

RELACIONAMENTO DA TEMPERATURA INTERNA E EXTERNA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NATURALMENTE VENTILADAS

Ana Lúcia Papst (1); Roberto Lamberts (1)

(1) LabEEE / NPC – Departamento de Eng. Civil - Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário – Trindade, Florianópolis – SC - C.P. 476 CEP 88040-900

Fone: 0xx48 331 5185 Fax: 0xx48 331 5191

e-mail: (1) analigia@labeee.ufsc.br (2) lamberts@ecv.ufsc.br

RESUMO

A temperatura interna de edificações naturalmente ventiladas possui uma forte ligação com a temperatura externa. Para verificar este relacionamento, foram usados dados horários de temperatura de Bulbo Seco de um ano de medição (abril de 1998 a março de 1999), em duas residências não condicionadas em Florianópolis – SC. O relacionamento da temperatura horária interna com a temperatura externa, foi estudado em cinco diferentes períodos: período anual, dados com temperaturas externas superiores a 18°C, todos os dados separados em períodos do dia, períodos trimestrais, e separação em períodos do dia nos dados trimestrais. Este trabalho apresenta a precisão (coeficiente de determinação) das equações de predição da temperatura interna a partir da temperatura externa de quatro ambientes residenciais em uso, e testa as equações com dados de temperatura monitorados durante dezessete dias em janeiro de 2001.

ABSTRACT

The internal temperature of naturally ventilated buildings has a connection with the external temperature. The hourly internal temperatures (dry bulb temperature) measured during one year, from 01.04.1998 to 31.03.1999, were used to verify this relationship. The data were organized in five ways and regression analysis was made using: all data, only the data with the external temperature above 18°C, period of day, period of three months, and period of day in the period of three months data. This work shows the validation of the predictive equations of internal temperature based on external temperature of four internal rooms in use. The equations were checked with the temperature data measured in a different period.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Localização de Florianópolis

Florianópolis – SC é uma cidade localizada no sul do Brasil. O clima de Florianópolis caracteriza-se como subtropical. A temperatura média anual é de 20.5°C, a amplitude diária média da temperatura é de 7.8°C, com umidade relativa média anual de 83%, e com chuvas fartas e bem distribuídas. O sul do Brasil é marcado durante todo o ano pela entrada de frentes frias

1.2 O uso de edificações naturalmente ventiladas em clima quente e úmido

Em clima quente e úmido, o limite da temperatura neutra de conforto pode ser ampliado com o aumento da velocidade do ar na superfície corporal. Para um valor aceitável de velocidade do ar de 1.5 m/s em ambientes internos, o acréscimo na temperatura neutra de conforto poderia ser de no máximo 5 K a 6 K (SZOKOLAY, 1999).

O ganho térmico solar faz com que em edificações naturalmente ventiladas, a temperatura média interna seja superior a temperatura média externa. Este calor excedente poderia ser retirado pela uso da ventilação, mas a temperatura interna nunca seria inferior a externa. Por isso, em edificações naturalmente ventiladas, os ocupantes tem um importante papel no gerenciamento do clima interno. Em uma pesquisa feita em um prédio de escritórios naturalmente ventilados na Inglaterra (RAJA et al., 2001), foi estudado como o uso de meios de controle: o abrir de janelas, fechar cortinas, controle sobre a iluminação, entre outros, tem relação com o clima externo e interno no verão. A análise de regressão de cada controle sobre a temperatura externa e interna foi usado para demonstrar a dimensão de cada efeito. Nesta pesquisa, os escritórios naturalmente ventilados apresentaram forte correlação da temperatura interna com a correspondente temperatura externa. Quando a temperatura interna é superior a 20°C, ou externa superior a 15°C, há um aumento considerável de pessoas recorrendo ao abrir de janelas, chegando a 100% com temperaturas acima de 27°C. O uso de ventiladores aumenta em 50% quando a temperatura é superior aos 20°C.

Em ambientes naturalmente ventilados, escritórios ou residências, os ocupantes tem um papel fundamental no desempenho térmico da edificação. Em climas quentes e úmidos, o uso da ventilação é uma forma de melhorar a sensação térmica de conforto. Estas trocas de ar com o ambiente externo, fazem com que a temperatura interna tenha uma forte ligação com a temperatura externa, mas em geral, sendo acrescida pelos ganhos térmicos solares e os ganhos térmicos internos.

