura radiante praticamente idêntica a do ar. A temperatura e a umidade do ar foram anotadas manualmente a cada 10 minutos, sendo que o sensor de temperatura permitia monitoramento de 20 a 80°C com precisão de ± 0.2 °C e o de umidade de 0 a 100% sendo que de 0 a 90% com precisão de $\pm 2.0\%$ e de 90 a 100%, $\pm 3.0\%$.

Além de considerar que o gradiente do ponto de orvalho entre a pele e a roupa é pequeno, os autores adotaram por consequência que as medidas da pressão de vapor perto da pele é uma boa representação da pressão de vapor das camadas externas da pele.

Foram verificados os pesos dos voluntários com precisão de 1kg. como também foram verificadas as taxas de ventilação pulmonar e nível de consumo de oxigênio.

A partir da consideração de que em climas quentes a evaporação do suor tem papel importante na manutenção do calor corpóreo e a umidade da pele além de indicar a tensão imposta na termoregulação provou ser um bom indicador de

desconforto, os autores afirmam que para sensações térmicas próximas do neutro, a umidade da pele não pode ser considerada um bom indicador de desconforto.

Definido umidade da pele como a quantidade em percentagem de água presente na camada mais superficial da pele e é considerada máxima quando esta totalmente coberta homoganeamente por uma lamina muito fina de água e a umidade relativa da pele (Rh_{sk}) como a relação da pressão de vapor da superfície da pele (p_{sk}) com a pressão saturada de vapor d'água (p_{ssk}), apresentam as fórmulas abaixo:

$$Rh_{sk} = p_{sk}/p_{ssk}$$

$$\omega = [Rh_{sk} - (p_a/p_{ssk})] / [1 - (p_a/p_{ssk})]$$

para umidade relativa em função de pele molhada (ω) e p_a como pressão de vapor d'água nas redondezas.

A umidade da pele também pode ser calculada levando-se em conta a área total pesada e as umidades relativas nos locais onde os sensores estavam. Assim:

$$Rh_{sk,body} = 0,173Rh_{sk, underwarm} + 0,216(Rh_{sk, chest} + Rh_{sk, back}) + \\ + 0,235Rh_{sk, thigh} + 0,160Rh_{sk, calf}$$

Sendo que o coeficiente de permeabilidade (i_m) compara a resistência total à transferência de calor no seco (R_t) com a resistência total à evaporação (R_{et}), apresenta a expressão abaixo:

$$i_m = (R_t / R_{et}) / LR$$

onde LR é a relação de Lewis, que relaciona a difusão da umidade e a condução de calor pelo ar e

$$R_{et} = [A_{du}(p_{sk} - p_a)] / (m_{sk} \times h_{fg})$$

como função da resistência das roupas ao vapor pela perda evaporativa de massa (m_{sk}) e do aquecimento latente de vaporização (h_{fg}).

Já a perda evaporativa de massa é calculada subtraindo a perda respiratória de peso (m_{res}) e a perda metabólica de peso (m_{met}) da perda total de peso pelas equações

$$m_{res} = (2.04 - 0.36p_a)V \quad \text{ou}$$
$$m_{met} = V_{O_2}(44RQ - 32) / 22,4$$

onde V é a ventilação pulmonar e V_{O_2} o consumo de oxigênio. O quociente de respiração foi determinada, sendo que h_{fg} é o do 0,85 para atividade sedentária.

As equações apresentadas foram obtidas estatisticamente.

Foram obtidos os seguintes resultados:

- ✓ A média da temperatura da pele para os voluntários variou de 33,5 a 33,9°C, com desvio padrão de aproximadamente 0,5°C. No geral, a variação de Rh_{sk} foi pequena. Entretanto, alguns picos nas costas e em outras regiões foram observados. A Rh_{sk} nos homens mostrou ser mais elevada que a das mulheres.
- ✓ Com o poliéster na camada interna da roupa, a Rh_{sk} foi de 72%±0,09 enquanto que com o algodão foi de 69%. A temperatura da pele era de 33,7°C. Com isolamento extra a Rh_{sk} foi de 55%±0,09 e a temperatura foi de 33,6°C. Para todos os experimentos, a relação entre a previsão da Rh_{sk} e a Rh_{sk} obtida foi de 0,98.
- ✓ Os votos sobre as sensações de umidade da pele, percepção da umidade da pele através da roupa só mudaram significativamente na última hora de experimento. A correlação entre umidade relativa medida e a prevista foi de 0,81 e a percepção através da roupa de 0,96. A maioria dos voluntários sentiu a umidade no alto das costas e em baixo dos braços, seguido pelas mãos e face. A regressão logística revelou que a umidade sobre o peito é a que mais influencia no status geral de aceitação à umidade.
- ✓ Sobre os mesmos valores de Rh_{sk} , nenhuma diferença na sensação de conforto pode ser observada nas fases que os

voluntários usavam uma camada interna de roupa feita com poliéster. Notou-se que a pele tende a ficar mais úmida com poliéster do que com algodão.

Conclusivamente os autores sugerem preliminarmente que o aumento da fricção entre a roupa e o corpo pode causar desconforto, isto porque a mudança da estrutura mecânica da pele pode alterar as sensações dos nervos e deste modo, o conforto térmico.

Para substanciar a hipótese de estudo que a umidade é um determinante no desconforto, visto que quanto maior a umidade maior o desconforto, a aceitabilidade à umidade na pele foi testada em dois ambientes diferentes, mas com umidade da pele e sensações térmicas iguais. Como nenhuma diferença considerável foi notada, entendem restar provado que sob condições próximas à neutralidade, a umidade pouco interfere no conforto, e que a umidade esta diretamente relacionada ao clima, uma vez que este é o maior responsável por sua variação.

Esperavam também que as roupas afetassem diretamente a sensação térmica e a sensação de umidade quando a umidade estava em altos níveis. Entretanto, observou-se que elas pouco interferem nestes dados e a percepção de umidade nas roupas depende do tipo de tecido utilizado em sua confecção.

As mulheres apresentaram níveis de percepção inferiores aos dos homens sob as mesmas condições. Ainda neste experimento, homens e mulheres atingiram os mesmos resultados em relação à umidade quando se encontrava perto ou na zona de conforto térmico. A maneira de se calcular a permeabilidade à umidade foi determinando o peso dos participantes diversas vezes. Para se manter a pele seca, uma roupa altamente permeável deve ser utilizada. Para roupas totalmente impermeáveis, o índice de permeabilidade é zero e para trajes normais de ficar em casa este índice vale de 0,40 a 0,45. A permeabilidade depende ainda da área coberta pela roupa, dos movimentos corpóreos e do movimento do ar.

Considerando que os voluntários aceitaram a umidade 7 vezes durante as duas horas de experimento, utilizou-se regressão linear para os vários votos obtidos e construiu-se um modelo para umidades variando de 0,39 a 0,70. Na zona de conforto de temperatura, o modelo é válido para todas combinações climáticas (velocidade do ar, temperatura do ar e temperatura radiante), como também é válido para o desenvolvimento de atividades sedentárias com algodão de roupa.

