

ESTIMATIVA DE UMIDADE RELATIVA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE CONFORTO TÉRMICO

Eduardo L. Krüger

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná
Av. Sete de Setembro, 3165. CEP 80.230-901 Curitiba, PR.
tel: [0xx41]310-4711, fax: [0xx41]310-4712 - E-mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

RESUMO

Estimar a umidade relativa a partir da temperatura e umidade do ar externo é uma forma de se determinar as condições de conforto quando não se tem dados medidos de umidade relativa para o ambiente interno. Essa estimativa pode ser feita convertendo-se a umidade relativa e a temperatura do ar externo em umidade absoluta e transformando-a então em umidade relativa interna, uma vez conhecidas as temperaturas do ar interno. Especialmente em construções tropicais, onde a ventilação é uma necessidade no período de verão e a área de infiltração é considerável, a correlação entre a estimativa de umidade relativa e dados reais pode ser bastante substancial. Neste artigo, valores estimados são comparados a dados reais, medidos, de umidade relativa para quatro diferentes moradias populares em Curitiba. Esta comparação compreendeu: a) uma análise estatística verificando coeficientes de correlação para os dois conjuntos de dados e b) verificação dos níveis de conforto resultantes da plotagem de dados medidos e estimados de umidade relativa e temperatura no Diagrama de Conforto de Givoni. Os quatro sistemas construtivos avaliados foram: painéis de madeira mineralizada com requadro de concreto armado e revestido de argamassa; painéis estruturais pré-fabricados de concreto armado; painéis pré-fabricados de isopor e tela de aço revestidos com argamassa; e, colunas pré-moldadas espaçadas com placas pré-fabricadas em concreto. Essas quatro casas estavam sendo habitadas pelas famílias durante o período de monitoramento. As medições ocorreram durante 15 dias com intervalos de 15 minutos entre as leituras. Para tanto, foram usados data-loggers do tipo HOBO (para medições de temperatura e umidade).

ABSTRACT

Estimating relative humidity from external (outdoors) air temperature and humidity and internal (indoors) air temperature is a means to assess thermal comfort conditions when indoor relative humidity is not available. Buildings in tropical countries are usually well ventilated in the summer and show a large infiltration area. Assuming that sources of moisture are minimal in such cases, indoor humidity can be assumed to be the same as the outdoor value. Once the indoor relative humidity is not available, it can be estimated from measuring outdoor air temperature and humidity and indoor air temperature. This can be done by converting outdoor air temperature and relative humidity to absolute humidity, which would be assumed to be the same as the internal one. Provided that indoor air temperature is known, it is possible to calculate relative humidity. In this paper, relative humidity estimates were compared with actual, measured, relative humidity values in four different low-cost houses in Curitiba-Brazil (latitude = -25° , altitude = 914m). This comparison comprises: a) a statistical analysis and b) the evaluation of comfort levels on the Building Bioclimatic Chart. In the statistical analysis, correlation coefficients are analyzed and in the evaluation of comfort, measured and estimated values are plotted in the chart and the percentage of hours within each zone is compared. The four different construction systems were: a wood board house, plastered on both sides; a reinforced concrete-panel house; a reinforced polystyrene plastered board houses; and, a house made of pre-molded pillars spaced with concrete prefabricated plates. These four houses were occupied during the monitoring period. Measurements (with HOBO data-loggers) were carried out in 15 days with a sampling time of 15 minutes.

1. INTRODUÇÃO

Na falta de dados medidos de umidade relativa no ambiente interno, uma estimativa pode ser realizada a partir das características externas de umidade e temperatura do ar e da temperatura do ar interno. Especialmente em construções tropicais, onde a ventilação é uma necessidade no período de verão e a área de infiltração é considerável, a correlação entre a estimativa de umidade relativa e dados reais pode ser bastante substancial.