Este trabalho apresenta as relações encontradas da temperatura interna com a temperatura externa, de duas edificações residenciais naturalmente ventiladas em Florianópolis - SC. Foram feitas análises de regressão com dados de temperaturas horárias internas e externas de um ano de medição. O objetivo do trabalho é, verificar o melhor período de dados de temperatura externa, para poder se fazer a predição da temperatura interna em edificações residenciais naturalmente ventiladas, localizadas em Florianópolis- SC.

2. METODOLOGIA

Os quatro ambientes analisados neste artigo seguirão a nomenclatura de um artigo anterior (PAPST e LAMBERTS, 2000) onde pode-se encontrar a caracterização da edificação e dos ambientes. A limitação a quatro ambientes (dois em cada residência) neste trabalho, é devida a uma posterior medição das temperaturas feita apenas nestes quatro ambientes e no ambiente externo.

Os quatro ambientes analisados foram, Jantar e Dormitório da Residência B, Copa e Dormitório 1 da Residência C.

2.1 Análise de Regressão

Através da regressão linear simples relacionou-se duas variáveis, a temperatura horária interna, variável dependente ou resposta, e a temperatura horária externa, variável independente ou explicativa. O conjunto de valores de cada uma das duas variáveis consistiam em 8760 dados, referentes a medição das vinte e quatro horas de todos os dias de um ano (abril de 1998 a março de 1999).

O modelo matemático para representar os dois conjuntos de dados pode ser expresso pela Equação 01, que é a equação de uma reta.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \varepsilon \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

Y=Variável dependente (temperatura interna);

β_0 = Constante da regressão ou intercepto;

β_1 = Coeficiente parcial ou parâmetro da regressão para a variável X_1 ;

X_1 = Variável independente (temperatura externa);

ε = Erro ou resíduo devido ao modelo de regressão.

O coeficiente angular da reta, representa o quanto a variável dependente (temperatura interna) tem seu valor alterado em função da variação unitária da variável independente (temperatura externa). O valor da constante de regressão ou do intercepto, por ser um valor fixo, pode ser interpretado como os ganhos de calor internos e externos (radiação solar). Os erros ou resíduos são a diferença do que foi observado e o que foi previsto pelo modelo de regressão. Estas diferenças ou erros, correspondem a variação da temperatura interna para um mesmo valor da temperatura externa, ou seja, como os usuários gerenciam diferentemente o ambiente e tem diversos valores de temperaturas internas para temperaturas externas iguais. O Coeficiente de Determinação (R^2) mostra a proporção da variação da temperatura interna que é explicada pela reta de regressão, valores próximos a “1” seriam os ideais.

Os dados de temperaturas horárias internas e externas de um ano de medição dos quatro ambientes aqui analisados foram medidos no período de 01.04.1998 a 31.03.1999, em base horária.

O conjunto de dados de temperaturas horárias internas e externas foram separados em períodos e determinada a equação da reta de regressão e o respectivo coeficiente de determinação. Os períodos analisados foram separados em cinco diferentes conjuntos de dados: todos os dados do ano de medição, conjunto de dados quando a temperatura externa fosse superior a 18°C , faixas de horários no dia, separação trimestral, faixa de horários durante o dia na separação trimestral.

As diferenciações no conjunto de dados foram feitas porque numa análise de regressão com todos os dados do ano, poderia se ter um coeficiente de determinação (R^2) fraco. Visto que, por serem ambientes em uso e os usuários terem controle dos ambientes, quando a temperatura externa fosse inferior a temperatura da zona de conforto, os usuários tenderiam a fechar os ambientes. O limite de 18°C foi proposto com base no limite proposto por GIVONI (1992) para países em desenvolvimento. Os dados de temperatura horária foram também separados por faixas de horários: madrugada (1:00 h às 8:00 h), matutino (9:00 às 12:00 h), vespertino (13:00 às 18:00 h) e noturno (19:00 às 24:00 h). A separação dos dados em períodos do dia foi feita para verificar se haveria melhora nos valores dos coeficientes de determinação (R^2), em função do uso e da orientação solar dos ambientes. Uma outra separação do conjunto de dados de temperaturas dos quatro ambientes foi trimestral, e os dados trimestrais ainda foram separados em períodos do dia, para verificar se os coeficientes de determinação (R^2) ficariam mais fortes.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Análise de Regressão

As Figuras 1 e 2 ilustram a correlação da temperatura externa com a temperatura interna anual do Jantar da Residência B, sendo que na Figura 2 aparecem apenas os dados de temperatura externa superiores a 18°C .