Compararam-se os níveis máximos de umidade para o inverno e para o verão previsto pela ASHRAE com os deste modelo, com um limite de 10 e 20% de insatisfação. Para permeabilidade de vapor de 0,45 notou-se que sob altas umidades do ar, a umidade da pele não é o grande responsável pelo desconforto em atividades sedentárias, mas em altos níveis de atividade a umidade da pele aumentara gerando desconforto.

Apesar dos trabalhos já realizados, lembram que para o modelo deste trabalho o valor de Rh_{sk} é 0,54 e corresponde a 20% de insatisfação. O valor do índice D_{isc} para a $Rh_{sk} = 0,54$ vale em torno de 1,26 e classifica-se como “levemente confortável”. Conseqüentemente, o limite entre o conforto e o desconforto para a umidade da pele se encaixa bem nos resultados encontrados por outros estudos apesar de considerar o conforto apenas em relação à umidade da pele e ocultar um pouco o ambiente externo. Em climas quentes, a umidade da pele pode ser uma boa variável para determinação do desconforto, visto que na zona de conforto de temperatura, a umidade relativa da pele aparenta ser o melhor indicador de desconforto causado pela pele úmida.

Finalmente afirmam que a umidade da pele mostrou ser o melhor indicador de desconforto para pessoas vestidas e sob atividades leves (sedentárias) e que na zona de conforto o modelo permite elevar a umidade a 100% prevendo nada mais que um numero moderado de pessoas insatisfeitas graças à umidade em suas peles. Entretanto, deve-se considerar que não é somente a umidade da pele que determina o nível máximo de umidade relativa em um lugar interno, pois este limite deve levar em conta o máximo valor aceitável para que a qualidade do ar seja saudável e o ambiente livre de microrganismos e fungos.

FRANK, S.; RAI, S.; BULCAO, C.; GOLDSTEIN, D. *Relative contribution of core and cutaneous temperatures to thermal comfort and autonomic responses in humans.* J. Appl. Physiol. 86. 1588-1593. 1999.

Objetivo: O trabalho tem objetivo de determinar a taxa de contribuição T_c/T_{sk} para o conforto térmico em seres humanos e sua correlação para respostas autônomas do sistema termoregulatório do corpo.

Os autores iniciam seu trabalho afirmando que tanto a temperatura do corpo quanto à temperatura cutânea apresentam entradas diferentes para o sistema termoregulatório, sendo entretanto evidente que mudanças na temperatura do corpo pesam muito mais no que se trata como respostas automáticas do corpo. Por outro lado, embora a melhor contribuição da temperatura corpórea esteja

relacionada às respostas autônomas do sistema termoregulatório, há que se considerar a importância relativa da temperatura corpórea (T_c) e da cutânea (T_{sk}), esta ainda esta por ser descoberta. Entendem que graças da alta eficiência e baixo custo com que os seres humanos se mantêm em conforto, criou-se à hipótese de que a superfície da pele desempenha o papel mais importante na manutenção do estado de conforto.

O trabalho tem objetivo de determinar a taxa de contribuição T_c/T_{sk} para o conforto térmico em seres humanos e sua correlação para respostas autônomas do sistema termoregulatório do corpo.

A pesquisa desenvolveu-se com 8 voluntários não obesos, com idade entre 22 e 28 anos, sem qualquer tipo de doenças ou utilização de medicamentos. Os referidos foram analisados durante 3 dias, sendo que a cada dia, uma diferente T_{sk} era escolhida ao acaso e alcançada por meio de um aparelho. Existiam 3 fases para cada estudo, onde os dados de base eram colhidos nos primeiros 15 minutos de experimento, quando ainda não haviam ocorrido alterações na T_{sk} e na T_c . Após essa primeira fase sucedia-se uma nova, de uma hora, onde a T_{sk} foi aumentada. Em uma última providenciava-se o resfriamento da temperatura corpórea durante 45 minutos sendo a mesma monitorada através de sensores posicionados na membrana timpânica. Os votos de sensação térmica eram indicados em uma escala de 0 a 10, onde o zero indicava “mais frio”, 5 “neutro” e 10 “mais quente”. A taxa de produção de calor foi medida a partir dos níveis de oxigênio no sangue do voluntário. A umidade relativa do ar durante o experimento foi mantida em 60% e a temperatura do ar variando entre $23,2^\circ\text{C} \pm 0,8^\circ\text{C}$. Todos os dados sofreram tratamento estatístico através de regressão linear múltipla.

Como esperado, o conforto térmico diminuiu nos dias em que ocorreu o resfriamento da pele, enquanto que nos dias em que a pele foi aquecida aumentou.

Na fase de resfriamento do corpo, o estudo estendeu-se por 45 minutos e os voluntários sofreram aplicação de fluido intravenoso gelado, fazendo que a T_c diminuísse a uma magnitude similar em todos os estágios do experimento. Já a T_{sk} não sofreu alterações significantes durante o resfriamento do corpo.

A taxa de produção de calor permaneceu inalterada para o aquecimento da pele, porém para a neutralização e resfriamento respectivamente dobrou e triplicou.

Assim sendo afirmam que os resultados comprovaram que a temperatura da pele desempenha papel mais importante no índice de conforto do que no controle

do sistema termoregulatório. Em outras palavras, como a temperatura da pele responde mais rapidamente que a temperatura do corpo, com a variação na temperatura do ar provou-se que a T_{sk} serve como um mecanismo de início da termoregulação. Por outro lado, apesar da existência de trabalho científico afirmar que a percepção de frio é iniciada pela T_{sk} , concluem relatado que tal fato não ocorreu nesta pesquisa.

Höppe, P. *Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort.* Energy and Buildings. 34. 661-665. 2002.

Objetivo: Análise de diferentes aspectos que envolvem o conforto térmico

O autor inicia seu trabalho afirmando que em países industrializados em geral, as pessoas gastam 90% do seu tempo em ambientes internos, permanecendo um nível tão baixo de tempo em locais abertos pela ocorrência em especial de condições térmicas severas, ou de muito calor ou muito frio, dificultando o alcance de conforto. Isto significa no seu entendimento que para condições internas os índices baseados em modelos prontos são até apropriados, não acontecendo o mesmo na predição de conforto em áreas externas, que são raramente alcançados.

De acordo com sua definição em que o estado de conforto térmico é alcançado quando o fluxo de calor através do corpo humano fica em balanço com a temperatura da pele e da taxa de aquecimento situando numa zona de conforto, que depende somente do metabolismo corporal, o autor observou a partir da investigação de cenários externos, o valor de 27°C para a neutralidade térmica, concluindo que a sensação térmica para ambientes externos é notadamente diferente dos ambientes internos, determinando por conseguinte que os padrões para ambientes internos não são válidos para ambientes externos e vice-versa.

Discorrendo sobre os aspectos psicológicos na avaliação térmica de ambientes internos e externos, afirma que os mesmos são de extrema importância pois se no inverno as pessoas tendem a procurar locais mais quentes, no verão ocorre o oposto. Desta forma afirma que as atuações das sensações psicológicas sobre as condições térmicas são certamente um aspecto de grande importância nas avaliações subjetivas de satisfação. Entretanto, entende que não é somente a psicologia que distingue o conforto térmico em ambientes internos e externos,

existindo alguns fatores termo-psicológicos quantitativos, principalmente graças ao fato do tempo de exposição nos ambientes internos e externos serem diferentes.