A relevância de se obter dados de umidade relativa para determinado ambiente está relacionada à possibilidade de se plotar esses valores na carta psicrométrica ou na denominada *Building Bioclimatic Chart* (GIVONI, 1969; WATSON & LABS, 1981), facilitando, desta forma, a avaliação de seu desempenho térmico.

Tomando-se como referência dados medidos de umidade relativa interna, foi realizada uma comparação estatística, assim como uma avaliação bioclimática de quatro habitações de padrão popular, comparando-se as porcentagens das horas na zona de conforto térmico para dados medidos e estimados de umidade relativa. O procedimento de plotagem dos dados na carta psicrométrica foi realizado através do software ANALISYS (desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina – LabEEE/NPC/UFSC), adotado em pesquisas semelhantes (KRÜGER e LAMBERTS, 1999; 2000).

2. ESTIMATIVA DE UMIDADE RELATIVA

As estimativas foram feitas tomando por base duas suposições: a) as taxas de ventilação entre ambiente interno e meio externo, devido às características das moradias (volume pequeno (m³) e pouco controle de frestas e aberturas), não são negligenciáveis e b) há pouca geração de umidade internamente.

A partir dessas duas condições, o procedimento consistiu em se obter a umidade absoluta para o exterior, utilizando-se da temperatura e umidade medidas externamente, e adotá-la para o meio interno, convertendo-a para umidade relativa, a partir de valores de temperatura medidos internamente.

Para a conversão da temperatura e umidade relativa externas em umidade absoluta e vice-versa, para o ambiente interno, utilizou-se a equação 1 (ASHRAE, 1981):

$$w = 0.62198 \times \left[\frac{\phi}{100} \times p_{ws} \right] \times \left[p - \frac{\phi}{100} \times p_{ws} \right]^{-1} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

w = umidade absoluta [Pa/Pa]

p = pressão atmosférica [Pa]

ϕ = umidade relativa [%]

p_{ws} = pressão de saturação da água [Pa], obtida em função da temperatura T [K]

3. MONITORAMENTO

As medições foram realizadas em dois períodos distintos (Tab. 1), usando-se sensores (data-loggers) de temperatura e umidade do tipo HOBO. As medidas foram tomadas em intervalos de quinze minutos e integradas para valores horários.

As moradias, de padrão popular e área média de 38 m² estavam sendo habitadas pelas famílias durante o período de monitoramento. Esses quatro sistemas construtivos são os seguintes:

- ❑ Sistema Construtivo 1: painéis estruturais pré-fabricados de concreto armado;
- ❑ Sistema construtivo 2: painéis de madeira mineralizada com requadro de concreto armado e revestidos de argamassa;
- ❑ Sistema construtivo 3: painéis pré-fabricados de isopor e tela de aço revestidos com argamassa;
- ❑ Sistema construtivo 4: colunas pré-moldadas espaçadas com placas pré-fabricadas em concreto.