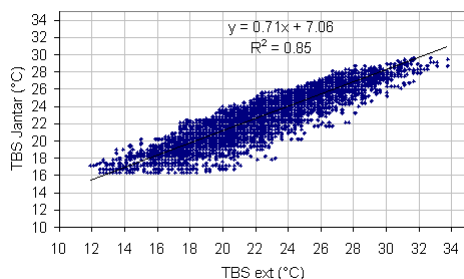


Figura 1 - Distribuição da temperatura interna do Jantar da Resid. B no período de 01/04/98 a 31/03/99.

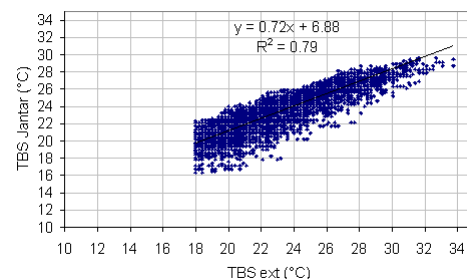


Figura 2 - Distribuição da temperatura interna do Jantar da Resid. B no período de 01/04/98 a 31/03/99 com temp. Externa > 18°C .

Na Tabela 1 são apresentados, para os quatro ambientes monitorados, os valores dos Coeficientes de Determinação (R^2) das equações resultantes da análise de regressão para todos os dados do ano e para os dados de temperatura externa superiores a 18°C .

Tabela 1 - Coeficientes de Determinação (R^2) referentes a análise de regressão dos dados de temperatura anuais e dados com temperatura externa superior a 18°C .

Ambiente	Ano Todo (R^2)	TBS $>18^\circ\text{C}$ (R^2)
Jantar (Resid. B)	0.85	0.79
Dormitório (Resid. B)	0.78	0.70
Copa (Resid. C)	0.90	0.84
Dormitório (Resid. C)	0.81	0.70

Para temperaturas externas abaixo da faixa de temperaturas da zona de conforto, é menor o contato térmico do ambiente interno com o externo pois os usuários tendem a evitar a perda do calor interno. Mas a simples retirada de dados com temperatura externa inferior a 18°C fez com que o Coeficiente de Determinação (R^2) fosse mais fraco do que o R^2 da reta de regressão com todos os dados do ano. A suposição que a retirada dos dados com temperaturas externas abaixo da zona de conforto fossem descrever melhor os pontos não se confirmou. Um dos possíveis motivos é o fato das temperaturas externas mais baixas ocorrerem no período noturno, e neste período, os ocupantes do ambiente tem pouca intervenção nos mecanismos de controle térmico.

Os dados de temperatura medidos foram então separados em períodos do dia, e feita a análise de regressão linear simples e os respectivos coeficientes de determinação. As Figuras 3 a 6 mostram as temperaturas internas e externas correlacionadas segundo os quatro períodos do dia para os quatros ambientes monitorados.

A separação dos dados de temperatura do ano por faixas de horários do dia em todos os ambientes apresentaram um R^2 mais forte para as retas de regressão do que o R^2 das retas usando-se os dados do ano inteiro. Os valores de R^2 mais forte demonstram que a equação proposta representa melhor a correlação dos pontos, e percebe-se nas Figuras 3 a 6 que os dados noturnos e da madrugada, existe uma menor dispersão dos pontos ao longo das retas. A menor dispersão dos pontos ao longo das retas é decorrente da falta de ganho térmico por radiação solar e uma menor intervenção dos usuários nestes períodos. No período noturno e madrugada, todos os quatro ambientes apresentaram os maiores valores de coeficientes angulares. Quanto maior o coeficiente angular, maior a relação da variação da temperatura externa com a temperatura interna. Durante o período noturno, normalmente diminuem os ganhos de calor internos e externos, e com a pouca intervenção do usuários, a temperatura interna vai variar predominantemente com a temperatura externa.