Por conta da diferença de tempo gasto nos ambientes internos e externos, que nesses últimos são de apenas alguns minutos, afirma que na vida real o estado pleno de conforto térmico nunca é alcançado visto que os modelos apresentados não fornecem avaliações realistas sobre as condições térmicas. Cita como exemplo às pequenas mudanças no estado térmico do corpo em baixas temperaturas que acontecem graças à redução do fluxo sanguíneo periférico em consequência da vasoconstrição, ocorrendo o contrário em temperaturas quentes, onde a circulação entre o corpo e a pele aumenta graças a vasodilatação. Afirma entretanto que, se comparado, a adaptação do corpo humano para se aquecer é mais rápida que para se esfriar, ocorrendo porém muitas situações que mesmo sob condição quente o estado de equilíbrio não é tão relevante.

Exemplifica essa ocorrência com simulação realizada com um pedestre que durante 180s e a 4km/h saiu de uma região sombreada de uma calçada e para uma área ensolarada com 200m de comprimento. As variáveis climáticas eram: temperatura do ar de 30°C, pressão do vapor de 15hPa, velocidade do ar de 0,5m/s e temperatura radiante de 60°C e 25°C para a sombra. Se comparadas aos modelos padrões de temperatura, a temperatura da pele do pedestre deveria ser de 36,1°C e a corpórea 37,5°C entretanto, esta era de 37°C e aquela 35,8°C, possibilitando entendimento de que o voluntário sob essas temperaturas apesar de provavelmente estar sentindo sensação de calor não estaria com certeza com problemas de saúde. Assim entende que “este é um cenário típico para projetistas e bioclimatologistas analisarem, de modo a conhecer as necessidades de se alterar ruas, canyons e etc”.

Conclui afirmando que o maior problema é a inexistência de índices internacionais padronizados para conforto térmico em ambientes externos, onde nem mesmo as definições de famosos autores como **Fanger** são usuais. Cita ainda que conforto térmico não deve remeter necessariamente a melhor saúde pois existem trabalhos que comprovaram que a exposição repetida à condições extremas de clima aumenta a forma e a saúde do corpo.

IWASE, S.; COUI J.; WALLIN, B.; GUNNAR., KAMIYA.; A., MANO, T. *Effects of increased ambient temperature on skin sympathetic nerve activity and core temperature in humans.* Neuroscience Letters. 327. 37-40. 2002.

Objetivo: Monitorar em câmara climática os efeitos da temperatura ambiente na atividade do nervo simpático da pele, no fluxo de sangue na pele e na temperatura do tímpano a partir de experimento com 11 voluntários saudáveis.

Os autores iniciam o trabalho discorrendo que as veias do corpo humano se dilatam ou contraem em resposta a as variações de temperatura ambiente ou do cérebro, assim contribuindo para a manutenção da temperatura corpórea constante através da redução ou aumento a perda de calor pela pele. Citam exemplo que quando cessa o stress por frio pelo aumento da temperatura ambiente, o subsequente ajuste térmico é obtido pela redução do fluxo para fora da atividade vasoconstrictora cutânea que se mantida, conduz a vasodilatação e aumento da perda de calor. Assim sendo, a redução da atividade vasoconstrictora é resultado de um processo de controle simpático ativado na pele pelos receptores de frio/quente e/ou nervos frio/quente localizados no hipotálamo anterior.

Afirmam que apesar dos avanços alcançados a relação entre a redução do tráfico vasoconstrictor e a temperatura do corpo decorrente ao aumento da temperatura ambiente (T_a) ainda não foi quantitativamente estudada. Assim, pretenderam monitorar em câmara climática, os efeitos da (T_a) na atividade do nervo simpático da pele (SSNA), no fluxo de sangue na pele e na temperatura do tímpano (T_{ty}), objetivando relaciona-las a partir de dados colhidos com 11 voluntários saudáveis, não fumantes e sem sintoma de doenças cardíacas, e com $22,4 \pm 0,7$ anos; $168,6 \pm 1,4$ cm e $63,1 \pm 0,9$ kg. Durante o experimento todos trajavam camisetas e bermudas.

No desenvolvimento do experimento verificou-se que instantaneamente após o aumento da temperatura ambiente, a temperatura da pele começou a aumentar enquanto a atividade do nervo simpático da pele diminuiu. A temperatura do tímpano (T_{ty}) diminuiu até aproximadamente 60 minutos após o início do aquecimento da sala, porem após este período começou a aumentar. Um aumento significativo da temperatura da pele e da circulação sangüínea foi notado logo após o aumento da temperatura ambiente. A circulação sangüínea aumentou significativamente 7 minutos depois que a temperatura do ar aumentou e a (T_{ty}) demonstrou sinais significativos de aumento após 8 minutos, seguido de uma redução que se tornou evidente aos 14 minutos.

Os dados mostraram que o aumento da temperatura do ar que presumidamente reduz a percepção dos receptores de frio da pele, acarreta na supressão da atividade do nervo simpático da pele e da temperatura timpânica.

Os autores afirmam que pode parecer uma surpresa que o aumento da temperatura do ar acarretou na diminuição da temperatura do tímpano, mas a explicação pode ser dada pelo fato de que a redução no tráfico dos vasoconstrictores induziram o aumento da circulação levando a perda de calor pela pele. A queda na (T_{ty}) continuou pelos aproximadamente 30 minutos de aquecimento da sala.

Para eles os resultados evidenciaram ainda que em uma situação onde a temperatura ambiente aumenta e a temperatura sanguínea diminui, o sinal enviado pelos receptores cutâneos irão se sobressair perante os sinais enviados pelos receptores do hipotálamo. Constataram ainda que possivelmente o corpo leva de 7 a 10 minutos para induzir a mudança da temperatura corpórea através da ativação ou supressão da vasoconstricção do nervo simpático da pele, sendo porém que a temperatura da pele responde imediatamente ao aumento da temperatura do ar, da mesma forma que a temperatura corpórea, porem com um pequeno atraso.

Concluem afirmando que a supressão da atividade do nervo simpático da pele em consequência do aumento da temperatura ambiente, tem como consequência à redução da temperatura ambiente.

ARENS, E., BAUMAN, F., HUIZENGA. C. *ASHRAE Investigation of Thermal Comfort at High Humidities*. Building Science at UC Berkeley. Artigo acessado em 05 de junho de 2004 <http://www.arch.ced.berkeley.edu/resources/bldgsci/research/thermalcomf.htm>

Objetivo: Analisar o comportamento de voluntários frente variações de umidade relativa e temperaturas em publicação da ASHRAE.

Em sua primeira publicação a **ASHRAE 55** determinou um limite padrão de 60% de umidade relativa para a zona de conforto humana sendo este limite inferior ao determinado na versão anterior para a maioria das zonas de conforto. A razão para esta mudança não foi claramente explicada e por isso sustentou-se que ela foi baseada em considerações a respeito de fatores de saúde. O comitê de padronização ASHRAE 55, subseqüentemente desenvolveu modificações estabilizando um limite superior de umidade baseado somente em considerações sobre conforto, afirmando ainda que a nova pesquisa era necessária para melhor

estabelecer as relações, nível e a forma das altas umidades admitidas, pelo que se passou pesquisar.

