

INADEQUAÇÃO DA ESTRATÉGIA VENTILAÇÃO NATURAL PARA CONFORTO TÉRMICO NA ZONA DE UMIDADES ELEVADAS E TEMPERATURAS MODERADAS DO AR

Alexandre Márcio Toledo

Prof. Adjunto. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU/UFAL. E-mail: amt@ctec.ufal.br

RESUMO

A avaliação bioclimática para Maceió/AL, obtida pelo programa Analysis Bio, considera desconforto térmico por calor para a maior parte do ano (76,1%) e recomenda a ventilação natural como a melhor estratégia passiva. Contudo, os dados climáticos apresentam grande concentração na zona de temperaturas moderadas (entre 20 e 26 °C) e umidades elevadas do ar (entre 80 e 100%), sobretudo no período noturno; condição essa considerada confortável pelos usuários locais. Parte-se da hipótese que a ventilação natural não é adequada para proporcionar conforto térmico nessa zona. O objetivo do presente artigo é verificar o comportamento do balanço fisiológico para essas condições ambientais específicas, e se há tendência de desconforto por calor. Realizaram-se simulações com o programa Analysis CST, considerando-se diferentes combinações de variáveis ambientais e vestimenta. Verificou-se que o aumento da velocidade do ar levou, quase sempre, à sensação de desconforto por frio. Conclui-se que, para essa zona, o incremento da velocidade do ar não é adequado, pois não há desconforto por sensação de calor, mesmo com altas umidades; contudo, outras estratégias precisam ser investigadas para assegurar a qualidade do ar.

ABSTRACT

The bioclimatic assessment to Maceió/AL by Analysis Bio Program considers thermal discomfort by sensation of warmth, for the most period of the year (76.1%), recommending the natural ventilation like the best passive strategy. Although, climatic data shows lots of moderate temperatures of the air (between 20 – 26°C) and high humid (between 80 – 100%), almost on night period. Coming from the hypothesis that natural ventilation is inadequate to thermal comfort in this case. The aim of the present paper is to check up the thermal comfort for these conditions. The Methodology consisted in simulation on the Analysis CST Program to check thermal comfort environment conditions. This zone almost not introduced thermal discomfort by warmth and the increase speed of the air took always the discomfort situation by frosty sensation, not getting possible the natural ventilation strategy. Concluding that, it is necessary investigation about others natural strategies to guarantee indoor air quality.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação bioclimática para Maceió/AL, obtida pelo Programa Analysis Bio (LabEEEE/UFSC), considera desconforto térmico pela sensação de calor para a maior parte do ano (76,1% das horas), recomendando a ventilação natural como a melhor estratégia passiva (LAMBERTS *et al.*, 1997), podendo resolver o desconforto térmico em até 75,9% das horas – somando-se as horas das interseções com as estratégias massa térmica para resfriamento e resfriamento evaporativo (14,6% das horas).

As avaliações bioclimáticas anual e sazonais mais detalhadas para Maceió, obtidas pelo mesmo programa (TOLEDO E PEREIRA, 2006), mostram que os períodos noturnos são muito mais desconfortáveis que os diurnos, para o ano e todas as estações (tabela 1).

Tabela 1: Diagnósticos por estação e ano todo e períodos diurno e noturno

	VERÃO		OUTONO		INVERNO		PRIMAVERA		ANO	
	DIA	NOITE	DIA	NOITE	DIA	NOITE	DIA	NOITE	DIA	NOITE
Conforto	15,9%	3,08%	18,9%	1,86%	52,9%	1,78%	38%	5,45%	31,5%	5,06%
Desconforto	84,1%	96,9%	81,1%	98,1%	47,1%	98,2%	62%	94,6%	68,5%	94,9%

Esse diagnóstico causa espície e não encontra sustentação, pois a vivência do clima e o conhecimento do comportamento e preferência dos usuários locais (TOLEDO, 2001) permitem afirmar que a condição de conforto térmico dá-se em muito maior número de horas, sobretudo no período noturno, considerado quase sempre agradável, mesmo durante o verão, se comparado com o período diurno.

Contudo, os gráficos gerados pelo programa Analysis Bio apresentaram grande concentração de horas na zona de temperaturas moderadas (entre 20 e 26 °C) e umidades elevadas do ar (entre 80 e 100%), para todas as estações do ano, tanto no período diurno quanto no noturno, sobretudo para esse último (figuras 1 a 3).