Nos dois ambientes da Residência B, o R^2 do período matutino é mais forte do que o R^2 do período vespertino. Os dois ambientes, Jantar e Dormitório, tem aberturas orientadas a norte, e com inércia térmica em sua envoltória, sendo que o Dormitório apesar de ficar abaixo da cobertura, possui barreira radiante na composição do telhado. A inércia térmica faz com que as primeiras intervenções dos usuários assim como os primeiros ganhos térmicos solares no período matutino, sejam absorvidos pela inércia das paredes. Soma-se ao fato que, as temperaturas externas tem seu pico no período vespertino, e neste período, os usuários apresentaram diferentes intervenções, que acarretam em diferenças no desempenho térmico interno para temperaturas externas de mesma ordem, e com isto uma maior dispersão nos pontos no período vespertino ao longo da reta de regressão. O R^2 do período vespertino nos dois ambientes é igual ou próximo ao R^2 do período anual.

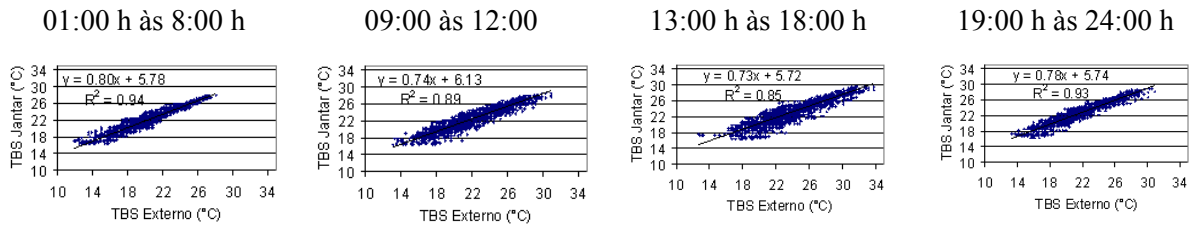


Figura 3 Correlação da Temperatura Interna com A Temperatura Externa no Jantar da Residência B, separado por períodos do dia respectivamente: 01:00 às 8:00 h, 9:00 às 12:00 h, 13:00 às 18:00 h, 19:00 às 24:00 h.

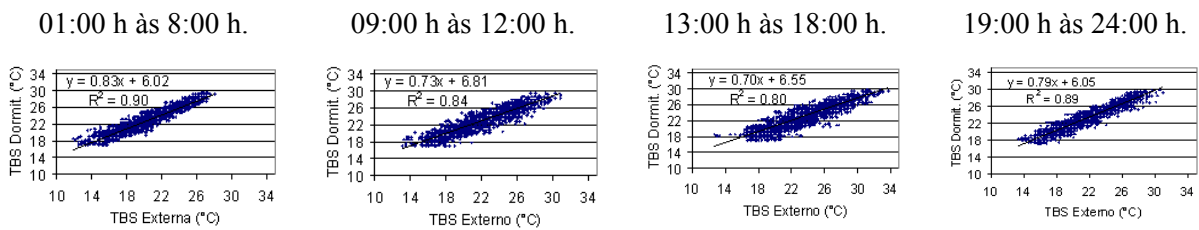


Figura 4 Correlação da Temperatura Interna com A Temperatura Externa no Dormitório da Residência B, separado por períodos do dia respectivamente: 01:00 às 8:00 h, 9:00 às 12:00 h, 13:00 às 18:00 h, 19:00 às 24:00 h.