Tab. 1: Período de monitoramento, temperaturas externas e internas

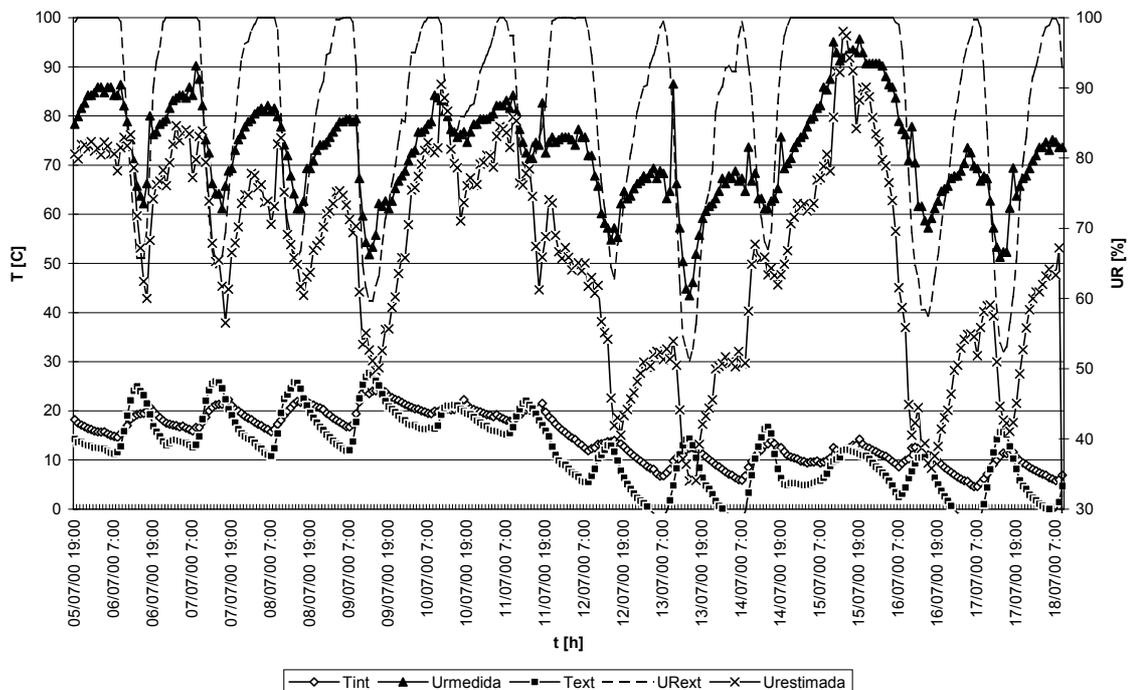
	Monitoramento		Text [°C]			Tint [°C]		
	Início	Fim	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média
S.C.1	05/07/2000 19:00:00	18/07/2000 9:00:00	-3.3	27.7	11.7	4.6	24.6	14.6
S.C.2	05/07/2000 19:00:00	18/07/2000 9:00:00	-3.3	27.7	11.7	4.1	24.0	14.3
S.C.3	18/07/2000 11:00:00	31/07/2000 1:00:00	-1.4	25.9	10.3	10.4	18.5	13.9
S.C.4	18/07/2000 17:00:00	31/07/2000 7:00:00	-1.4	25.9	10.2	5.9	20.2	12.8

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação do desempenho térmico dos sistemas construtivos deve ser feita em pares ou, preferencialmente, em relação às condições externas (Tab. 2, última coluna). Assim, para o primeiro período de monitoramento, de 5/07 a 18/07, os sistemas construtivos 1 e 2 apresentaram percentuais semelhantes, tanto na zona de conforto quanto nas evoluções da curva de temperatura (Figuras 1 e 2), superiores aos encontrados no meio externo. Para o segundo período de monitoramento, de 18/07 a 31/07, ambos os sistemas construtivos (3 e 4) apresentaram percentuais de horas na zona de conforto abaixo dos externos. Entretanto, o uso massivo de isolamento térmico (isopor) no sistema construtivo 3, evitou as grandes amplitudes observadas no sistema construtivo 4, sendo isto vantajoso no período frio, porém de forte influência no desconforto térmico por frio nas horas mais quentes (comp. Figuras 3 e 4).

Tab. 2: Tabela-Resumo para o período completo de monitoramento

	R	R ²	Porcentagem de horas [%]								
			Medido			Estimado			Externo		
			Frio	Conf.	Calor	Frio	Conf.	Calor	Frio	Conf.	Calor
S.C.1	0.84	0.71	68.0	31.0	1.0	68.3	30.4	1.3	80.9	18.5	0.7
S.C.2	0.93	0.86	69.6	30.4	0	73.9	25.1	1.0	80.9	18.5	0.7
S.C.3	0.82	0.67	100	0	0	99.3	0.7	0	89.8	8.9	1.3
S.C.4	0.90	0.81	94.4	5.6	0	94.1	5.9	0	90.1	8.6	1.3