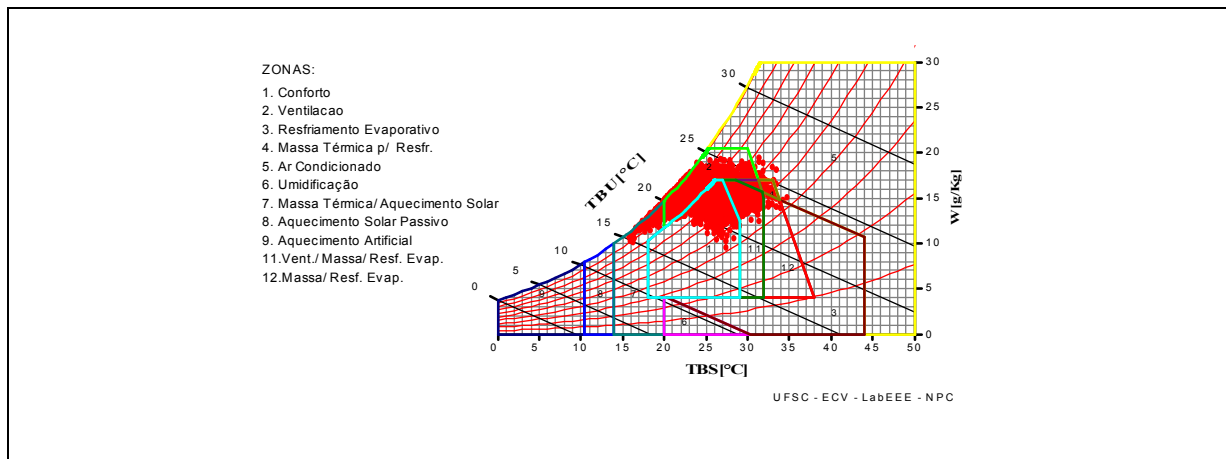


Figura 1: MACEIÓ - ANO TODO

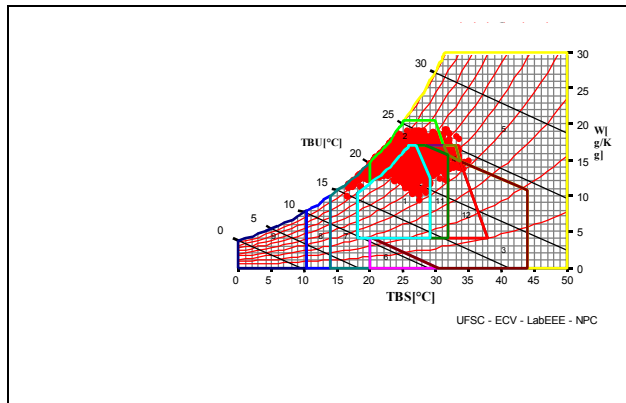


Figura 2: ANO TODO - DIURNO

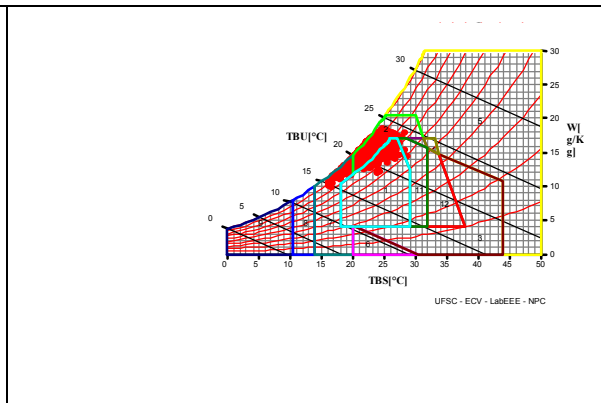


Figura 3: ANO TODO - NOTURNO

Parte-se da hipótese de que, uma parcela da zona de ventilação natural proposta pelo programa Analysis Bio – a qual corresponde à zona de temperaturas moderadas e umidades elevadas do ar – não é adequada para conforto térmico. Cabe lembrar que outros autores propõem uma zona de desumidificação, para essas condições ambientais específicas, inclusive o zoneamento bioclimático do Brasil (ABNT, 2005).

Watson e Labs (1983) estabelecem uma grande zona de desumidificação prioritária (zona iv), acima de 17 mm de Hg, subdividida em quatro subzonas, para temperaturas superiores a 20 °C e 80% de umidade relativa do ar. Sendo que, apenas uma delas (subzona 8) é exclusiva de desumidificação, a qual corresponde à zona em discussão; as demais são subzonas compartilhadas com resfriamento total.

Szokolay (1987) e Givoni (1992) não recomendam a ventilação natural como estratégia bioclimática para essas condições (BOGO *et al.*, 1994) e, Arens e Watanabe (1986) esclarecem que o limite da carta de conforto em 80% de umidade relativa do ar deve-se aos danos causados pela elevada umidade nos aparelhos de condicionamento de ar; e não ao desconforto térmico.

A carta bioclimática brasileira, apesar de se basear em Givoni (1992), adota uma zona de desumidificação (F), para a zona em discussão; indicando também a ventilação natural como estratégia bioclimática a ser adotada, mas para renovação do ar.

O programa Analysis Bio, por outro lado, não adota a zona de desumidificação, mas também sugere a estratégia ventilação natural para essas condições, com base no trabalho de Gonzalez *et al.* (1986); contudo, a considera como zona de desconforto térmico por calor: aí reside o problema!