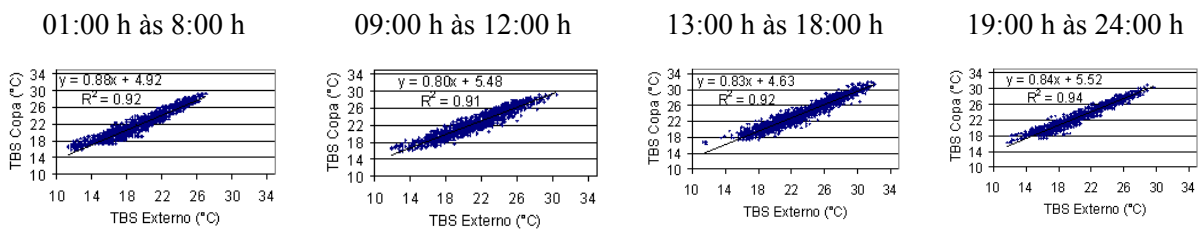


Figura 5 Correlação da Temperatura Interna com A Temperatura Externa na Copa da Residência C, separado por períodos do dia respectivamente: 01:00 às 8:00 h, 9:00 às 12:00 h, 13:00 às 18:00 h, 19:00 às 24:00 h.

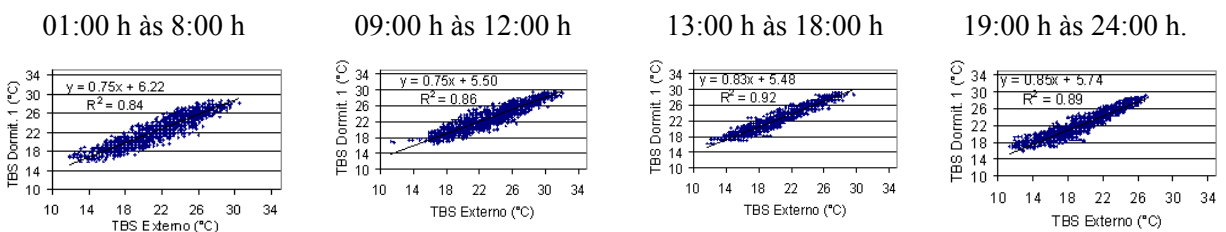


Figura 6 Correlação da Temperatura Interna com A Temperatura Externa no Dormitório 1 da Residência C, separado por períodos do dia respectivamente: 01:00 às 8:00 h, 9:00 às 12:00 h, 13:00 às 18:00 h, 19:00 às 24:00 h.

A Copa possui menos inércia térmica que o Dormitório 1 na Residência C, e tem orientações das aberturas principalmente a oeste e leste, enquanto o Dormitório 1 tem orientação norte. A pouca inércia térmica faz com que as temperaturas internas da Copa sejam mais próximas da temperatura externa, e devido a orientação oeste tem um ganho de calor solar, que é amenizado pelo usuários através do aumento da ventilação, aumentando ainda mais as trocas de ar com o ambiente externo. Os R^2 de todos os períodos do dia na Copa foram fortes. A dispersão da nuvem de pontos da Copa (Figura

5) é menor em todos os períodos do que nos outros três ambientes que possuem mais inércia térmica. Isto demonstra que ambientes com menos inércia térmica tem uma maior relação com o ambiente externo.

Ao contrário da Residência B, os ambientes da Residência C apresentaram R^2 mais fraco no período matutino, ficando mais forte no período vespertino, noturno e madrugada. Esta residência localiza-se numa encosta de um morro, e tem orientação oeste, sendo que a principal orientação dos ambientes é nesta direção. Este fato já faz com que a temperatura externa nas primeiras horas do dia ainda sejam baixas, o sol começa incidir sobre a parede e a abertura externa norte do Dormitório 1 a partir da metade da manhã, aquecendo o ambiente, enquanto as temperaturas externas ainda estão baixas. O fato das janelas da Copa permanecerem abertas durante todo o dia, e principalmente à tarde quando ocorre uma incidência solar maior na fachada oeste, cria uma ventilação cruzada com o Dormitório 1, e por isso, o R^2 fica mais forte no período vespertino.

A separação em trimestres dos dados de temperatura medidos nos ambientes, apresentou um coeficiente de determinação mais fraco do que o coeficiente de determinação anual. A separação dos dados trimestrais em períodos do dia, fez com que os valores dos R^2 ficassem mais fortes, mas mesmo assim, em poucos períodos. A Tabela 2 apresenta os valores dos R^2 das equações das análises de regressão dos ambientes separados pelos trimestres. A Tabela 3 apresenta os valores dos R^2 das equações das análises de regressão dos ambientes separados pelos trimestres, e estes em períodos do dia.