**Fig. 1: Temperatura e umidade relativa (externa, medida e estimada) para o S.C. 1**

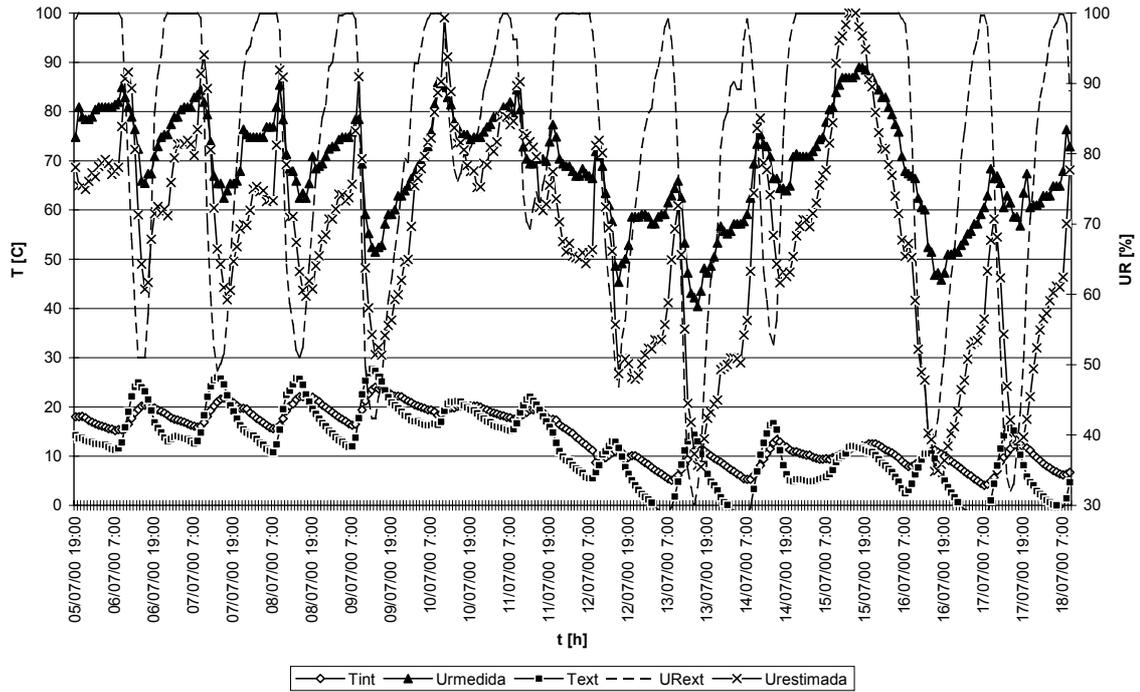


Fig. 2: Temperatura e umidade relativa (externa, medida e estimada) para o S.C. 2