Apesar de não representar necessariamente desconforto térmico, a elevada umidade do ar para essa faixa de temperatura (20 a 26 °C), pode causar danos aos materiais de construção (HENRIQUES, 1995), por essa razão, estratégias de desumidificação devem ser adotadas (WATSON E LABS, 1983).

O objetivo do presente artigo é verificar o comportamento do balanço fisiológico para essas condições ambientais específicas, a fim de verificar se há tendência de desconforto por calor.

2. METODOLOGIA

Realizaram-se simulações com o programa Analysis CST (LabEEE/UFSC), a fim de se verificar a condição de conforto térmico para umidades elevadas (80 a 100%) e temperaturas moderadas do ar (20 a 26 °C). As simulações dividiram-se em quatro etapas:

Na **primeira etapa**, consideraram-se três composições de vestimenta, compreendendo três faixas de temperatura cada: (i) 0,95 *clo* para temperaturas de 20, 21 e 22 °C; (ii) 0,5 *clo* para temperaturas de 23, 24 e 25 °C; (iii) 0,3 *clo* para temperaturas de 26, 27 e 28 °C.

Adotaram-se 0,95 *clo* para as menores temperaturas e 0,3 *clo* para as maiores temperaturas, por ter-se constatado, respectivamente, situação de frio, nas simulações em que se consideraram valores inferiores, e situação de calor, nas simulações em que se consideraram valores superiores.

Para todos os casos dessa etapa, testaram-se duas velocidades do ar: 0,15 e 0,25 m/s, velocidades essas ligeiramente superiores às recomendadas para a zona de conforto (0,1 m/s), e duas faixas de umidades relativas do ar: 90 e 100%; considerou-se atividade moderada, equivalente a 70 W/m², temperatura radiante média igual à temperatura do ar e a altitude ao nível do mar (cota 0,00), equivalente à pressão barométrica de 101,33 kPa.

Na **segunda etapa**, verificou-se a condição de conforto térmico para as mesmas faixas de temperatura da primeira etapa, porém com umidade relativa de 80%, com ar parado e velocidade de 0,1 m/s. Além disso, verificou-se qual deveria ser a correção da resistência da vestimenta para cada faixa de temperatura, a fim de se obter neutralidade térmica (PMV próximo a zero). O procedimento implicou em diversas tentativas.

Na **terceira etapa**, verificou-se qual deveria ser a correção da resistência da vestimenta para a primeira faixa de temperatura (20 a 22 °C), com 90 e 100% de umidades relativas e velocidades de 0,15 e 0,25 m/s, a fim de se obter neutralidade térmica.

Na **quarta etapa**, verificou-se a condição de conforto térmico para temperaturas de 27 e 28 °C, com ar parado e velocidade de 0,1 m/s, umidades relativas de 75 e 60%, para duas situações: considerando 0,30 *clo* e calculando-se a resistência da vestimenta para se obter neutralidade térmica.

Os resultados da primeira etapa já foram publicados em Toledo e Pereira (2006) e são aqui reapresentados e discutidos com o conjunto de resultados das demais etapas. As três últimas etapas foram realizadas na disciplina Conforto Ambiental no Espaço Habitado, pelos mestrandos em arquitetura e urbanismo (DEHA/UFAL): Amaya Kähni, André Coelho, Dilane Mendonça, Francisco Soto, Luciana dos Santos, Mara Rúbia Araújo, Márcia Lopes e Ricardo Sérgio Leão Júnior.

2.1 O programa Analysis CST

O programa foi desenvolvido pelos pesquisadores do LabEEE/UFSC; utiliza modelo fisiológico, baseado em equações da ASHRAE e, por meio dos dados ambientais, atividade e vestimenta, calcula o balanço térmico do corpo, índices de conforto e desconforto térmico e índice de sensação térmica.

2.1.1 Entradas do programa

Constituem entradas do programa Analysis CST: a vestimenta (expressa em *clo*); a atividade (em W/m^2); dados ambientais: temperatura do ar e temperatura radiante média (em °C); velocidade do ar (em m/s); umidade relativa do ar (em porcentagem).

2.1.2 Saídas do programa

O programa calcula, com base nos dados ambientais, a temperatura de bulbo úmido, a temperatura de orvalho e a temperatura de globo, todas expressas em °C; a pressão de vapor e a pressão barométrica, expressas em kPa.

Com base no conjunto de dados de entrada, o programa também calcula a carga térmica sobre o corpo (L)¹, as trocas de calor sensível (Cres) e latente (Eres) pela respiração; as trocas de calor sensível por convecção (C) e por radiação (R) e latente (Esk) pela pele, todos expressos em W/m^2 ; a temperatura operativa de conforto expressa em °C; o PMV (*predicted mean vote* - voto médio estimado) e o PPD (*predicted percentage of dissatisfied* - percentual de pessoas insatisfeitas); o índice de desconforto térmico (DISC) e o índice de sensação térmica (TS).