Assim sendo, um total de 395 pessoas foram submetidas a condições controladas num ambiente que simula escritório de trabalho, sendo elas expostas a uma larga variação de temperatura (de 20 a 26°C) e umidade (de 60 a 90%). Durante o teste, os participantes realizaram uma serie de exercícios simulando 3 níveis diferentes de atividade que representassem tarefas de escritório.

Nenhuma diferença psicológica e fisiológica significativa foi encontrada em resposta a exposição de pessoas enquanto realizando atividades sedentárias e sob umidades relativas de 90% e variação de temperaturas entre 20 e 26°C. Atividades não sedentárias produziram diferenças na aceitabilidade geral de sensação térmica, umidade da pele e receptividade à umidade do ar. Estas diferenças são resultado do início do aquecimento e do aumento da temperatura da pele que ocorrem quando o metabolismo é aumentado. Não houveram variações no mecanismo de desconforto quando os níveis de umidade foram aumentados. Numa escala subjetiva, relacionada à aceitabilidade da umidade do ar, as pessoas afirmaram que 90% da umidade relativa era inaceitável para todas as temperaturas e em nenhuma das outras escalas foram encontrados resultados estáticos significantes. Generalizando, pode-se afirmar porém sem suporte estatístico, que:

1. 90% de umidade relativa foi considerado o pior índice,
2. 80% não foi aparentemente pior que 60 e 70%, e
3. 70% foi freqüentemente mais aceitável que 60%.

Finalmente, nas atividades de nível intermediarias, foi concluído que nenhum limite razoável de umidade iria reduzir o nível de desconforto em 25%.

HAVENITH, G.; HOLMÉR, I.; PARSONS, K. *Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production.* Energy and Buildings 34 p. 581-591. 2002.

Objetivo: Discussão da representação e medição de parâmetros de vestimentas e taxa metabólica no contexto do índice PMV.

Havenith et al. (2002) se propõem discutir especificamente os parâmetros pessoais *roupa* pela troca de calor por convecção, radiação e evaporação e a *produção interna de calor* pelo corpo, desde a publicação da **ISO 9920 (1993)** e a **ASHRAE/55 (1992)**.

Após considerarem como as maiores revelações os estudos dos efeitos dos movimentos do corpo e do ar no isolamento da roupa e o estudo da importância da resistência da roupa ao vapor para a avaliação do conforto, propõem as seguintes questões para serem avaliadas:

- ✓ A resistência da roupa necessita ser corrigida para os efeitos de movimento e ar e neste caso, como isso afeta a estimativa de conforto normalizada?
- ✓ A resistência da roupa ao vapor é relevante para a estimativa de conforto e neste caso é necessário ser corrigida para ar em movimento?
- ✓ Quais são os métodos existentes para o estabelecimento da produção de calor metabólico e quanto precisos e úteis são eles no projeto e avaliação de conforto térmico?

Citam inicialmente que a roupa intermedia a troca de calor convectivo, evaporativo e radioativo entre o ambiente exterior e o corpo humano, sendo sua avaliação tradicionalmente realizada de acordo com a **ISO 9920 (1993)** onde são apresentadas tabelas com os *Índices de isolamento de roupa (I_{CL})* que foram obtidos através de experimentos realizados em manequins térmicos, a partir da *condição padrão* em que o manequim encontrava-se em situação estática, sem a presença de movimento de ar, exceção feita quando o experimento foi realizado em sala de teste onde essa variação manteve-se entre 0,15 e 0,2 m/s.

Indicando que vários trabalhos afirmam que a transferência de calor através da roupa é afetada significativamente pelo movimento do corpo e do ar fazendo com que com a utilização das tabelas da **ISO 9920 (1993)** os valores de perda de calor sejam maiores que os sugeridos, afirmam que no trabalho que desenvolveram, a troca de calor radioativo não foi examinada separadamente pois consideraram ser improvável que ela se altere muito com a velocidade do ar e o movimento do corpo.

Afirmam que a partir da equação que determina na troca de calor por radiação e convecção ($R + C$) em situação estática, função da relação entre a diferença das temperaturas da pele (t_{sk}) e operativa (t_o) e o índice de isolamento da roupa com a superfície da camada de ar (I_T), como também da equação proposta pela ASHRAE Standard 55 que também determina a troca de calor por radiação e convecção ($R + C$) em função do fator de eficiência da roupa (F_{cl}), dos coeficientes

de transferência de calor convectivo (h_c), radioativo (h_r) e das temperaturas da pele (t_{sk}) e operativa (t_o) evidencia-se que, teoricamente, prováveis mudanças em quaisquer dos parâmetros acima citados podem ocorrer mudança na troca de calor por radiação e convecção ($R + C$).

No entanto, citam que o ar e o corpo em movimento atuam de forma independente no coeficiente de transferência de calor convectivo (h_c) e no índice de isolamento da roupa (I_{cl}) mas ambos minimizam o coeficiente de transferência de calor radioativo (h_r). Por isso, no entendimento dos autores torna-se importante verificar que tipo de correção e qual relacionamento existente entre o movimento do corpo e a velocidade do ar.

Citam dois trabalhos, **Hevenity et al. (1999)** e **Holmér et al. (1999)** onde foi apresentado novo algoritmo para correção dos valores de isolamento levando em consideração os movimentos do ar e do corpo andando. Desses experimentos resultaram equações de correções derivadas do Índice Total de Isolamento (I_T) e do Índice de Isolamento da camada de ar (I_a) chamadas de ($I_{T,corr}$) e ($I_{a,corr}$). O gráfico de comparação dos coeficientes de transferência de calor derivados da **ISO 7730 (1994)**, **ISO 7933 (1989)** e da equação ($I_{a,corr}$) demonstraram que a equação de correção para (I_a) e da **ISO 7933 (1989)** são diferentes do obtido pela **ISO 7730**, sendo necessário se investigar como essa discrepância afeta a expectativa de conforto quando a correção é aplicada nessa norma.

Depois de verificarem as conseqüências da aplicação da correção tanto na ISO 7730 como na AHRAE Standard 55 os autores concluíram que a não consideração dos efeitos do movimento do corpo e do ar leva-se, realmente, a estimativas errôneas de conforto. A proposta do novo algoritmo de correção para as propriedades dinâmicas das roupas mostrou que o índice de isolamento das roupas (I_{cl}) pode ser reduzido em 25% para velocidade do ar até 0,5m/s e nível de atividade moderada. Pela introdução desse algoritmo na ISO 7730, o valor do PMV foi reduzido em 0,2 unidades. Por outro lado, se o isolamento da superfície da camada de ar (I_a) é corrigido com algoritmo similar, o valor do PMV muda insignificamente. Assim concluíram que:

- ✓ Os efeitos do movimento do corpo e da velocidade do ar no isolamento da roupa são tão grandes que precisam ser considerados nos modelos de expectativa de conforto para serem fisicamente precisos.