Nos trimestre dos meses mais frios, o R^2 das equações das análises de regressão apresentou os valores mais fracos. Isto se explica pelo fato da edificação permanecer mais fechada, pois provavelmente o usuário evita o contato do ambiente interno com o ambiente externo. Nos meses mais quentes, o R^2 fica mais forte, mas seus valores não chegam a ser melhores do que os valores do R^2 dos dados anuais com todos os dados, ou todos os dados anuais separados por períodos do dia. A diminuição no número de dados para a análise de regressão também faz com que o valor do R^2 seja mais fraco.

3.2 Teste das equações

No período de 09.01.2001 a 26.01.2001 foram feitas 427 medições de temperatura horárias interna e externa nos quatro ambientes das duas residências para verificar as equações com dados diferentes dos usados para predição das equações apresentadas. Com as equações preditivas, calculou-se a partir da temperatura externa possíveis valores para a temperatura interna. A Tabela 4 apresenta a média (em °C) e o desvio padrão da diferença dos valores estimados da temperatura interna subtraídos da temperatura interna medida dos ambientes da Residência B e C.

Na Tabela 4 percebe-se que os valores médios da diferença da temperatura interna estimada pela temperatura realmente medida, foram ficando mais próximos a zero usando as equações resultantes da análise de regressão com dados de temperatura trimestrais do que usando as equações usando dados de temperatura de um ano de medição. E a diferença resultante da temperatura estimada pela temperatura medida, usando equações por períodos do dia, também apresentaram um valor médio menor do que usar as equações que utilizam todas as medições do dia. As equações preditivas dos dados trimestrais separados em períodos do dia, além de apresentarem os menores valores médios da diferença entre temperatura estimada e temperatura medida, também apresentaram os menores valores de desvio padrão. Em nenhum momento das medições feitas em janeiro de 2001 ocorreram temperaturas externas inferiores a 18°C, por isso, as equações resultantes da análise de regressão de temperaturas externas superiores a 18°C, foram usadas em todas as ocorrências. O Dormitório 1 da residência C foi o único ambiente que apresentou maior valor médio para a equação preditiva com temperaturas externas superiores a 18°C, do que o valor médio resultante da equação preditiva feita com todos os dados do ano.

Tabela 2 - Coeficientes de Determinação referentes a análise de regressão dos dados de temperatura separados em trimestres.

Ambiente	Abril a junho (R ²)	Julho a setembro (R ²)	Outubro a dezembro (R ²)	Janeiro a março (R ²)
Jantar (Resid. B)	0.73	0.64	0.74	0.79
Dormitório (Resid. B)	0.68	0.33	0.56	0.51
Copa (Resid. C)	0.87	0.62	0.80	0.80
Dormitório (Resid. C)	0.74	0.38	0.58	0.55

Tabela 3 - Coeficientes de Determinação referentes a análise de regressão dos dados de temperatura separados em trimestres e em períodos do dia.

Ambiente	Horário (h)	Abril a junho (R ²)	Julho a setembro (R ²)	Outubro a dezembro (R ²)	Janeiro a março (R ²)
Jantar Resid. B	01:00 – 08:00	0.91	0.74	0.81	0.85
	09:00 – 12:00	0.77	0.65	0.79	0.81
	13:00 – 18:00	0.73	0.61	0.76	0.82
	19:00 – 24:00	0.87	0.74	0.83	0.87
Dormitório Resid. B	01:00 – 08:00	0.86	0.47	0.64	0.69
	09:00 – 12:00	0.74	0.38	0.63	0.59
	13:00 – 18:00	0.72	0.34	0.59	0.70
	19:00 – 24:00	0.85	0.49	0.72	0.73
Copa Resid. C	01:00 – 08:00	0.91	0.64	0.81	0.84
	09:00 – 12:00	0.89	0.62	0.78	0.81
	13:00 – 18:00	0.88	0.63	0.85	0.88
	19:00 – 24:00	0.91	0.60	0.89	0.88
Dormit. 1 Resid. C	01:00 – 08:00	0.86	0.45	0.72	0.76
	09:00 – 12:00	0.82	0.41	0.62	0.62
	13:00 – 18:00	0.83	0.47	0.65	0.76
	19:00 – 24:00	0.89	0.57	0.81	0.79