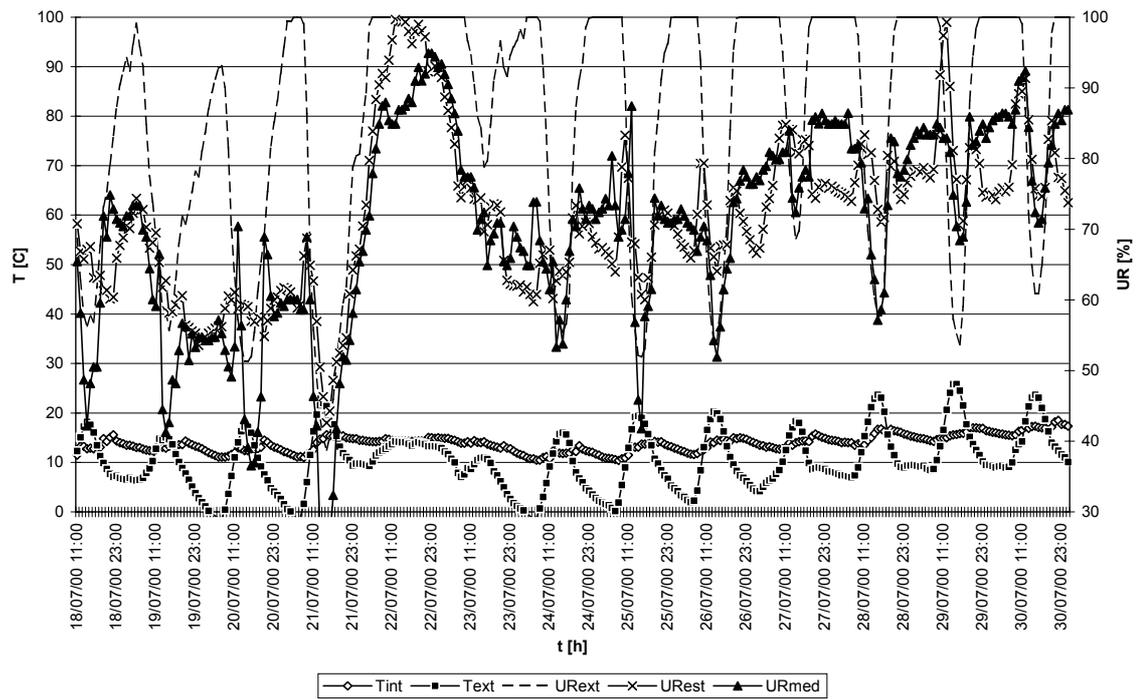


Fig. 3: Temperatura e umidade relativa (externa, medida e estimada) para o S.C. 3

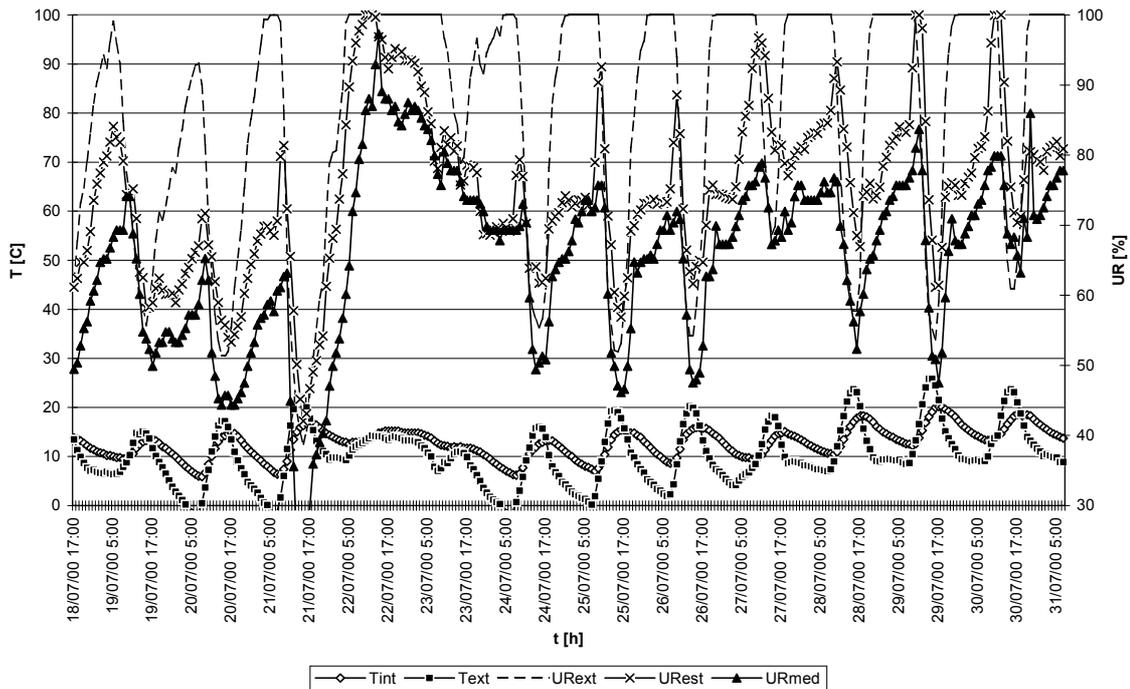


Fig. 4: Temperatura e umidade relativa (externa, medida e estimada) para o S.C. 4