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Primeira etapa – avaliação de conforto térmico para três faixas de temperatura

Os resultados de PMV (voto médio estimado), em geral, deram negativos para as temperaturas de 20 a 26 °C, com exceção das temperaturas de transição entre as faixas de vestimenta, ou seja, diagnóstico de desconforto térmico pela sensação de frio. Acima de 27 °C, todos os resultados de PMV deram positivos, ou seja, diagnóstico com indicação de desconforto térmico pela sensação de calor.

Para a faixa de temperatura de 20 a 22 °C com vestimenta de 0,95 *clo*, todos os resultados de PMV deram negativos para as temperaturas de 20 e 21°C (-0,14 a -0,58); com PPD (percentual de pessoas insatisfeitas) variando de 5,43 a 11,98 e com valores acima de 10% apenas para temperatura de 20 °C e velocidade de 0,25 m/s. Já para a temperatura de 22 °C, o PMV foi negativo apenas para 90% de

¹ Terminologia utilizada no relatório de saída do Programa.

umidade relativa e velocidade do ar de 0,25 m/s; os demais foram todos positivos (0,01 a 0,12); com PPD variando de 5 a 5,28.

Os índices de desconforto térmico (DISC) variaram tanto para a mesma temperatura quanto para as diferentes temperaturas (0,20 a 0,35 para frio e de 0,36 a 0,43 para calor). Já os índices de sensação térmica (TS) mantiveram-se constantes para a mesma temperatura e variaram para as demais (26,23 a 26,71) (tabela 2).

Tabela 2: Resultados para TBS de 20 – 22 °C

		0.95 clo											
		20 °C				21 °C				22 °C			
UR %	Var (m/s)	PMV	PPD	DISC	TS	PMV	PPD	DISC	TS	PMV	PPD	DISC	TS
90	0,15	-0,45	9,28	0,25	26,23	-0,20	5,82	0,33	26,47	0,06	5,07	0,41	26,71
	0,25	-0,58	11,98	0,20	26,23	-0,31	7,04	0,27	26,47	-0,05	5,05	0,35	26,71
100	0,15	-0,40	8,35	0,26	26,23	-0,14	5,43	0,34	26,47	0,12	5,28	0,43	26,71
	0,25	-0,53	10,77	0,21	26,23	-0,26	6,38	0,28	26,47	0,01	5,00	0,36	26,71

PMV – voto médio estimado; PPD – percentual de pessoas insatisfeitas; DISC – índice de desconforto térmico; TS – índice de sensação térmica.

Para a faixa de temperatura de 23 a 25 °C, com vestimenta de 0,50 clo, todos os resultados de PMV deram negativos, para as temperaturas de 23 e 24°C (-0,18 a -0,79); com PPD variando de 5,66 a 18,29 e com valores acima de 10% apenas para a temperatura de 23 °C, em todos os casos. Já para a temperatura de 25 °C, o PMV foi negativo apenas para 90% de umidade relativa e velocidade do ar de 0,25 m/s, os demais foram todos positivos (0,01 a 0,17); com PPD variando de 5 a 5,63.

Os índices de desconforto térmico (DISC) variaram tanto para a mesma temperatura quanto para as diferentes temperaturas (0,13 a 0,32 para frio, e 0,34 a 0,42 para calor). Já os índices de sensação térmica (TS) mantiveram-se constantes para a mesma temperatura e variaram para as demais (26,96 a 27,44) (tabela 3).

Tabela 3: Resultados para TBS de 23 – 25 °C

		0.50 clo											
		23 °C				24 °C				25 °C			
UR %	Var (m/s)	PMV	PPD	DISC	TS	PMV	PPD	DISC	TS	PMV	PPD	DISC	TS
90	0,15	-0,58	12,11	0,20	26,96	-0,25	6,25	0,29	27,20	0,10	5,23	0,40	27,44
	0,25	-0,79	18,29	0,13	26,96	-0,43	8,87	0,22	27,2	-0,06	5,09	0,32	27,44
100	0,15	-0,52	10,66	0,21	26,96	-0,18	5,66	0,31	27,20	0,17	5,63	0,42	27,44
	0,25	-0,73	16,27	0,14	26,96	-0,36	7,77	0,23	27,20	0,01	5,00	0,34	27,44

Para a faixa de temperatura de 26 a 28 °C com vestimenta de 0,3 clo, os resultados de PMV deram negativos apenas para a temperatura de 26 °C, com exceção para 100% de umidade relativa e velocidade do ar de 0,15 m/s (-0,02 a -0,25); com PPD variando de 5,01 a 6,25. Já para as temperaturas de 27 e 28 °C, todos os resultados de PMV deram positivos (0,20 a 0,89); com PPD variando de 5,85 a 21,72 e com valores acima de 10% apenas para a temperatura de 28 °C, em todos os casos.