- ✓ Os efeitos do movimento do corpo e da velocidade do ar no isolamento da roupa na troca de calor seco são pequenos para atividade sedentária, trabalho leve e baixa velocidade do ar.
- ✓ O algoritmo para troca de calor convectivo nos modelos de expectativa de conforto precisam ser considerados.
- ✓ Os efeitos dinâmicos são negligenciados pela maioria dos modelos.

Os autores afirmam também que a *resistência da roupa ao vapor* também afeta a perda de calor do corpo humano. Entretanto, no cálculo do índice PMV ela não é incluída pois se admite que para condição de conforto toda umidade necessária para o equilíbrio térmico do corpo humano evapora e que as principais condições para conforto são a taxa de produção de suor e a temperatura média da pele, ambas relacionadas com a taxa metabólica. Já nos índices Temperatura Efetiva (ET*) e Temperatura Efetiva Padrão (SET) a resistência da roupa ao vapor é incluída.

Por outro lado sugerem que o conforto é afetado pela perda de calor pela pele, temperatura da pele e unidade da pele (w), definida como a taxa entre a atual evaporação de suor e a máxima evaporação possível no clima presente no entorno da roupa.

Devido à ocorrência de dispersão através da pele, o valor mínimo da umidade da pele é de 0,06. Entretanto, a umidade da pele tem sido reconhecida como fator limitante do conforto térmico. Várias pesquisas têm sugerido que o conforto térmico é perdido quando a unidade da pele (w) aumenta acima de 0,3 ou acima de um determinado valor dependente da taxa metabólica (M), ou:

$$w < 0,0012 M + 0,15$$

A resistência da roupa ao vapor (R_e , $m^2 \cdot Pa/W$) é utilizada para calcular o calor evaporativo perdido pela pele (E_{SK}) baseada na diferença entre a pressão de vapor da pele (p_{sk} , Pa) e o ambiente (p_a , Pa).

O problema encontrado pelos pesquisadores quando incorporam a resistência da roupa ao vapor em modelos padrão é que elas estão disponíveis em limitado banco de dados. Daí concluíram que quando a resistência ao vapor, da roupa de trabalho permeável normal era altamente relacionada com seu índice de

isolamento térmico (I_{cl} , clo), sua relação é expressa como fator de eficiência permeável da roupa (F_{pcl}) e era então utilizado para determinar a resistência da roupa ao vapor (R_e).

No entanto, como os padrões de conforto não são sempre aplicados para roupas “leve, permeável e normal”, casos especiais (salas de limpeza, industria nuclear, etc) podem requerer a incorporação no cálculo da então atual resistência da roupa ao vapor em vez de sua dedução como resistência de calor.

Quanto maior a atividade ou o movimento do ar, mais o isolamento da roupa ou a resistência ao vapor são reduzidos e então mais calor é perdido através da roupa. Esta redução pode ser bastante dramática, acima de 50% para o isolamento total das roupas e acima de 80% para a resistência da roupa ao vapor para altas velocidades de movimento do corpo e do ar.

A Tabela 7 abaixo indica os valores resultantes para resistência da roupa ao vapor (R_e) e unidade da pele (w) para 4 valores de taxa metabólica e um de índice de isolamento térmico (I_{cl}) segundo da ISO 7730 e a proposta deste trabalho.

Tabela 7.- Cálculo dos valores de R_e e umidade da pele (w)

M (W/m ²)	ISO 7730				Proposta deste trabalho		
	I_{cl} (clo)	E_{SK} (W/m ²)	$R_e(F_{pcl})$, m ² .Pa / W)	W (F_{pcl})	I_{cl} (clo) corrigido	$R_e(F_{pcl})$, m ² .Pa / W)	W (F_{pcl}) corrigido
58	0,6	6,3	28,1	0,09	0,60	28,1	0,09
116	0,6	32,9	20,2	0,24	0,51	18,4	0,22
174	0,6	58,4	18,3	0,34	0,48	15,8	0,29
232	0,6	85,0	17,3	0,44	0,46	14,4	0,37

Segundo os autores, para a ISO 7730 na ausência da resistência da roupa ao vapor, a mudança desse índice não implica em alteração nos demais resultados, até por que ela não o considera. Já os padrões ET* e SET trazem alterações. Nestes, o fator de eficiência permeável da roupa (F_{pcl}) é utilizado para derivar a resistência da roupa ao vapor da resistência ao calor e como mencionam, mudanças no movimento do ar ou do corpo também afetam a resistência da roupa ao vapor.

Neste trabalho, restou demonstrado que quando os valores corrigidos do índice de isolamento térmico (I_{cl}) são utilizados no fator de eficiência permeável da roupa (F_{pcl}), a redução na resistência da roupa ao vapor (R_e) com o aumento da taxa metabólica ou do movimento do ar é grande.

Assim, com respeito à resistência da roupa ao vapor os autores concluíram que:

- Em casos em que a roupa utilizada tem alta resistência ao vapor, o conforto pode ser limitado devido à alta taxa de umidade da pele. Assim, a resistência da roupa ao vapor não deve ser negligenciada no cálculo de conforto.
- O efeito no conforto térmico da resistência da roupa ao vapor devido ao movimento do corpo e do ar tem substancial impacto no limite de conforto em termos de umidade da pele e não deve ser negligenciado.
- A utilização do fator de eficiência permeável da roupa (F_{pcl}) é um aperfeiçoamento em relação à aplicação dos valores constantes de resistência ao vapor. Este aperfeiçoamento é ainda melhor quando, em relação aos efeitos do movimento do corpo e do ar, o isolamento de roupa é corrigido primeiramente. Porém, os efeitos totais não estão cobertos pelo (F_{pcl}) e correções mais extensivas são necessárias.

PARSONS, K. C. *The effects of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort.* Energy and Buildings. 34. 593-599. 2002

Objetivo: Estudar as características individuais (gênero humano, estado de aclimação e inaptidão física) e adaptação das pessoas em seus ambientes.

Considerando que apesar do desenvolvimento através de extensivas pesquisas de diversos métodos de projeto que resultem em ambientes internos confortáveis e que o desconforto térmico continua sendo o grande problema a ser enfrentado por engenheiros e arquitetos, o autor apresenta uma série de resultados de experiências laboratoriais, desenvolvidas durante 9 anos, na Universidade de Loughborough, na Inglaterra. Desta forma a pesquisa foi direcionada para 4 áreas, em particular: 3 voltadas às características pessoais como gênero humano, estado

de aclimatação e inaptidão física, e a última buscando identificar *como podem as pessoas, vestidas, se adaptarem ao ambiente*.

Citando estudo realizado em que se procurou comparar o PMV (Predict Mean Vote) com o AMV (Actual Mean Vote), afirma que além do observado que os voluntários estavam um pouco mais aquecidos que o PMV previsto - igual a 0,4 - foi, como aspecto mais importante, o aperfeiçoamento da fórmula do PMV através da inserção do coeficiente de transferência de calor convectivo do corpo humano.