Na comparação global entre valores medidos e estimados de umidade relativa (Tab. 2), os coeficientes de correlação (R) e de determinação (R^2) se mostraram favoráveis para os quatro sistemas construtivos analisados. Quanto aos resultados da plotagem dos dados na carta psicrométrica, as maiores diferenças percentuais na zona de conforto (cerca de 5% em relação às horas na zona de conforto) se verificaram no sistema construtivo 2. Na Fig. 2, pode-se facilmente visualizar que as diferenças mais significativas entre umidade medida e estimada para este sistema construtivo ocorrem principalmente no período mais frio, especificamente da madrugada do dia 12/07 até o final do período de monitoramento, analisado separadamente na Tabela 3.

Tab. 3: Tabela-Resumo para o dia mais frio

	R	R^2	Porcentagem de horas [%]					
			Medido			Estimado		
			Frio	Conf.	Calor	Frio	Conf.	Calor
S.C.1	0.49	0.24	100	0	0	100	0	0
S.C.2	0.47	0.22	100	0	0	100	0	0
S.C.3	0.46	0.21	100	0	0	100	0	0
S.C.4	0.90	0.82	100	0	0	100	0	0

O dia mais frio adotado foi o dia no qual se deu a mais baixa temperatura do ar interno em cada sistema construtivo (Tab. 3). Para esse dia, observou-se uma boa correspondência nos resultados da plotagem dos dados medidos e estimados no diagrama psicrométrico. Isto se explica pelos valores expressivamente baixos da temperatura do ar no interior das moradias. Como, abaixo de 18°C (limite inferior da zona de conforto), a umidade relativa não é significativa na definição de uma zona bioclimática, seja ela de massa térmica ou de aquecimento solar passivo, umidades diferentes não influem nos resultados, que, invariavelmente, corresponderão ao desconforto por frio. Em geral, verificaram-se baixos coeficientes de correlação e determinação, explicáveis pela possível ausência de ventilação com retenção de umidade internamente, com exceção do sistema construtivo 4, que, para todos os casos analisados (global, dia mais frio, intervalo de conforto e dia mais quente), mostrou boa correspondência entre dados medidos e estimados (Fig. 4).

O período denominado intervalo de conforto representa o conjunto de horas em que a temperatura do ar interno se situa entre os limites de 18°C a 29°C (Tab. 4). Nesse intervalo, quando existente (no caso do sistema construtivo 3, as horas nesta faixa eram insignificantes para os valores estimados e inexistentes para os medidos), a correlação aumentou significativamente em relação ao período frio.

Isto se dá, possivelmente, pela maior presença de ventilação. As diferenças percentuais no diagrama psicrométrico, significativas e da ordem de 16 pontos percentuais no sistema construtivo 2, tornam-se mais claras, quando verificamos que os pontos que caracterizam essa diferença (horas fora da zona de conforto —desconforto por frio: 20.4% e desconforto por calor: 3.1%) localizam-se exatamente nas zonas limítrofes à de conforto (massa térmica e ventilação). Neste caso, a estimativa mostrou valores elevados em relação aos dados medidos.

Tab. 4: Tabela-Resumo para o Intervalo de Conforto ($18^{\circ}\text{C} < \text{TBS} < 29^{\circ}\text{C}$)

	R	R ²	Porcentagem de horas [%]					
			Medido			Estimado		
			Frio	Conf.	Calor	Frio	Conf.	Calor
S.C.1	0.87	0.76	7.6	89.5	2.9	12.4	83.8	3.8
S.C.2	0.89	0.79	7.1	92.9	0	20.4	76.5	3.1
S.C.3	-	-	-	-	-	-	-	-
S.C.4	0.84	0.71	5.6	94.4	0	0	100	0

O dia mais quente adotado foi o dia no qual se deu a mais alta temperatura do ar interno em cada sistema construtivo (Tab. 5). Para esse dia, ambos os coeficientes, de correlação e de determinação, foram altos para quase todos os sistemas construtivos, com uma correspondência perfeita entre valores na zona de conforto. A exceção foi o sistema construtivo 3. As temperaturas internas para este sistema foram mais baixas que as externas neste período e o seu desempenho térmico inferior ao do sistema construtivo 4, monitorado no mesmo período. Além disso, observe-se que uma reclamação dos moradores desse sistema construtivo refere-se à condensação e formação de bolor nas paredes.