Os índices de desconforto térmico (DISC) variaram tanto para a mesma temperatura quanto para as diferentes temperaturas (0,26 a 0,36 para frio e 0,38 a 0,72 para calor). Já os índices de sensação térmica (TS) mantiveram-se constantes para a mesma temperatura e variaram para as demais (27,68 a 28,17) (tabela 4).

Tabela 4: Resultados para TBS de 26 – 28 °C

		0.30 clo											
		26 °C				27 °C				28 °C			
UR %	Var (m/s)	PMV	PPD	DISC	TS	PMV	PPD	DISC	TS	PMV	PPD	DISC	TS
90	0,15	-0,02	5,01	0,36	27,68	0,47	9,63	0,53	27,93	0,81	18,69	0,68	28,17
	0,25	-0,25	6,25	0,26	27,68	0,20	5,85	0,4	27,93	0,64	13,73	0,58	28,17
100	0,15	0,06	5,06	0,38	27,68	0,39	8,19	0,5	27,93	0,89	21,72	0,72	28,17
	0,25	-0,17	5,6	0,29	27,68	0,28	6,64	0,43	27,93	0,73	16,18	0,62	28,17

3.2 Segunda etapa – conforto térmico e resistência ideal da vestimenta para 80% de UR

Os resultados de PMV deram negativos e próximos à neutralidade térmica para as temperaturas de 20 a 23 °C, com exceção da temperatura de transição (22 °C) entre as duas primeiras faixas de vestimenta, ou seja, diagnóstico de indicação de desconforto térmico pela sensação de frio. Acima de 25 °C, com exceção da temperatura de transição (26 °C), todos os resultados de PMV deram positivos, ou seja, diagnóstico de indicação de desconforto térmico pela sensação de calor.

Para a faixa de temperatura de 20 a 22 °C com vestimenta de 0,95 clo, todos os resultados de PMV deram negativos para as temperaturas de 20 e 21°C (-0,01 a -0,40); com PPD variando de 5 a 8,4. Já para a temperatura de 22 °C, o PMV foi sempre positivo (0,23); com PPD de 6,11.

Os índices de desconforto térmico (DISC) variaram tanto para a mesma temperatura quanto para as diferentes temperaturas (0,25 a 0,32 para frio e de 0,40 para calor). Já os índices de sensação térmica (TS) mantiveram-se os mesmos da primeira etapa (26,23 a 26,71).

A resistência ideal para a vestimenta situou-se entre 1,12 e 0,80 clo para a condição de ar parado e entre 1,23 e 0,91 clo, para velocidade do ar de 0,10 m/s (tabela 5).

Tabela 5: Resultados para 80% de UR e TBS de 20 – 22 °C

		20°					21°					22°				
UR %	Var (m/s)	clo	PMV	PPD	DISC	TS	clo	PMV	PPD	DISC	TS	clo	PMV	PPD	DISC	TS
80	0,00	0,95	-0,25	6,30	0,24	26,23	0,95	-0,01	5,00	0,32	26,47	0,95	0,23	6,11	0,40	26,71
	0,00	1,12	0,01	5,00	0,34	26,23	0,96	0,01	5,00	0,39	26,47	0,80	0,00	5,00	0,30	26,71
	0,10	0,95	-0,40	8,40	0,24	26,23	0,95	-0,18	5,65	0,32	26,47	0,95	0,23	6,11	0,40	26,71
	0,10	1,23	0,00	5,00	0,40	26,23	1,07	0,01	5,00	0,93	26,47	0,91	0,01	5,00	0,37	26,71

Para a faixa de temperatura de 23 a 25 °C com vestimenta de 0,50 clo, os resultados de PMV deram negativos para a temperatura de 23 °C (-0,31), neutro para a temperatura de 24 °C e positivos para a temperatura de 25 °C; com PPD variando de 5 a 7,32.

Os índices de desconforto térmico (DISC) variaram tanto para a mesma temperatura quanto para as diferentes temperaturas (0,19 a 0,33 para frio e de 0,22 a 0,38 para calor). Já os índices de sensação térmica (TS) mantiveram-se os mesmos da primeira etapa (26,96 a 27,44).

A resistência ideal para a vestimenta situou-se entre 0,70 e 0,30 clo tanto para a condição de ar parado quanto para velocidade do ar de 0,10 m/s (tabela 6).

Tabela 6: Resultados para 80% de UR e TBS de 23 – 25 °C.

UR %	Var (m/s)	23°					24°					25°				
		clo	PMV	PPD	DISC	TS	clo	PMV	PPD	DISC	TS	clo	PMV	PPD	DISC	TS
80	0,00	0,50	-0,31	6,97	0,19	26,96	0,50	0,01	5,00	0,28	27,20	0,50	0,33	7,32	0,38	27,44
	0,00	0,70	0,10	5,20	0,33	26,96						0,30	-0,08	5,14	0,22	27,44
	0,10	0,50	-0,31	6,97	0,19	26,96	0,50	0,01	5,00	0,28	27,20	0,50	0,33	7,32	0,38	27,44
	0,10	0,70	0,10	5,20	0,33	26,96						0,30	-0,08	5,14	0,22	27,44

Para a faixa de temperatura de 26 a 28 °C com vestimenta de 0,30 *clo*, os resultados de PMV foram todos positivos, com exceção para a temperatura de 26 °C; com PPD variando de 5,04 a 28,3.