Relata outro estudo procurando demonstrar a complexidade da predição de conforto térmico em função das mudanças ambientais onde os voluntários permaneceram sentados durante 80 minutos em ambiente cuja temperatura variava linearmente entre 10°C e 30°C e, realizando tarefas simples em computador, anotavam como estavam se sentindo termicamente. Ao final verificou-se que a temperatura do ar para o conforto (sensação neutra) foi maior para uma temperatura em redução (23°C) do que para a temperatura em elevação (20,7°C), dando o entendimento de que para ambiente com variação térmica os modelos de conforto térmico necessitam de mudanças. Lembra que inicialmente esse estudo foi dirigido para veículos e posteriormente adaptado para ambientes edificados.

Cita a seguir o fato de que em algumas experiências fica claro que homens e mulheres possuem sensações térmicas diferentes atribuídas aos diferentes tipos de vestimentas. Sobre esse aspecto discorre sobre pesquisa realizada durante períodos de 3 horas, em câmara climatizada, com 16 homens e 16 mulheres com idade entre 18 e 25 anos, onde 3 sensações foram investigadas, preditas como de "levemente aquecido(a)" a "aquecido(a)" para $PMV = 1,4$ e $t_a = 29^\circ C$; "neutro(a)" a "levemente com frio" para $PMV = -0,4$ e $t_a = 23^\circ C$ e "frio(a)" para $PMV = -2,0$ e $t_a = 18,5^\circ C$. Os voluntários permaneceram sentados em uma cadeira assistindo televisão, vestidos de forma igual - roupas de baixo, calças, camisas de mangas longas, meias e sapatos), resultando índice 0,8 clo. A temperatura radiante era igual à temperatura do ar, não existia ar em movimento e a umidade do ar foi de 50% para as seções com temperatura entre 18,5 e 29°C e 70% para a seção com 23°C. A cada 15 minutos os voluntários indicavam suas sensações na escala ASHRAE/ISO.

Após analisar os resultados frente as variáveis inicialmente escolhidas - 3 características pessoais (gênero humano, estado de aclimatação e inaptidão física) e a última buscando identificar *como podem as pessoas, vestidas, se adaptarem ao ambiente* - o autor concluiu que:

- ✓ Para idênticas atividades e vestimentas existe uma pequena diferença nas respostas sobre conforto para condição térmica de neutralidade ou ligeiramente quente, mas mulheres tendem sentir mais frio que os homens em condição fria;
- ✓ Mudanças em respostas sob condição térmica neutra ou de ligeiramente quente, devido à aclimatação ao calor são pequenas e improváveis para serem significativas;
- ✓ As pessoas podem ajustar suas roupas para manter conforto térmico, porém com limite. O limite superior (sem roupa) deve ser determinado pela modéstia e aceitabilidade e o inferior (com roupa) determinado pelo modo de se vestir e também pela aceitabilidade, e
- ✓ Há pequeno grupo de diferença entre conforto térmico requerido pelas pessoas com e sem aptidão física. No entanto, há grande necessidade de se considerar os requerimentos individuais para pessoas com inaptidão física.

5. CONCLUSÃO

Conforme particularmente observamos na elaboração deste trabalho, diversos fatores intervêm na *sensação térmica* experimentada pelo ser humano. Com isso, as dificuldades enfrentadas pelos pesquisadores envolvidos no desenvolvimento de metodologias capazes de caracterizar o ambiente construído como termicamente confortável são imensas. Se por um lado às propriedades físicas dos materiais são até que facilmente identificadas, o mesmo não se pode afirmar de algumas variáveis climáticas e principalmente das características individuais do ser humano relacionadas à percepção de calor e/ou frio, pois por conta dessa percepção podemos tomar uma série de providências de cunho particular ou não buscando minimizar o *desconforto* sentido. Se forem de interferência particular como, por exemplo, diminuir ou aumentar a quantidade de roupa ou a qualidade de seu isolamento não existirão maiores problemas, mas se forem atitudes que possam interferir no ambiente em geral, podemos com isso interferir na sensação experimentada pelos seus ocupantes e daí, conseqüentemente, provocarmos *desconforto térmico*.

Entretanto, a complexidade da questão envolve fatores ainda mais íntimos e independentes do ambiente interno ocupado, contrariando o que nos poderia levar a crer o parágrafo anterior. A simples necessidade de energia para desenvolvimento de nossas atividades e manutenção de nossa temperatura corporal em aproximadamente 37°C, pode fazer com que produzamos calor que pode provocar o aumento de nossa temperatura interna e por conseqüência provocar o fenômeno da transpiração, uma de nossas causas de *sensação de desconforto térmico*. Por outro lado, se pouco calor for produzido pelo corpo a temperatura na superfície da pele diminui e com isso o fluxo de sangue principalmente nos pés e nas mãos também diminui e passamos a nos sentir mais frios e com isso também *termicamente desconfortáveis*. Certo é, entretanto, que essas ocorrências podem ser resolvida, novamente, com adequação da vestimenta uma vez que ela pode certamente influir de forma positiva na nossa produção ou liberação de calor e com isso na *sensação de conforto* a passaremos experimentar.

Neste trabalho - TÓPICOS AVANÇADOS DE CONFORTO TÉRMICO - diversas variáveis foram discutidas, desde aquelas que de há muito já estão relacionadas ao **conforto térmico** - *temperatura, umidade e velocidade do ar, temperatura radiante, taxa metabólica corporal e índice de isolamento das roupas* - como outras mais recentes, caracterizadas como *psicofisiológicas*, que poderão muito contribuir com o melhor entendimento de *quando* e *de que forma* o ser humano pode realmente se considerar em **conforto térmico**.

Entretanto, em que pese à validade e importância da discussão em torno dessas diversas variáveis, chama atenção as que envolvem o *modelo* proposto em 1970 por Fanger em sua reconhecida tese de doutorado "Thermal Comfort - Analysis and Applications in Environmental Engineering", não somente por conta da adoção de valores tabelados para *taxa metabólica* e *índice de isolamento de roupas* como também pela sua proposta de *aplicação* em qualquer região do planeta. Na verdade o que se tem questionado é tanto a *aplicação de tabelas* como a adoção das *sensações térmicas* experimentadas por voluntários em *câmaras climáticas*, onde as variáveis climáticas são mantidas sob controle.

Sobre essas discussões que na verdade tratam do PMV/PPD proposto por Fanger podemos relacionar os trabalhos de **Hackenberg (2000)**, **Xavier (2000)**, **Gonçalves (2000)**, **Vergara (2001)**, **Tanabe (1988)**, **Humphreys e Nicol (2002)**, **Fanger e Toftum (2002)**, **Havenith, Holmer e Parsons (2002)** entre outros.

Ainda devemos relacionar as propostas dos *modelos adaptativos de predição de conforto térmico* bem como a apresentação de novos *índices de conforto térmico*, fruto de investigações de pesquisadores interessados nas diferenças encontradas com a aplicação do *modelo* Fanger em regiões distintas da do seu desenvolvimento. Assim, podemos relacionar os trabalhos de **Landi (1976)**, **Roriz (1996)**, **Xavier (2000)**, **Matzarakis e Mayer (2000)**, **de Dear e Bragger (2002)**, **Evans (2003)** e **Nicol (2004)**. Já com respeito aos novos *índices de conforto térmico* citamos **Sá (1934)**, **Ribeiro (1945)**, **Gonçalves (2000)**, **Tanabe (1998)**, **Hoppe (1999)**, **Matzarakis e Mayer (1999)** e **Ye et al (2003)**. Importante afirmarmos que apesar da importância inquestionável do desenvolvimento dessas novas propostas, nenhuma delas conseguiu ainda invalidar o *modelo* Fanger.