Tab. 5: Tabela-Resumo para o dia mais quente

	R	R ²	Porcentagem de horas [%]					
			Medido			Estimado		
			Frio	Conf.	Calor	Frio	Conf.	Calor
S.C.1	0.94	0.89	20.8	79.2	0	20.8	79.2	0
S.C.2	0.94	0.88	29.2	70.8	0	29.2	70.8	0
S.C.3	0.49	0.24	100	0	0	91.7	8.3	0
S.C.4	0.92	0.84	62.5	37.5	0	62.5	37.5	0

De um modo geral, para um período mais extenso de monitoramento em que haja uma boa variação da temperatura e da umidade relativa (preferencialmente com boa parte dos valores abaixo de 80%), é possível de se obter uma boa correspondência entre valores reais e estimados de umidade relativa, pois as diferenças se compensam com a presença de ventilação.

5. CONCLUSÕES

Considerando o objetivo principal deste trabalho, que foi o de verificar o grau de correlação da estimativa de umidade relativa com dados reais, uma generalização dos resultados obtidos para os curtos períodos de monitoramento só é possível ao analisar-se pormenorizadamente o ano climático de referência (TRY) de Curitiba.

Assim, considerando o clima de Curitiba (Fig. 5 e Tab. 6), observamos que, no ano climático de referência (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998), o posicionamento das horas no diagrama psicrométrico indica apenas 20% na zona de conforto, ao passo que, no desconforto por frio (73.2%), as mesmas se encontram em sua maior parte na zona 7 (Massa Térmica/Aquecimento Solar), onde a faixa de influência da umidade relativa é restrita e se dá apenas entre 18 e 20°C, sendo o desconforto por calor baixo. O desconforto por calor, no caso, não é significativo. Assim, erros na estimativa da umidade relativa, tomando por base o ano climático de referência de Curitiba, não representariam discrepâncias significativas na definição das zonas e estratégias bioclimáticas.

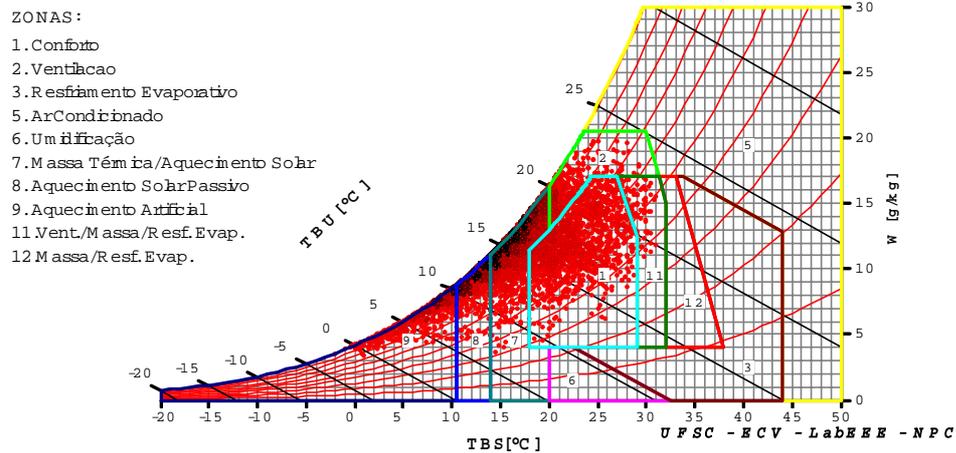


Fig. 5: Avaliação Bioclimática para Curitiba através da plotagem de dados horários para o ano climático de referência (TRY) na Carta Psicrométrica