Os índices de desconforto térmico (DISC) variaram tanto para a mesma temperatura quanto para as diferentes temperaturas (0,34 a 0,65 para calor). Já os índices de sensação térmica (TS) mantiveram-se os mesmos da primeira etapa (27,68 a 28,17).

A resistência ideal para a vestimenta situou-se entre 0,00 (sem vestimenta) e 0,19 *clo* para a condição de ar parado e de 0,00 (sem vestimenta) e 0,28 *clo* para velocidade do ar de 0,10 m/s (tabela 7).

Tabela 7: Resultados para 80% de UR e TBS de 26 – 28 °C

UR %	Var (m/s)	26°					27°C					28°C				
		clo	PMV	PPD	DISC	TS	clo	PMV	PPD	DISC	TS	clo	PMV	PPD	DISC	TS
80	0,00	0,30	0,30	6,81	0,34	27,68	0,30	0,67	14,53	0,48	27,93	0,30	1,05	28,3	0,65	28,17
	0,00	0,19	0,01	5,00	0,23	27,68	0,04	0	5	0,21	27,93	0,00	0,39	8,23	0,32	28,17
	0,10	0,30	0,04	5,04	0,34	27,68	0,30	0,43	8,88	0,48	27,93	0,30	0,82	19,29	0,65	28,17
	0,10	0,28	0,01	5,00	0,32	27,68	0,13	-0,01	5	0,31	27,93	0,00	0,04	5,03	0,32	28,17

3.3 Terceira etapa – resistência ideal da vestimenta para temperaturas mais baixas

A resistência ideal para a vestimenta da primeira faixa de temperaturas simuladas (20 a 22 °C), a fim de se obter neutralidade térmica, situou-se entre 1,25 e 0,93 *clo* com média de 1,09 *clo* (tabela 8).

Tabela 8: Resultados ideais para resistência da vestimenta com TBS de 20 – 22 °C

UR %	Var (m/s)	20°					21°					22°				
		clo	PMV	PPD	DISC	TS	clo	PMV	PPD	DISC	TS	clo	PMV	PPD	DISC	TS
90	0,15	1,23	0,00	5,00	0,04	26,23	1,07	0,00	5,00	0,40	26,47	0,92	0,01	5,00	0,39	26,71
	0,25	1,29	0,00	5,00	0,39	26,23	1,13	0,00	5,00	0,38	26,49	0,98	0,00	5,00	0,37	26,71
100	0,15	1,20	0,01	5,00	0,41	26,23	1,04	0,01	5,00	0,40	26,47	0,88	0,00	5,00	0,38	26,71
	0,25	1,26	0,00	5,00	0,38	26,23	1,10	0,00	5,00	0,37	26,47	0,95	0,01	5,00	0,36	26,71
clo médio		1,25					1,09					0,93				
1,09																

3.4 Quarta etapa – conforto térmico e resistência da vestimenta para umidades menores

Os resultados de PMV (voto médio estimado) deram todos positivos para as temperaturas de 27 a 28 °C e umidades relativas de 60 e 75%, ou seja, diagnóstico de indicação de desconforto térmico pela sensação de calor, mesmo se reduzindo a umidade relativa do ar. O PPD (percentual de pessoas insatisfeitas) variou de 6,55 a 26,49 e com valores acima de 10% para os casos de ar parado com temperatura de 28 °C e para todos os casos com temperatura de 28 °C.

Os índices de desconforto térmico (DISC) variaram tanto para a mesma temperatura quanto para as diferentes temperaturas (0,43 a 0,63 para calor). Já os índices de sensação térmica (TS) mantiveram-se os mesmos das etapas anteriores (27,93 a 28,17).

Tabela 9: Resultados para TBS de 27 e 28 °C e umidades de 60 e 75%

UR %	Var (m/s)	27°					28°				
		clo	PMV	PPD	DISC	TS	clo	PMV	PPD	DISC	TS
60	0,00	0,30	0,52	10,55	0,43	27,93	0,30	0,88	21,45	0,58	28,17
75	0,00	0,30	0,63	13,43	0,46	27,93	0,30	1,01	26,49	0,63	28,17
60	0,10	0,30	0,27	6,55	0,43	27,93	0,30	0,66	14,01	0,58	28,17
75	0,10	0,30	0,39	8,20	0,46	27,93	0,30	0,78	17,86	0,63	28,17

A resistência ideal para a vestimenta, com temperaturas de 27 e 28 °C e umidades relativas de 60 e 75%, a fim de se obter neutralidade térmica, situou-se entre 0,00 (sem vestimenta) e 0,19 *clo* com média de 0,12 *clo* para 27 °C e 0,01 *clo* para 28 °C (tabela 10).