Ainda devemos citar os trabalhos que trouxeram novas metodologias de alcance de **conforto térmico** que são os desenvolvidos por **Sharma e Ali (1986)**, **Nicol (1993)** e **(1996)**, e finalmente **Mallick (1996)**.

Por último restam os trabalhos que discutiram temas das mais diversas ordens como radiação solar, conforto externo, umidade da pele, relação entre temperatura da pele e do corpo como também a relação entre o comportamento térmico da pele, fluxo de sangue e temperatura do tímpano, esta entendida como temperatura interna do corpo, e finalmente o efeito do gênero humano, estado de aclimatação, ajuste de roupa e inaptidão física como requerimento de **conforto térmico** conforme **PARSONS (2002)**.

Do exposto reafirmamos a importância do desenvolvimento desses novos artifícios tanto de controle como de predição de **conforto térmico**, pois apesar das pequenas diferenças verificadas entre os resultados dos novos experimentos e o *modelo* Fanger a simples apresentação dos mesmos traz benefícios.

-X-X-X-

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, K.S. *Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments*. Energy and Buildings 35. p. 103-110. 2003.
- AULICIEMS, A. e SZOKOLAY, S.V. *Thermal Comfort*. PLEA note 3, Passive and Low Energy Architecture Design Tools and Techniques. University of Queensland. Brisbane. 1997.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. ASHRAE Handbook of fundamentals. Thermal Comfort, [Chapter 8] Atlanta. USA. 1989.
- _____ ASHRAE Standard 55 - *Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta. USA.1992.
- _____ ASHRAE Handbook of fundamentals. Thermal Comfort, Physiological Principles, Comfort, and Health, [Chapter 8] Atlanta. USA. 1997.
- ARAÚJO, V.M.D. *Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro*. Tese de Doutorado - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 1996.
- ARENS, E., BAUMAN, F., HUIZENGA, C. *ASHRAE Investigation of Thermal Comfort at High Humidities*. Building Science at UC Berkeley.
Artigo acessado em 05/06/2004 no site:
<http://www.arch.ced.berkeley.edu/resources/bldgsci/research/thermalcomf.htm>
- BEDFORD, T. *Environmental warmth and its measurement*. Medical Research Council. War memorandum no. 17. HMSO. 1940.
- BLAZEJCZYK, K.; TOKURA, H.; BORTKIEWICZ, A.; SZYMCZAK, W. Solar radiation and thermal physiology en man.
<http://www.igipz.pan.pl/hlimat/blaz/reaction.htm>
- BLAZEJCZYK, K. Solar radiation and heat balance of human organism.
http://www.igipz.pan.pl/hlimat/blaz/sol_rad.htm

- BRUNDRETT, G.W. *Criteria for thermal comfort in buildings*. Building International (7) p. 227-251. 1974.
- DAVIES, M.G. *A thermal circuit for physiological heat balance* Proceedings of CIB Symposium BRE - p. 84. 1972.
- DEAR, R.J. de, *A global database of thermal comfort field experiments*. ASHRAE Transactions 104 (1B). 1141-1152. 1998.
- _____ Private Communication, 2000.
- DEAR, R.J. de; BRAGGER, G. S. *Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55 – Energy and Building* 34 p. 549-561. 2002.
- EBERHART, E. C. *Thermal models of single organs*. In: Shitzer A., and R.C. Eberhart. *Heat Transfer in Medicine and Biology - Analysis and Applications*, vol. 1, chap.12. Plenum Press, New York and London, 1985.
- EVANS, J.M. *Evaluating comfort with varying temperatures: graphic design tool*. Energy and Buildings 35. p. 87-93. 2003.
- FANGER, P.O. *Thermal Comfort - Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida. 1982.
- FANGER, P.O.; MELIKOV, A.K.; HANZAWA, H.; RING, J. *Air turbulence and sensation of draught*. Energy and Buildings 12. p. 21-39. 1988.
- FANGER, P.O.; TOFTUM, J. *Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates*. Energy and Buildings 34. p. 533-536. 2002.
- FIALA, D. *Dynamic Simulation of Human Heat Transfer and Thermal Comfort*. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements of De Monfort University for the degree of Doctor of Philosophy. June 1998.
- FRANK, S.; RAJA, S.; BULCAO, C., GOLDSTEIN, D., *Relative contribution of core and coetaneous temperatures to thermal comfort and autonomic responses in humans*. J. Appl. Physiol. 86. 1588-1593. 1999
- GIVONI, B. *Man, Climate and Comfort*. Elsevier. London. 1967.
- GIVONI, B.; NOGUCHI, M., SAARONI, H., POCHTER, O., YAACOV, Y., SELLER, N., BECKER, S. *Outdoor comfort research issues*. Energy and Buildings 35 p. 77-86. 2003.

- GONÇALVES, W.B. *Estudo de índice de conforto térmico, avaliados com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte*. Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais, MG. 2000.
- GORDON, R. G. *The response of human thermoregulatory system in the cold*. PhD- Thesis in Mechanical Engineering, University of California, Santa Barbara CS. 1974.
- GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. PROCEL/Eletróbrás. 2ª. Ed. 1998.
- HACKENBERG, A.M. *Conforto e "Stress" térmico em indústrias: pesquisas efetuadas nas regiões de Joinville, SC e Campinas, SP*. Campinas. SP. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, SP. 2000.
- HAVENITH, G.; HOLMÉR, I.; PARSONS, K. *Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production..* Energy and Buildings 34 p. 581-591. 2002.
- HÖPPE, P. *Die Energiebilanz des Menschen* (dissertation). Wiss Mitt Meteorol Inst Univ München, 49. 1984.
- _____ *Heat balance modelling*. Experientia 49: 741-746. 1993.
- _____ *Die Wärmebilanzmodelle MEMI und IMEN zur Bewertung der thermischen Beanspruchung am Arbeitsplatz*. Verh Dtsch Ges Arbeitsmed Umweltmed. 34:153-158. 1994.
- _____ *Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort*. Energy and Buildings. 34. 661-665. 2002.
- HUANG, YJ.; AKBARI, H; TAHA, H; ROSENFELD, AH. *The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings*. J Climate Appl. Meteorol. 26. p. 1103-1116. 1987.
- HUMPHREYS, M.A. *Field studies of thermal comfort compared and applied*. Building Research Establishment. Current Paper, (76/75). Walford. 1975.
- HUMPHREYS, M.A. *Outdoor temperatures and comfort indoors*. Building Research and Practice (J. CIB) 6 (2) p. 92-105. 1978.

HUMPHREYS, M.A., NICOL, J.F. *Thermal Comfort as part of a self-regulatory system*. Proceedings of the CIB Symposium - BRE. p. 263-274. 1972.

_____ *Outdoor temperature and indoor thermal comfort - raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field*. ASHRAE Transactions 206 (2) (2000) 485-492.