Para a situação de verão, há que se considerar tanto o desconforto por frio, situado também na zona limítrofe 7 (Massa Térmica/Aquecimento Solar), como o desconforto por calor, com uma boa porcentagem de horas na zona de ventilação. A existência de temperaturas mais amenas, no entanto, torna mais provável o uso da ventilação, o que aproximaria tanto as características de umidade do ar externo com o interno, quanto as suas temperaturas, em favor de melhores estimativas (ver Eq. 1). No período de inverno, a maior porcentagem dos pontos se situa nas zonas 8 e 9, respectivamente Massa Térmica/Aquecimento Solar e Aquecimento Solar Passivo, onde erros na estimativa da umidade relativa não influem na definição de zonas e estratégias bioclimáticas.

Tab. 6: Relatórios do software ANALYSIS para Curitiba

VERÃO	INVERNO	ANO TODO
GERAL Conforto:25.5% Desconforto:74.5% -Frio:54.5% -Calor:19.9%	GERAL Conforto:17.5% Desconforto:82.5% -Frio:82.4% -Calor:0.0906%	GERAL Conforto:20% Desconforto:80% -Frio:73.2% -Calor:6.84%
POR ZONAS Ventilação: 17.1% Ventilação/Massa: 0% Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo: 2.84% Massa Térmica p/ Resfriamento: 0% Massa/Resfriamento Evaporativo: 0% Aquecimento Artificial: 0.183% Conforto: 25.5% Massa Térmica/Aquecimento Solar: 50.8% Aquecimento Solar Passivo: 3.57% Ar Condicionado: 0% Resfriamento Evaporativo: 0% Umidificação: 0%	POR ZONAS Ventilação: 0.0906% Ventilação/Massa: 0% Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo: 0% Massa Térmica p/ Resfriamento: 0% Massa/Resfriamento Evaporativo: 0% Aquecimento Artificial: 27.8% Conforto: 17.5% Massa Térmica/Aquecimento Solar: 25.8% Aquecimento Solar Passivo: 28.8% Ar Condicionado: 0% Resfriamento Evaporativo: 0% Umidificação: 0%	POR ZONAS Ventilação: 5.82% Ventilação/Massa: 0% Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo: 1.02% Massa Térmica p/ Resfriamento: 0% Massa/Resfriamento Evaporativo: 0% Aquecimento Artificial: 11.8% Conforto: 20% Massa Térmica/Aquecimento Solar: 42.5% Aquecimento Solar Passivo: 18.9% Ar Condicionado: 0% Resfriamento Evaporativo: 0% Umidificação: 0%

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. (ASHRAE). Handbook of Fundamentals. Atlanta: ASHRAE, 1981.

GIVONI, Baruch. Man, Climate and Architecture. Amsterdam: Elsevier, 1969.

GOULART, Solange; LAMBERTS, Roberto & FIRMINO, Samanta. Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras. Florianópolis, Núcleo de Pesquisa em Construção / UFSC, 1997.

KRÜGER, Eduardo; LAMBERTS, Roberto. Avaliação do desempenho térmico de casas populares. In: VIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. (2000 : Salvador). Anais... Salvador : ANTAC/UFBA, 2000.

KRÜGER, Eduardo; LAMBERTS, Roberto. Evaluation of the thermal performance of low-cost houses under tropical climatic conditions. In: PLEA CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW-ENERGY ARCHITECTURE, 17., 1999, Brisbane, Australia. Proceedings... Brisbane:University of Brisbane, 1999.

WATSON, Donald; LABS, Kenneth. Climatic Building Design. New York: McGraw-Hill, 1981.

7. AGRADECIMENTOS

Aos mestrandos do CEFET-PR, em especial à Eliane Müller Seraphin Dumke e ao Ariel Orlei Michaloski. Agradecimentos também ao pessoal do NPC/LABEEE/UFSC pelo empréstimo dos aparelhos de medição.