4. CONCLUSÃO

Dados de temperatura horária interna e externa de um ano de medição, de abril de 1998 a março de 1999, foram usados para gerar equações preditivas de temperatura horária a partir da temperatura externa. As equações resultantes de análises de regressão linear foram resultantes de dados separados em grupos de: um ano, dados com temperaturas externas superiores a 18°C, períodos do dia, trimestres do ano, e trimestres do ano separados em períodos do dia. As equações foram testadas usando dados de medição de dezessete dias feitas em janeiro de 2001.

Tabela 4 – Média e desvio padrão da diferença entre a temperatura calculada e a temperatura medida dos dados de temperatura medidos entre 09.01.2001 a 26.01.2001 para os ambientes da Residência B e C.

	Dados Ano Todo						Dados Trimestrais (janeiro a março)			
	Todos dados		TBS ext > 18°C		Período do dia (ano todo)		Todos dados		Período do dia (trimestre)	
	Média (°C)	D.P. (°C)	Média (°C)	D.P. (°C)	Média (°C)	D.P. (°C)	Média (°C)	D.P. (°C)	Média (°C)	D.P. (°C)
Jantar (resid. B)	-0.95	0.95	-0.86	0.96	-0.72	0.78	-0.60	0.84	-0.41	0.70
Dormit. (resid. B)	-1.14	0.95	-0.91	0.98	-0.72	1.00	-0.40	0.97	-0.26	0.87
Copa (resid. C)	-0.68	0.83	-0.58	0.87	-0.50	0.72	-0.18	0.80	-0.09	0.71
Dorm.1 (resid. C)	-0.79	1.11	-0.88	1.15	-0.52	0.99	0.04	0.97	0.01	0.84

Os Coeficientes de Determinação (R^2) das equações dos dados anuais separados em períodos do dia apresentaram valores mais fortes do que usando todos os dados do dia. Nos dados trimestrais, os R^2 das equações separadas em períodos do dia, foram em geral mais fortes apenas nos meses mais quentes do que os dados trimestrais sem separação em períodos do dia. Os R^2 das equações dos dados anuais separados em períodos do dia apresentaram valores mais fortes do que os R^2 das equações dos dados trimestrais separados em períodos do dia.

Com os dados da temperatura externa horária dos dados dos dezessete dias de janeiro de 2001, foram calculadas as temperaturas internas com todas as equações resultantes da análise de regressão. Como os dados para esta verificação são referentes apenas ao mês de janeiro, as equações por trimestre usadas para esta análise referem-se ao trimestre que abrange este mês. Verificou-se que, as equações que apresentaram menor diferença média entre a temperatura estimada e a temperatura medida, foram as equações resultantes da análise de regressão com dados trimestrais separados em períodos do dia, apesar destas equações terem apresentado R^2 mais fracos do que os R^2 das equações anuais. Isto demonstra que, equações feitas a partir de menor número de dados mas com dados mais representativos do período (que caracterizam o uso diferenciado devido as diferenças climáticas), possibilitam uma melhor predição da temperatura interna a partir da temperatura externa. E ambientes com menos inércia térmica, por terem uma maior relação com o clima externo, possibilitam um tempo de medição mais curto para avaliação do desempenho térmico, do que ambientes com inércia térmica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GIVONI, B. (1992) Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Building*, v.18, p. 11-23.
- PAPST, A.L., LAMBERTS, R. (2000) Comparação de duas formas de análise da temperatura interna de edificações residenciais. In: NUTAU'2000 SEMINÁRIO INTERNACIONAL, São Paulo. *Anais Eletrônico*. USP/FAU/Departamento de Tecnologia da Arquitetura.
- RAJA, I.A., NICOL, J.F., McCARTNEY, K.J., HUMPHREYS, M.A. (2001) Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. *Energy and Buildings*, v.33, p. 235-244.
- SZOKOLAY, S.V. (1999). Approaches to tropical house design. In: V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Fortaleza. *Anais Eletrônico*.