Tabela 10: Resultados ideais para resistência da vestimenta com TBS de 27 e 28 °C

UR %	Var (m/s)	27°					28°				
		clo	PMV	PPD	DISC	TS	clo	PMV	PPD	DISC	TS
60	0,00	0,09	0,00	5,00	0,22	27,93	0,00	0,23	6,06	0,27	28,17
75	0,00	0,05	0,00	5,00	0,21	27,93	0,00	0,35	7,57	0,30	28,17
60	0,10	0,19	0,00	5,00	0,32	27,93	0,04	0,00	5,00	0,31	28,17
75	0,10	0,15	0,01	5,00	0,31	27,93	0,00	0,00	5,00	0,31	28,17
clo médio		0,12					0,01				

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados das simulações com o Analysis CST comprovaram que, para as faixas de temperaturas entre 22 e 26 °C com elevadas umidades do ar (80 a 100%), a sensação térmica com o aumento da velocidade do ar é de frio. Verificaram-se diagnósticos de sensação térmica de calor apenas para temperaturas na faixa de transição da vestimenta (22 °C alguns resultados e 25 °C maioria dos resultados), e todos os resultados para temperaturas de 27 e 28 °C.

Os resultados de PMV indicam as tendências de diagnósticos de neutralidade (próximo a zero) e sensação térmica de calor e frio (tabela 11).

Tabela 11: Resultados de Voto Médio Estimado (PMV)

UR %	V ar (m/s)	0,95 <i>clo</i>			0,5 <i>clo</i>			0,3 <i>clo</i>		
		20 °C	21 °C	22 °C	23 °C	24 °C	25 °C	26 °C	27 °C	28 °C
80	0,00	-0,25	-0,01	0,23	-0,31	0,01	0,33	0,30	0,67	1,05
	0,10	-0,40	-0,18	0,23	-0,31	0,01	0,33	0,04	0,43	0,82
90	0,15	-0,45	-0,20	0,06	-0,58	-0,25	0,10	-0,02	0,47	0,81
	0,25	-0,58	-0,31	-0,05	-0,79	-0,43	-0,06	-0,25	0,20	0,64
100	0,15	-0,40	-0,14	0,12	-0,52	-0,18	0,17	0,06	0,39	0,89
	0,25	-0,53	-0,26	0,01	-0,73	-0,36	0,01	-0,17	0,28	0,73

Os resultados de PPD, apesar de não se apresentarem muito distanciados do tolerado para ambientes internos (até 10%), excederam em apenas onze situações. Indicam que o aumento da velocidade do ar implicaria aumento do índice PPD, com exceção para as temperaturas de 22 e 25 °C (transição da vestimenta), nas quais há aumento do índice PPD, e para temperaturas acima de 26 °C, nas quais há redução do índice PPD com o aumento da velocidade do ar (tabela 12).

Tabela 12: Resultados de Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPD)

UR %	V ar (m/s)	0,95 clo			0,5 clo			0,3 clo		
		20 °C	21 °C	22 °C	23 °C	24 °C	25 °C	26 °C	27 °C	28 °C
80	0,00	6,30	5,00	6,11	6,97	5,00	7,32	6,81	14,53	28,3
	0,10	8,40	5,65	6,11	6,97	5,00	7,32	5,04	8,88	19,29
90	0,15	9,28	5,82	5,07	12,11	6,25	5,23	5,01	9,63	18,69
	0,25	11,98	7,04	5,05	18,29	8,87	5,09	6,25	5,85	13,73
100	0,15	8,35	5,43	5,28	10,66	5,66	5,63	5,06	8,19	21,72
	0,25	10,77	6,38	5,00	16,27	7,77	5,00	5,60	6,64	16,18

Por outro lado, os índices de desconforto térmico (DISC) mostraram-se sempre mais elevados que os valores de PPD. E ainda, apresentaram uma inversão na lógica de desconforto térmico pela sensação de frio com o aumento da velocidade do ar, para umidades de 90 e 100% e velocidades de 0,15 e 0,25 m/s; ou seja, houve sempre redução do desconforto térmico com o aumento da velocidade do ar (tabela 13).

Tabela 13: Resultados de Índice de Desconforto Térmico (DISC)

UR %	V ar (m/s)	0,95 clo			0,5 clo			0,3 clo		
		20 °C	21 °C	22 °C	23 °C	24 °C	25 °C	26 °C	27 °C	28 °C
80	0,00	0,24	0,32	0,40	0,19	0,28	0,38	0,34	0,48	0,65
	0,10	0,24	0,32	0,40	0,19	0,28	0,38	0,34	0,48	0,65
90	0,15	0,25	0,33	0,41	0,20	0,29	0,40	0,36	0,53	0,68
	0,25	0,20	0,27	0,35	0,13	0,22	0,32	0,26	0,40	0,58
100	0,15	0,26	0,34	0,43	0,21	0,31	0,42	0,38	0,50	0,72
	0,25	0,21	0,28	0,36	0,14	0,23	0,34	0,29	0,43	0,62

Verificou-se também que os valores de sensação térmica (TS) mantiveram-se inalterados, para uma mesma temperatura, com a variação das umidades de 80 a 100% e mesmo para 60 e 75% para as temperaturas de 27 e 28 °C.