_____ *The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments*. Energy and Buildings 34. p. 667-684. 2002.

ISO 7730 - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION *Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. Genebra, 1994.

ISO 7933 - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION *Hot environments - analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rates*. Genebra. 1989.

ISO 8996 - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION *Ergonomics of thermal environments - determinations of metabolic heat production*. Genebra. 1989.

ISO 9920 - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION *Ergonomics estimation of the thermal characteristics of a clothing ensemble*. Genebra. 1993.

IWASE, S., CUI, J., WALLIN, B. GUNNAR, KAMIYA, A., MANO, T. *Effects of increased ambient temperature on skin sympathetic nerve activity and core temperature in humans*. Neuroscience Letters. 327. 37-40. 2002.

JENDRITZKY, G.; SÖNNING, W.; SWANTES, HJ. *Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt - und Landschaftsplanung (Klima-Michel-Model)*. Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung. 28. Hermann Schroedel, Hannover. 1979.

JENDRITZKY, G.; MENZ, G.; SCHMIDT-KESSEN, W, SCHIRMER, H. *Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen*. Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover. 1990.

- KATO, M.; HA, M.; TOKURA, H. *The effect of black and white garments on thermoregulation under warm conditions with sun radiation*. Environmental ergonomics, recent progress and new frontiers. Shapiro Ed. Y. et al. London - Tel Aviv, Freud Publ. House. p. 279-282. 1996.
- KRYS, S. A., BROWN, R. D. *Radiation absorbed by a vertical cylinder in complex outdoor environments under clear sky conditions*. International Journal of Biometeorology. 34. 69-75. 1990.
- LANDI, F.R. *A adaptação térmica fisiológica do homem ao meio e a imprecisão das medidas das condições de conforto térmico*. São Paulo. Tese de Livre Docência da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP. 1976.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. *Eficiência Energética na Arquitetura*. PW Editores. São Paulo. 1999.
- MADSEN, T.L.; OLESEN, B.W.; KRISTENSEN, N.K. *Comparison between operative and equivalent temperature under typical indoor conditions*. ASHRAE Transactions 90(1). p. 1077-90. 1984.
- MALLICK, F. H. *Thermal comfort and building design in the tropical climates*. Energy and Building 23 p. 161-167. 1996.
- MATZARAKIS, A., MAYER, H. *Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature*. International Journal of Biometeorology. 43. p. 76-84. 1999.
- MATZARAKIS, A., MAYER, H. *Another kind of environmental stress: thermal stress*. WHO News. 18. p. 7-10. 1996.
- MAYER, H. *Urban bioclimatology*. Experientia. 49. p. 957-963. 1993.
- NICOL, J.F. *Thermal Comfort - A handbook for field studies toward an adaptive model*. University of East London. England. 1993.
- _____ *Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics*. Energy and Buildings 36 p. 628-637. 2004.
- _____ *Thermal comfort and temperature standards in Pakistan*. In: Nichol, F.; Humphreys, M.; Sykes, O.; Roaf, S. (Eds.), Standards for Thermal Comfort for the 21st. Century, E & FN Spon. Londres. p. 149-156. 1995.
- _____ *Thermal Comfort - Time and Posture - Exploratory studies in the nature of adaptive thermal comfort*. Oxford Brookes University. England. 1996.

- NICOL, J.F.; HUMPHREYS, M.A. *Thermal comfort as part of self regulating system - Proceedings of the CIB Symposium* - BRE. p. 263-274. 1972.
- NICOL, J.F.; ROAF, S. *Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project*. Energy and Buildings 23. p. 169-174. 1996.
- OLESEN, B.W. *Guidelines for comfort*. ASHRAE Journal 42 (8). 41-46. 2000.
- OLGYAY, V. *Design with Climate*. Princeton University Press. Princeton. NY. 1963.
- PARSONS, K.C., *The effects of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort*. Energy and Buildings. 34. 593-599. 2002
- RIBEIRO, B.A. *Contribuição ao estudo do conforto térmico*. Instituto de Higiene de São Paulo. Boletim nº. 86. 14p. 1945.
- RORIZ, M. *Conforto Térmico em Edificações - Um modelo matemático e uma aplicação*. São Paulo. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura e urbanismo da Universidade de São Paulo. 1996.
- RORIZ, M. *Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo*. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de São Carlos.
- SÁ, P. *Estudos para o estabelecimento de uma escala de temperaturas efetiva no Brasil*. Revista Brasileira de Engenharia - Março de 1934. p. 67-69. 1934.
- SHARMA, M.R.; ALI, S. *Tropical Summer Index - a study of Thermal Comfort of Indian subjects*. Buildings and Environment. 21. p. 11-24. 1986.
- SIMPSON, JR; McPherson, EG. *Simulation of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento*. Atmos Environ. 32. p. 69-74. 1998.
- SUMMIT, J; SOMMER, R. *Urban tree-planting programs - a model for encouraging environmentally protective behavior*. Atmos Environ. 32. p. 1-5. 1998.
- TANABE, S. *Thermal Comfort requirements in Japan*. - Waseda University. 1988.
- TANABE, S. e KIMURA, K. *Pilot experiment on thermal comfort requirements for adults during summer season in Japan*. Transaction of AIJ Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering. Vol 368. p. 545-550 (in Japanese with English summary). 1986.

- TANABE, S., KIMURA, K., IMABEPPU, S., HARA, T., AKIMOTO, T., ITO, A., SUGIURA, S., FUJINO, K. *Thermal comfort requirements during winter season in Japan*. Proc. of annual meeting, Architectural Institute of Japan. p.349-351. 1987.
- TOFTUM, J. *Human response to combined indoor environment exposures*. Energy and Buildings 34. p. 601-606. 2002.
- TOFTUM, J., JORGENSEN, A., FANGER, P.O. *Upper limits for indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin*. Energy and Buildings. 28 p.1-13. 1998.
- TOFTUM, J.; MELIKOV, A.K.; RASMUSSEN L.W. et al. *Human response to air movement - Part I. Preference and Draft Discomfort*. Final Report ASHRAE 843-RP. International Center for Indoor Environment and Energy. Technical University of Denmark, Denmark. 2000.
- VDI 3789. Part. 2. *Environmental Meteorology, Interactions between Atmosphere and Surfaces; Calculation of the short- and long wave radiation*. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b, Düsseldorf. 1994.
- VDI 3787. Part 2. *Environmental Meteorology, Methods for the human-biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning*. Part. I: Climate. Beuth, Berlin. 1998.
- VERGARA, L.G.L. *Análise das Condições de Conforto Térmico de Trabalhadores da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Universitário de Florianópolis*. Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 2001.
- WEBB, C. *Thermal discomfort in an equatorial climate*. IHVE J. 27 p. 297-304. 1960.
- XAVIER, A.A.P. *Condições de conforto térmico para estudantes de 2º. grau na região de Florianópolis*. Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 1999.
- XAVIER, A.A.P. *Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias - Teoria física aliada a estudos de campo*. Florianópolis. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 2000.
- YE, G.; YANG, C.; YOUMING, C. e YUGUO, L. *A new approach for measuring predicted mean vote (PMV) and standard effective temperature (SET*)*. Building and Environment 38. p. 33-44. 2003