As resistências adotadas para as vestimentas mostraram-se adequadas, pois garantiram valores de PMV muito próximos da neutralidade e PPD sempre abaixo de 10%, para a situação de 80% de umidade relativa do ar e ar parado ou com velocidade de 0,10 m/s.

Constatou-se que para temperaturas superiores a 26 °C, nem a redução da umidade relativa do ar nem a redução da resistência da vestimenta levariam a situações de conforto térmico com ar parado ou em baixa velocidade. Essa constatação comprova a adequação da estratégia ventilação natural para temperaturas superiores a 26 °C.

Os resultados das simulações com o Analysis CST comprovaram a percepção de que, para as faixas de temperaturas entre 22 e 26 °C com elevadas umidades do ar (80 a 100%), a sensação térmica com o aumento da velocidade do ar é de frio. Portanto, a indicação da estratégia de ventilação natural, para restabelecer o conforto térmico, nessa zona, não parece adequada, conforme Szokolay (1987) e Givoni (1992).

Diante dos resultados das simulações com o Analysis CST, confirma-se a percepção quanto a maior agradabilidade das noites em relação aos dias, em Maceió, confirmando-se a hipótese de que o diagnóstico do Analysis Bio é inadequado ao considerar essa zona de desconforto térmico por calor. Até porque, muitas dessas horas devem coincidir com os períodos de precipitação, a qual, em Maceió, corresponde a 2.167,7 mm anual, por isso ser considerado excessivamente chuvoso.

5. CONCLUSÕES

Nesse artigo realizaram-se simulações com o programa Analysis CST, para verificação do conforto térmico nas faixas de umidades elevadas (80 a 100%) e temperaturas moderadas do ar (20 a 26%), para a qual é indicada a estratégia ventilação natural pelo programa Analysis Bio.

Verificou-se que, quase sempre, o aumento da velocidade do ar levou ao desconforto pela sensação térmica de frio, para as temperaturas de 20 a 26 °C, para as três umidades relativas testadas, considerando o comportamento dos parâmetros voto médio estimado (PMV) e percentual de pessoas insatisfeitas (PPD). Por outro lado, o parâmetro índice de desconforto térmico (DISC) mostrou tendência contrária, ou seja, redução do desconforto com o aumento da velocidade do ar. E o parâmetro índice de sensação térmica (TS) mostrou-se invariável para a mesma temperatura mesmo com variação da umidade do ar.

Confirma-se a hipótese de que o diagnóstico de desconforto térmico pela sensação de calor, pelo programa Analysis Bio, para essa zona, é inadequado pelos parâmetros PMV e PPD. Porém, os parâmetros DISC e TS precisam ser mais bem avaliados, pois aparentemente são contraditórios.

Conclui-se que os parâmetros de desconforto térmico utilizados pelo Analysis Bio precisam ser revistos, a fim de melhor avaliar os climas quentes e úmidos moderados, que ocorrem na maior parte do litoral do Nordeste do Brasil. Isso implica revisão dos diagnósticos das cidades brasileiras já avaliadas.

6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005) “NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social”. Rio de Janeiro: ABNT.
- ARENS, E. A.; WATANABE, N. S. (1986) “A method for designing naturally cooled buildings using bin climate data”. ASHRAE Transaction, v. 92, n. 2-B, p. 773-792.
- BOGO, A. *et al.* (1994) “Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico”. Florianópolis: ECV/UFSC.
- GONZALEZ, E. *et al.* (1986) “Proyecto clima y arquitectura”. Gustavo Gili: México (D.F.)
- GIVONI, B. (1992) “Comfort climate analysis and building design guidelines”. Energy and Buildings, v. 18, n. 1, p. 11-23.
- HENRIQUES, F. M. A. (1995) “Humidade em paredes”. Lisboa: LNEC.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. (1997) “Eficiência energética na arquitetura”. São Paulo, PW Ed.
- SZOKOLAY, S. V. (1987) “Thermal design of buildings”. RAI Education Division. Brisbane. Austrália.
- TOLEDO, A. M. (2001) “Ventilação natural e conforto térmico em dormitórios: aspectos bioclimáticos para uma revisão do Código de Obras e Edificações de Maceió”. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TOLEDO, A. M.; PEREIRA, F. O. R. (2006) “Conforto térmico e estratégias bioclimáticas para umidades elevadas e temperaturas moderadas do ar”. In: Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. ENTAC2006, Florianópolis.
- WATSON, D.; LABS, K. (1983) “Climatic design: energy-efficient building principles and practices”. McGraw-Hill. New York.